Séptimo Congreso Nacional de Tecnología (CONATEC 2024)
Colegio de Técnicos Académicos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM

MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC), Año 7, No. 7, septiembre 2024 - agosto 2025, es una publicación anual editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Alcaldía de Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Km. 2.5 carretera Cuautitlán - Teoloyucan, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54714, Tel. 5556231992, https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA, colegiotecnicosacademicos@cuautitlan.unam.mx. Editor responsable: Dr. Gustavo Mercado Mancera. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2023-070411455700-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Colegio de Técnicos Académicos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, Km. 2.5 carretera Cuautitlán - Teoloyucan, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54714, fecha de la última modificación, 28 de octubre de 2024.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista de los árbitros, del Editor o de la UNAM. Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados, siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL). https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es Fecha de asignación de la licencia 2024-10-28, para un uso diferente consultar al responsable jurídico del repositorio por medio del correo electrónico unidadjuridicafesc@cuautitlan.unam.mx

ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Mercado-Mancera, G., Hernández-Duarte, J. M., Pérez-Reyes, M. C. J., Fausto-Ríos, E., Espinosa-Rodríguez, J., Garza-Rivera, J. L., Hipólito-Najera, A. R., Olazabal-Fenochio, A., Raygoza-Trejo, A., Sánchez-García, D., Sánchez-Hernández, G., López-Mera, G. H., Cuatecontzi-Flores, H., Solís-Garfias, J., Páez-Arancibia, J. A., Ambrocio-Sandoval, J. I., Moreno-Lara, J., García-Rivera, L., González-Toimil, M. A., ... Díaz-Torres, R. (Ed.). (2024). *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 7, No. 7, septiembre 2024 - agosto 2025. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2024/verpdf/MemoriasCONATEC2024_ArchivoCompleto.pdf

EDITOR

Colegio de Técnicos Académicos de la FES Cuautitlán-UNAM

MESA DIRECTIVA 2023-2025

Dr. Gustavo Mercado Mancera
Presidente
gmercado@unam.mx

Mtro. Jesús Moisés Hernández Duarte
Secretario
jmhduarte@gmail.com

Dra. María Cristina Julia Pérez Reyes
Primer Vocal
crisp28@yahoo.com.mx

MVZ. Ernesto Fausto Ríos
Segundo Vocal
faustore12@yahoo.com

COMITÉ ORGANIZADOR

ADRIÁN RICARDO HIPÓLITO NÁJERA

ALAN OLAZÁBAL FENOCHIO

ANGEL RAYGOZA TREJO

DIEGO SÁNCHEZ GARCÍA

ERNESTO FAUSTO RÍOS

GABRIELA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

GONZALO HEDAIN LÓPEZ MERA

GUSTAVO MERCADO MANCERA

HUGO CUATECONTZI FLORES

JANELI SOLÍS GARFIAS

JESSICA ANNABEL PÁEZ ARANCIBIA

JESÚS MOISÉS HERNÁNDEZ DUARTE

JOSÉ IVÁN AMBROCIO SANDOVAL

JOSÉ LUIS GARZA RIVERA

JOSEFINA MORENO LARA

JUAN ESPINOSA RODRÍGUEZ

LILIANA GARCÍA RIVERA

MANUEL ANDRÉS GONZÁLEZ TOIMIL

MA. REYES PICHARDO MOLINERO

MARÍA CRISTINA PÉREZ REYES

MARÍA DE LOS ÁNGELES CORNEJO VILLEGAS

MARTHA YOLANDA QUEZADA VIAY

MAYREM ROSALIN GUERRERO CHÁVEZ

ROBERTO DÍAZ TORRES

MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)

Año 7, No. 7, septiembre 2024 – agosto 2025

EDICIÓN DEL 7° CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA

EDITOR RESPONSABLE: Dr. Gustavo Mercado Mancera

COMPILACIÓN: COMITÉ ORGANIZADOR DEL COLEGIO DE TÉCNICOS ACADÉMICOS DE LA FESC-UNAM

DISEÑO Y REVISIÓN EDITORIAL: COMITÉ ORGANIZADOR DEL COLEGIO DE TÉCNICOS ACADÉMICOS DE LA FESC-UNAM

DISEÑO DE LA PORTADA: Juan Espinosa Rodríguez

Edición 2024.
DR. Colegio de Técnicos Académicos de la FESC-UNAM.
Dirección: Km. 2.5 carretera Cuautitlán - Teoloyucan, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C. P. 54714
Hecho en México.

Las opiniones y contenidos en las ponencias que aparecen en esta obra son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Se permite la reproducción parcial o total de los documentos incluidos en esta memoria siempre y cuando se cite la fuente y sea para fines académicos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. David Quintanar Guerreo, director de la FES Cuautitlán y a sus colaboradores, por su invaluable apoyo en la realización de este evento, así como a los ponentes y asistentes al congreso, cuya valiosa presencia enriqueció los contenidos y dio grandeza al CONATEC 2024.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN 1

ARTÍCULOS 2

PC PUMA, CONECTIVIDAD MÓVIL EN LA UNAM FES CUAUTITLÁN DEL CICLO ESCOLAR 2023-2024 3

Angélica Espinoza-Godínez[1*] y José Luis Garza-Rivera[2] 3

CONFECCIÓN DE UN VECTOR PARA EL SILENCIAMIENTO DEL GEN *LcACR2* DE *Lupinus campestris* 17

Luciano Antonio Juárez-Díaz[1], César Díaz-Pérez[2], Francisco Javier Hernández-Flores[1], Melina del Real-Monroy[1] y Lenin Sánchez-Calderón[1*] 17

INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE EN LA SÍNTESIS DE CAFEÍNA EN GRANOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*) Y SU RELACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO 27

Gloria María Solares-Díaz[1*], Arturo Aguirre-Gómez[1], María Elena Quintana-Sierra[1] y Reynoldez Vicente Barragan-Hidalgo[1] 27

MODIFICACIÓN DE LA LIPOPEROXIDACIÓN INDUCIDA POR ARSENIATO DE SODIO POR USO DE NANOPARTICULAS ANTIOXIDANTES 42

Laura D López-Barrera[1], Viridiana García-García[1], Joselo R. Martínez-Rosas[1], Roberto Díaz-Torres[1] y Patricia Ramírez-Noguera[1*] 42

USO DE UN SIMULADOR ESTOCÁSTICO PARA ANALIZAR EL CONTROL DE UNA TORRE DE DESTILACIÓN MULTICOMPONENTE BAJO INCERTIDUMBRE 51

Mario Luis Chew-Hernández[1,*], Raúl Gómez Gómez.Tagle[2] y Ricardo Rodríguez-Figueroa[3] 51

ENERGÍA Y POTENCIA HUMANA DESARROLLADA DURANTE UNA ACTIVIDAD AGRÍCOLA 59

Carlos Gómez-García*[1] y Andrés Herrera-Vázquez[2] 59

OBTENCIÓN DE LOS PERIODOS DE CALIBRACIÓN MEDIANTE LA CONVOLUCIÓN A LA DERIVA INSTRUMENTAL 66

Gabino Estevez-Delgado[1], Joaquin Estevez-Delgado[2], Edgar Samuel Lara-Murillo[1] y Paulina Ponce-Ávila[1] 66

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MEDIDOR pH DE BAJO COSTO 76

Gonzalo Hedain López-Mera*, Diego Sánchez-García, Raúl Dalí Cruz-Morales, David Tinoco-Varela y Luis Alberto Parra-Oaxaca 76

SINTONIZACIÓN DE GANANCIAS E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE UN PÉNDULO UTILIZANDO UN MICRO ALGORITMO 91

Irving Luna-Ortiz[1]*, M. Gabriel Villarreal-Cervantes[1] y J. Aldo Paredes-Ballesteros[1] 91

PERTURBACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN RECTANGULAR EN LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA 107

Gabino Estevez-Delgado[1*], Joaquin Estevez-Delgado[2] y José Eduardo Cuevas-Cuevas[1] 107

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MODELOS DE REGRESIÓN SUPERVISADA EN MACHINE LEARNING PARA LA TOMA DE DECISIONES GERENCIALES 120

Pedro Pablo Chambi-Condori[1*] y Miriam Chambi-Vásquez 120

[2] 120

ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE *Bacillus* SPP. CONTRA *Fusarium verticillioides* Y *Alternaria solani* 129

Raquel Rubio-González, Israel Méndez-Meza, Lucina Hernández-Martínez, Alejandro Hernández-Morales* 129

LA SEQUÍA: ¿UN FENÓMENO NATURAL O PRODUCTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO? 141

Gustavo Mercado-Mancera[1*], Luis Fernando Jurado-Badillo[2], Angel Adonai Camacho-Acosta[2], Manuel Alejandro Morón-Rangel[2] y David Pacheco-Guadarrama[2] 141

SECADO DE RODAJAS DE CALABAZA (*Cucurbita pepo* 154

L.), EN DIFERENTES EQUIPOS 154

Donovan Misael Arévalo-Alcalá[1], Julieta González-Sánchez[1] y María Elena Vargas-Ugalde[1]* 154

ESQUEMAS EFICIENTES EN PRESENTACIONES ORALES 169

Lilián Camacho-Morfín[1*] y Deneb Camacho-Morfín[2] 169

EL IMPACTO DE LA INCLUSIÓN FINANCIERA A TRAVÉS DE SOFOMES EN MIPYMES MEXICANAS 176

Jerónimo Martínez-Flores[1] y Sinuhé Carlos Guardado-López[1*] 176

HONGOS Y BIOCHAR: SINÉRGIA PARA LA CALIDAD DE SUELOS EN CULTIVOS DE YERBA MATE 180

María Cecilia Itatí Fasano [1,2*], Mikel Goicochea [1], Marcela Paola Barengo [1,2], Natalia Soledad Amerio [1,2], Luis Alejandro Mancini [3], Julio Litniczuk [3], Carlos Konanchuk [3], Guillermo Carlos Reutemann[3], Pedro Darío Zapata[1,2], Gustavo Ángel Bich [1,2] y María Lorena Castrillo [1,2] 180

ELABORACIÓN DE MODELOS 3D DE LOS HUESOS DE LOS MIEMBROS TORÁCICO Y PELVIANO DE EQUINO 190

Stephanie González[1*], Andrea Nieves-Osorio[1], Ma. Reyes Pichardo-Molinero [1] Samantha Jardon-Xicotencatl [1] y Carlos Gerardo García-Tovar [1] 190

APLICACIÓN DE MEB EN LA CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS PROTEICAS DE HÍGADO LIOFILIZADO DE CONEJO 201

Gyna Karen Oreo-Mota[1], Sofía González-Gallardo[2], Jorely Palma-Clemente[3] y Adriana Llorente-Bousquets[4*] 201

CALIDAD SANITARIA DE GRANOS DE MAÍZ, FRIJOL Y GARBANZO 206

Brenda Ramírez-Tapia[1], Gabriela Sánchez-Hernández[2], Sergio Jiménez-Ambriz[2] y María Cristina Julia Pérez-Reyes[2*] 206

LOS ACUERDOS TRANSFORMATIVOS (ATP) SIGNADOS POR LA UNAM: UN BASTIÓN PARA LOS ACADÉMICOS 216

Cristel Ximena Cortés-Valadez[1*], Rosa Guadalupe Valadez-Olguín[1] y María Teresa Mosqueda-Moreno[1] 216
EL ESTADO DEL ARTE EN LOS PROCESOS INVESTIGATIVOS 227
María Teresa Mosqueda-Moreno[1] 227
TALLERES DE CREACIÓN DE VIDEOS ACCESIBLES 236
Emilio José Quiroz-Galván[*] y Francisco Isaac Moguel-Pedraza 236
USO DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS 248
Andrea Carrillo-Martinez[1], Gerardo Isai Tapia-Cortina[1], José Iván Ambrocio-Sandoval[1*], María de Lourdes Ramírez-Rodríguez[1], Montserrat Corona-Guerrero[1], Valentina María del Ángel Peña-López[1] y Virginia Andrade-Gallardo[1] 248
ÍNDICE DE AUTORES 257

PRESENTACIÓN

La séptima edición del Congreso Nacional de Tecnología (CONATEC) se presentó como la oportunidad de compartir las experiencias en la ciencia y tecnología y, que el Colegio de Técnicos Académicos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, organizó con el lema "*Divulgación de la tecnología como soporte de la academia*". Es así como la edición del CONATEC 2024 se desarrolló, a través de la plataforma ZOOM®, lo cual facilitó la participación de personal académico no sólo de nuestra casa de estudios, sino también de otras instituciones del país y del extranjero, enriqueciendo el conocimiento entre la comunidad científica. El programa incluyó actividades precongreso, conferencias magistrales ofrecidas por connotados y reconocidos investigadores a nivel nacional e internacional, ponencias orales en vivo, presentación de carteles y una mesa redonda que nos acercó al quehacer de los Técnicos Académicos de esta Facultad. Un año de preparación, de trabajo intenso por parte del Comité Organizador integrado por los Técnicos Académicos del Colegio y hoy rinde frutos al ver que tanto en número y nivel de las participaciones ha superado las expectativas de la edición anterior del CONATEC. Muchas gracias a todos los que colaboraron en este Comité que, sin ser Técnicos Académicos, empeñaron sus ganas y conocimiento para lograr un trabajo multi e interdisciplinario, que se ve reflejado en pro de la ciencia y la divulgación del conocimiento. Se cumplieron los objetivos.

"*POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU*"

Dr. Gustavo Mercado Mancera

Presidente del Colegio

ARTÍCULOS

PC PUMA, CONECTIVIDAD MÓVIL EN LA UNAM FES CUAUTITLÁN DEL CICLO ESCOLAR 2023-2024

Angélica Espinoza-Godínez[1*] y José Luis Garza-Rivera[2]

[1] *Centro de Tecnologías en Cómputo y Comunicación*
[2] *Coordinación de Bibliotecas y Hemerotecas*
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México

*anesgo@comunidad.unam.mx

Resumen

En el ámbito de la conectividad móvil, las universidades están adoptando nuevas tendencias para mejorar la experiencia académica, implementando servicios de red inalámbrica más rápidos y con mayor cobertura. Por su parte, la UNAM creó el programa de conectividad móvil PC Puma y lo implementó por primera vez en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) en 2013. Desde entonces, el programa se ha ido expandiendo a otras dependencias, incluyendo la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES Cuautitlán) en Campo Cuatro en 2020 y posteriormente a Campo Uno y el Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) en 2021. Para mejorar la experiencia académica a través de estos servicios, es fundamental gestionar y evaluar la conectividad móvil de manera eficaz. Esto implica medir el rendimiento, la fiabilidad y la calidad de la red utilizando diversas métricas de conectividad, así como analizar aspectos relacionados como son el uso de datos, el número de dispositivos conectados y la cobertura de señal. Este estudio analizó la conectividad móvil de los servicios PC Puma, RIU (Red Inalámbrica Universitaria) y Eduroam en la FES Cuautitlán Campo Cuatro del ciclo escolar 2023-2024. El análisis reveló aspectos clave sobre el uso de datos con un estimado de 362.17 TB, la cantidad de dispositivos conectados fue estimada en máximos de un día en 14,830 y 13,150 dispositivos en los dos semestres y los sitios con las antenas de mayores transferencias de datos estimaron que el de Biblioteca fue mayor. Los datos fueron recopilados de los informes generados por la plataforma de administración de redes

Aruba Central M.R. Los resultados sugieren la necesidad de continuar estudiando el uso y las capacidades de la conectividad móvil en el campus y así contribuir con los planes de expansión y actualización encaminados al mejoramiento de la experiencia académica.

Palabras clave: administración de redes, Wi-Fi, RIU, análisis de datos, métricas de conectividad.

Introducción

PC Puma, es el nombre del Programa de Conectividad Móvil, es un proyecto institucional de la UNAM que consiste en incorporar el uso de las tecnologías de información y comunicación a la academia e investigación (Secretaría de Desarrollo Institucional, 2023b), es promovido por la Secretaría de Desarrollo Institucional y desarrollado por la Coordinación de Proyectos Tecnológicos y de Innovación. PC Puma se creó para atender la necesidad de estudiantes y personal académico por tener a su alcance equipo de cómputo y conectividad inalámbrica con cobertura total, buscando satisfacer las necesidades dictadas por las tendencias tecnológicas; siendo así, PC Puma fue implementado por primera vez en 2013 en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) (Secretaría de Desarrollo Institucional, 2023a). Desde entonces, el programa se ha expandido a otras dependencias, incluyendo la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES Cuautitlán) en Campo Cuatro en 2020 (Elizondo Alvarado, 2020), y su posterior expansión a Campo Uno y el Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) en 2021 (Alvarado, 2021).

En la FES Cuautitlán, Campo Cuatro, el proyecto PC Puma se desarrolló con una infraestructura de comunicaciones de 422 antenas inalámbricas, 13 kilómetros de fibra óptica y 35 switches, uno principal con 64 puertos para conectar fibra óptica (Elizondo, 2020). El proyecto incluyó Aruba Central M.R. de HPE (*Hewlett Packard Enterprise)* como el software de administración de la infraestructura de comunicaciones. Aruba Central M.R. (HPE *Aruba Networking Central*) es una plataforma de gestión y administración de redes que agrupa servicios de conectividad

por sucursales, oficinas remotas, campus, centros de datos e Internet de las cosas, desplegada como un servicio de nube (Hewlett Packard Enterprise Development LP, 2023).

El proyecto PC Puma inició desplegando todos los componentes necesarios para una sola red de conectividad móvil y gracias a su infraestructura de comunicaciones, ha sido posible implementar más servicios. Esta infraestructura está distribuida en todo el campus y con el software de administración es viable la difusión y administración de más redes de conectividad móvil. Actualmente, en la FES Cuautitlán Campo Cuatro se están difundiendo tres servicios principales de conectividad móvil con acceso a Internet. Los servicios de conectividad móvil difundidos son: el servicio de PC Puma identificado como ".:PC Puma FESC C4:.", el servicio de Red Inalámbrica Universitaria identificado como "RIU" (Dirección General de Cómputo y Tecnologías de Información y Comunicación, 2022b) y el servicio mundial de conexión Wi-Fi identificado como "eduroam" (Dirección General de Cómputo y Tecnologías de Información y Comunicación, 2022a).

Para mejorar la experiencia académica a través de estos servicios, es fundamental gestionar y evaluar la conectividad móvil de manera eficaz. Esto implica medir el rendimiento, la fiabilidad y la calidad de la red utilizando diversas métricas de conectividad, así como analizar aspectos relacionados como son el uso de datos, el número de dispositivos conectados, la cobertura de señal, entre otros.

El mejoramiento de la experiencia académica usando los servicios de conectividad móvil requiere de gestión técnica y evaluación. En este sentido, la administración de redes informáticas se ha llevado a cabo, en buena medida, con apoyo de Aruba Central M.R., realizando las actividades técnicas de configuración, control de fallas, ajuste de ancho de banda, monitoreo del funcionamiento, análisis del comportamiento, entre otros, para mantener los servicios de conectividad móvil funcionales. La evaluación podría requerir recolección de datos específicos, métricas de conectividad, encuestas u otros instrumentos para llevar a cabo una investigación más profunda y quedan fuera del alcance de este trabajo. Sin embargo, se pueden realizar exploraciones obteniendo información relevante a través de algunos informes.

En Aruba Central M.R. se pueden generar informes por categoría de clientes, de infraestructura, de seguridad y otros (Espinoza y Garza, 2023) con la herramienta incluida “Reports”. En un estudio previo, se realizó una inspección de los datos ofrecidos en los informes y se identificaron tres variables: el uso de datos, la cantidad de clientes y los sitios con las mayores transferencias de datos del ciclo escolar 2022-2023 de la UNAM. De manera similar, en esta investigación exploratoria se analizaron las mismas tres variables, en el mismo campus, los mismos servicios de conectividad móvil, pero del ciclo escolar 2023-2024 de la UNAM, con inicio el lunes 7 de agosto de 2023 al domingo 4 de agosto de 2024 (Dirección General de Administración Escolar, 2023). Lo anterior, para tener un referente de comparación.

Objetivo

Analizar la conectividad móvil de los servicios PC Puma, RIU (Red Inalámbrica Universitaria) y Eduroam en la FES Cuautitlán Campo Cuatro del ciclo escolar 2023-2024.

Materiales y métodos

La plataforma Aruba Central M.R. (*HPE Aruba Networking Central*) gestiona la información relativa a la infraestructura de comunicaciones, monitorea y almacena su actividad en tiempo real. El acceso a la plataforma se realiza a través de un navegador web, donde se despliega un panel de control con funciones y herramientas de administración de redes informáticas. De este modo, la información almacenada se puede recuperar utilizando la herramienta “Reports” para generar informes por categorías como “Clients, Infrastructure, Security Compliance” y tipos como “Clients/Summary”, “Client/Inventory”, y “Client/Usage”. Se pueden crear informes de periodos establecidos (*Last day, Last 7 days, Last 30 days, Last calendar month, Last year, Custom range*), generar en una sola ocasión al momento, programar su generación unas horas después, programar su generación con cierta frecuencia de repetición (*Every day, Every week, Every month*). Con la información proporcionada en los informes es posible hacer análisis de datos con mayor detalle.

En la herramienta de reportes “Reports” de esta plataforma, se generaron informes de tipo “Clients/Summary” para el ciclo escolar 2023-2024 y los semestres correspondientes. Por lo anterior, se crearon los tres informes siguientes:

a) Resumen de clientes del ciclo escolar 2023-2024, en los formatos PDF y CVS.
b) Resumen de clientes del semestre 2024-1, en los formatos PDF y CVS.
c) Resumen de clientes del semestre 2024-2, en los formatos PDF y CVS.

A partir de los informes creados anteriormente, se recolectaron los datos de las variables de análisis siguiendo el proceso indicado a continuación:

1. *Uso de datos*: se refiere a la cantidad de datos descargados y datos cargados al realizar transferencias de comunicación a lo largo del tiempo, se mide en unidades de Bytes. Para obtener estos valores, se utilizó el informe del inciso a) de la lista anterior. Se extrajeron y tabularon los valores correspondientes del archivo “Usage.cvs”. Estos valores también se pueden obtener directamente del informe en formato PDF de la tabla “USAGE”.
2. *Cantidad de dispositivos*: es el número de equipos (teléfono celular, laptop, computadora de escritorio, tableta, entre otros) que se conectan como clientes a los servicios de conectividad móvil. Este valor no se encontró entre la información proporcionada en los informes creados. Por lo anterior, se tomaron los valores máximos de clientes únicos diarios. Para obtener estos valores, se emplearon los informes de los incisos b) y c) de la lista anterior. Se seleccionó un semestre y se identificaron los días con la mayor cantidad de clientes mostrados en el informe PDF en la gráfica “Unique clients per day”; es decir, los tres puntos máximos de la distribución de clientes del semestre. A partir de dicha gráfica, se extrajo la cantidad de clientes y la fecha de los tres días con el mayor conteo de clientes “TOP 3 CLIENT COUNT”. Se repitió el proceso para el otro semestre.
3. *Sitios con mayores transferencias de datos*: son los nombres de las áreas de cobertura móvil donde se encuentran las antenas con el mayor uso de datos a lo largo del tiempo, se mide en Bytes. Estos sitios se determinaron a partir de las 10 antenas con el registro del mayor uso de datos del ciclo escolar 2023-2024. Para ello, se usó el informe del inciso a) de la lista anterior. Luego, se extrajeron y

tabularon en una hoja de cálculo los nombres de las antenas y el uso de datos del archivo “Top APs By Usage.cvs”. Los nombres de las antenas y el uso de datos también se pueden tomar directamente de la tabla “TOP 10 APS BY USAGE” del informe en formato PDF. Posteriormente, se identificó la pertenencia de cada antena en los sitios; para ello, se buscó el nombre de la antena en Aruba Central M.R. y se tomó el nombre del sitio donde se encontró. Finalmente, se separó el uso de datos en descargados, cargados y total; se agrupó las antenas por sitio; se sumó el uso de datos de las antenas que pertenecían al mismo sitio y se ordenaron los valores de uso de datos en criterio ascendente, así como los nombres de sitios y antenas. De este modo, se determinó la posición de cada sitio de acuerdo con la magnitud de datos transferidos.

Resultados

Se procesaron las variables de estudio: el uso de datos, el número de dispositivos conectados y los sitios con mayores transferencias de datos en conectividad móvil de la UNAM FES Cuautitlán, Campo Cuatro del ciclo escolar 2023-2024. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Se estimó el uso de datos en conectividad móvil obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 1, la cual muestra esta estimación agrupada en datos descargados, datos cargados y total de datos transferidos, medida en TB o Terabytes (1 Terabyte equivale a 1024 Gigabytes). En la Figura 1 se presenta la distribución del uso de datos a lo largo del tiempo del ciclo escolar 2023-2024.

Tabla 1. Uso de datos en conectividad móvil del ciclo escolar 2023-2024 (Elaboración propia).

	Datos descargados (TB)	Datos cargados (TB)	Total de datos transferidos (TB)
Uso de datos	312.29	49.88	362.17

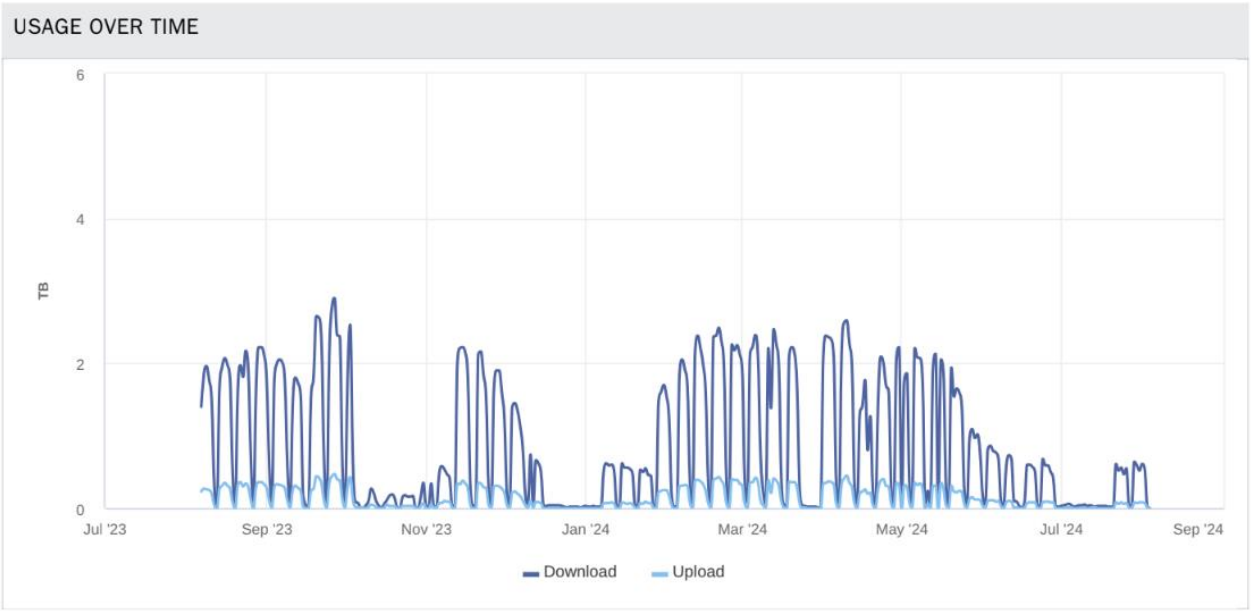


Figura 1. Distribución del uso de datos del ciclo escolar 2023-2024 (Elaboración propia).

Se identificaron los puntos máximos en la distribución de dispositivos conectados por día y se determinó la cantidad y la fecha en los semestres 2024-1 y 2024-2. La Tabla 2 muestra los tres días registrados en que se tuvieron más dispositivos o clientes conectados, en la cual la primera columna contiene la mayor cantidad de clientes y su fecha (la fecha está abreviada; por ejemplo, “Ago 16, 2023” se refiere al 16 de agosto de 2023). En la Figura 2 y la Figura 3 se muestra la distribución del conteo de clientes únicos conectados por día durante el semestre 2024-1 y 2024-2 respectivamente.

Tabla 2. Días con la mayor cantidad de dispositivos conectados del ciclo escolar 2023-2024 (Fuente: elaboración propia).

	Primera Clientes (día)	Segunda Clientes (día)	Tercera Clientes (día)
Semestre 2024-1	14,830 (Ago 16, 2023)	14,800 (Ago 15, 2023)	14,650 (Ago 30, 2023)
Semestre 2024-2	13,150 (Mar 05, 2024)	13,120 (Feb 20, 2024)	12,930 (Abr 23, 2024)

Se determinaron los sitios de conectividad móvil con las antenas que registraron la mayor estimación del uso de datos. En la Tabla 3, los renglones muestran los nombres de los sitios a los que pertenecen las antenas con la mayor cantidad de datos transferidos y están ordenados de mayor a menor magnitud, en unidades de TB o Terabytes (1 Terabyte equivale a 1024 Gigabytes).

Tabla 3. Sitios de conectividad móvil con las antenas de mayor uso de datos del ciclo escolar 2023-2024 (Fuente: elaboración propia).

Sitio	Nombre de antena	Datos transferidos antena (TB)	Datos transferidos sitio (TB)
Biblioteca	Hemeroteca	8.46	16.99
Biblioteca	P.A-Área de Estudio	4.75	
Biblioteca	P.A-Área de Estudio	3.78	
Edificio A6	A-601	3.74	7.07
Edificio A6	A-603	3.33	
Servicios Generales	Almacén General	3.50	6.81
Servicios Generales	Servicios Generales	3.31	
Edificio A7	Exterior hacia Explanada	4.79	4.79
Edificio A3	Explanada con A4	3.68	3.68
Edificio A8	Hacia Comedor	3.44	3.44

aruba Central

Resumen2024I_C4
Summary
FES Cuautitlan Campo 4
Aug 7, 2023, 00:00 - Jan 28, 2024, 23:59
Report Time Zone: -00d:06h:00m

USAGE

TOTAL DATA TRANSFER	TOTAL DATA DOWNLOADED	TOTAL DATA UPLOADED
159.26 TB	137.43 TB	21.82 TB

UNIQUE CLIENTS PER DAY

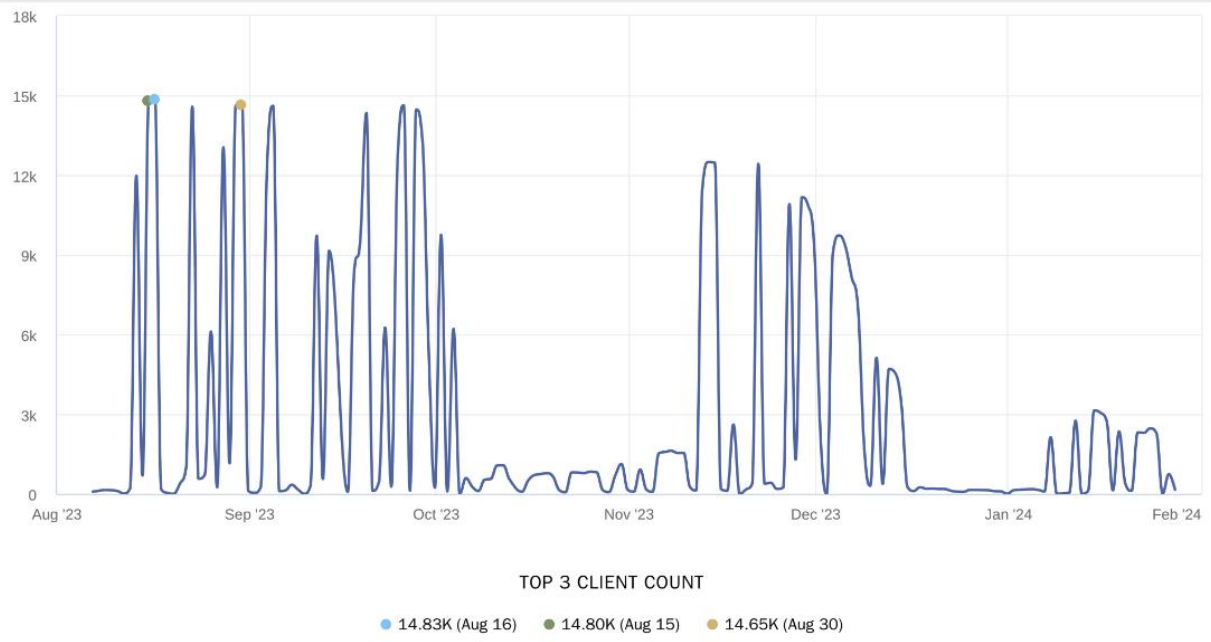


Figura 2. Distribución de clientes únicos conectados por día del semestre 2024-1 (Elaboración propia).

aruba Central

Resumen2024II_C4
Summary
FES Cuautitlan Campo 4
Jan 29, 2024, 00:00 - Aug 4, 2024, 23:59
Report Time Zone: -00d:06h:00m

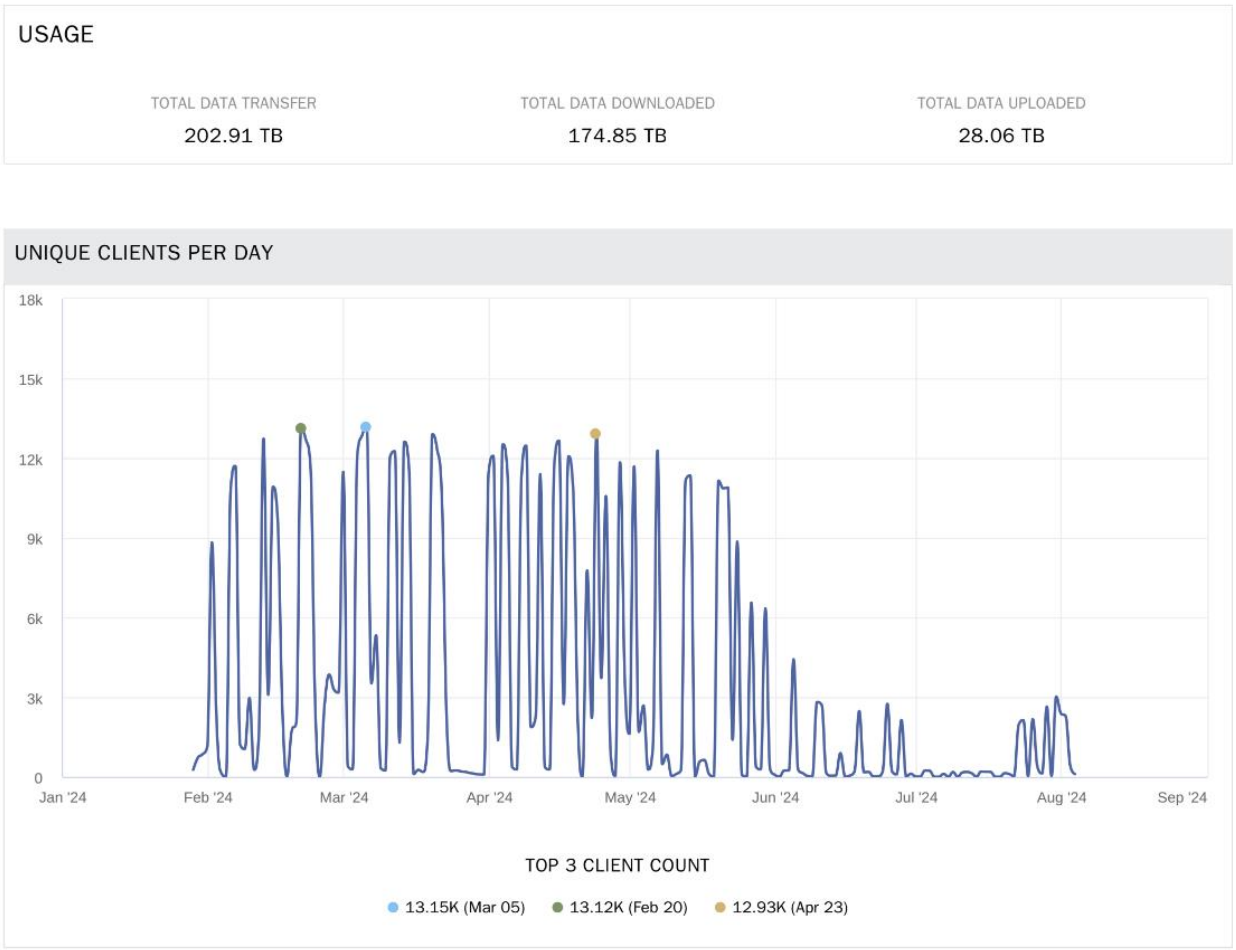


Figura 3. Distribución de clientes únicos conectados por día del semestre 2024-2 (Elaboración propia).

Discusión

En esta investigación, se han analizado variables relacionadas con las métricas de conectividad como el uso de datos, el número de dispositivos conectados y los sitios con mayor consumo de datos.

El uso de datos fue estimado en 362.17 TB del ciclo escolar 2023-2024, si lo comparamos con la misma variable del ciclo escolar anterior (2022-2023), tenemos que fue 228.89 TB (Espinoza y Garza, 2023), lo que representa un incremento del

58.23%. La distribución del uso de datos durante el ciclo escolar 2023-2024 agrupó la actividad de conectividad por meses, permitiendo identificar visualmente patrones de uso semanales con una carga mayor a finales de septiembre de 2023. También, se pudieron apreciar semanas de muy poca actividad en octubre y noviembre de 2023, cuando hubo suspensión de clases y actividades en general por varios sucesos (Dirección, 2023a; Dirección, 2023b; Dirección, 2023c); entre ellos, un problema relacionado con plaga de “chinches“ (Redacción El Financiero, 2023). Durante el periodo vacacional de diciembre de 2023 a enero de 2024 se observa poca actividad. Asimismo, la semana del 24 al 30 de marzo de 2024 (“Semana Santa”) fue de baja actividad, al igual que las primeras tres semanas de julio de 2024 de vacaciones administrativas. Para identificar las fechas y periodos se consultaron los calendarios oficiales de la UNAM (Dirección General de Administración Escolar, 2023).

El número de dispositivos o clientes conectados se analizó a través de la gráfica de distribución de clientes únicos diarios del semestre, identificando los valores máximos en cada semestre. Los resultados fueron de 14,830 y 13,150 dispositivos en los semestres 2024-1 y 2024-2 respectivamente. Durante el semestre 2024-1, dos de los puntos máximos ocurrieron en agosto de 2023, en la segunda semana del inicio de ese semestre. En el caso del semestre 2024-2, dos de los puntos máximos ocurrieron durante febrero y marzo, mientras que el tercer punto se presentó a finales de abril de 2024.

Las antenas con el mayor uso de datos del ciclo escolar 2023-2024 ubicaron el sitio Biblioteca en la primera posición, sumando un total de 16.99 TB en las antenas con los nombres: Hemeroteca y P-A-Area de Estudio. Este sitio en la misma variable de análisis fue de 9.49 TB en el ciclo escolar 2022-2023 anterior y también ocupó la primera posición (Espinoza y Garza, 2023), lo que representa un incremento del 79.03% en las antenas con el mayor uso de datos que pertenecen al sitio Biblioteca. La segunda posición fue para el sitio Edificio A6 en ambos ciclos, sumando un total de 7.07 TB en las antenas con los nombres A-601 y A-603. Este mismo sitio en la misma variable de análisis fue de 15.1 TB en el ciclo escolar anterior 2022-2023 (Espinoza y Garza, 2023), lo que representa un decremento del 46.82% en el uso de

datos que pertenecen al sitio A6. En este edificio se encuentran las aulas de la Licenciatura de Administración y la Licenciatura de Contaduría. La población estudiantil de estas dos licenciaturas juntas es numerosa, lo que podría causar un elevado uso de datos en el sitio Edificio A6 comparado con otros sitios de conectividad móvil del campus.

Conclusión

El análisis reveló aspectos clave sobre las variables analizadas:

- El uso de datos representó un incremento del 58.23% de TB después de un año.
- La cantidad de dispositivos o clientes conectados se estimó mediante los puntos máximos de cada semestre, los cuales aparecen en los informes de tipo “Client/Summary” del formato PDF. Los archivos CVS no proporcionan información suficiente para estimar el número de clientes diarios.
- Los sitios con las antenas de mayores transferencias de datos fueron Biblioteca en la primera posición y Edificio A6 en la segunda posición, igual que el año anterior. Sin embargo, el sitio Edificio A6 presentó un decremento del 46.82% en el uso de datos con respecto al año anterior.

Los resultados sugieren la necesidad de continuar estudiando el uso y las capacidades de la conectividad móvil en el campus. Entre las recomendaciones se encuentran la identificación de las principales aplicaciones y servicios que consumen más datos y la recolección de datos más detallados de clientes diarios para identificar densidades, congestión y velocidad del servicio en diferentes áreas del campus. De este modo, se esperaría una mayor contribución en los planes de expansión y actualización encaminados al mejoramiento de la experiencia académica utilizando los servicios de conectividad móvil brindados.

Agradecimientos

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE104224 y los proyectos PAPIIT IA102323, PICI CI2410, CI2446 y CI2472, PIAPIME 1.31.09.24 y 1.31.31.24.

Referencias

Alvarado, S.L. (2021). *Inicia la instalación de PC Puma en el CAT*. Gaceta UNAM. Comunidad. Órgano informativo de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, 20(16): 5.

Dirección. (2023a). *Comunicado Oficial 15*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://www.cuautitlan.unam.mx/comunicados_fesc/2023/Comunicado15.jpg

Dirección. (2023b). Comunicado Oficial 21. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://www.cuautitlan.unam.mx/comunicados_fesc/2023/Comunicado21.jpg

Dirección. (2023c). *Comunicado Oficial 42*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://www.cuautitlan.unam.mx/comunicados_fesc/2023/Comunicado42.jpg

Dirección General de Administración Escolar. (2023). *Calendarios Escolares - UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://www.dgae.unam.mx/calendarios_escolares.html

Dirección General de Cómputo y Tecnologías de Información y Comunicación. (2022a). eduroam. Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://www.eduroam.unam.mx/

Dirección General de Cómputo y Tecnologías de Información y Comunicación. (2022b). *Red inalámbrica universitaria - RIU*. Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://www.riu.unam.mx/

Elizondo, A.M.D. (2020). *Inicia el PC Puma más grande de la UNAM*. Gaceta UNAM Comunidad. Órgano informativo de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, 20(5): 4-4.

Espinoza, G.A., Garza, R.J.L. (2023). *PC Puma, su impacto en la FES Cuautitlán* UNAM. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC), Año 6, No. 6, septiembre 2023-agosto 2024.

Hewlett Packard Enterprise Development LP. (2023). *Aruba Central para redes administradas en la nube | HPE Aruba Networking Central*. En: https://www.arubanetworks.com/latam/productos/gestion-de-redes/central/

Redacción El Financiero. (2023, octubre 3). *Chinches en la UNAM: ¿Cómo empezó a propagarse la plaga por CDMX? El Financiero.* En: https://www.elfinanciero.com.mx/cdmx/2023/10/03/chinches-en-la-unam-como-empezo-a-propagarse-la-plaga-por-cdmx/

Secretaría de Desarrollo Institucional. (2023a). *PC Puma. Nosotros*. Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://pcpuma.unam.mx/nosotros.php

Secretaría de Desarrollo Institucional. (2024b). *PC Puma*. Universidad Nacional Autónoma de México. En: https://pcpuma.unam.mx/index.php

CONFECCIÓN DE UN VECTOR PARA EL SILENCIAMIENTO DEL GEN *LcACR2* DE *Lupinus campestris*

Luciano Antonio Juárez-Díaz[1], César Díaz-Pérez[2], Francisco Javier Hernández-Flores[1], Melina del Real-Monroy[1] y Lenin Sánchez-Calderón[1*]

[1]*Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Unidad Académica de Ciencias Biológicas. Campus II UAZ* y [2]*Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Agrobiología, Campus Salvatierra, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México*

*xamachana22@gmail.com

Resumen

La toxicidad generada por el arsénico (As) altera procesos fisiológicos que pueden llevar a la muerte a las plantas. No obstante, éstas han desarrollado mecanismos de resistencia al As, como la detoxificación mediada por la enzima arsenato reductasa 2 (ACR2), que reduce el As(V) a As(III), y facilita su acumulación en la vacuola o la exclusión del citoplasma. Esta enzima ha sido identificada en especies de plantas como *Pteris vittata, Arabidopsis thaliana* y *Oryza sativa*. *Lupinus campestris* ha mostrado resistencia *in vitro* a As en concentraciones de hasta 100 µM, acumulándolo en sus raíces sin mostrar signos de toxicidad. El uso de vectores específicamente diseñados para expresar hpRNAs para el silenciamiento génico es útil para generar herramientas génicas que ayuden en los procesos de biorremediación. El objetivo de este trabajo fue clonar un vector codificante de hpRNA para el silenciamiento postranscripcional del gen *LcACR2* en *L. campestris* por lo que esta planta, podrá translocar el As al sistema de brotes haciéndola una planta eficiente para la fitoextracción de As. Dado que no se cuenta con el genoma de *L. campestris,* se planteó usar secuencias de genes del género *Lupinus* en el diseño de oligonucleótidos para amplificar el gen *LcACR2*. Para este fin, se construyó un árbol filogenético con secuencias de *ACR2* de diversas especies y se buscaron las regiones conservadas en la familia ACR2. Con los oligonucleótidos diseñados, se amplificó una

región de 350 pb del gen *LcACR2* de *L. campestris* y se clonó en un vector para silenciarlo.

Palabras clave: ACR2 (arsenato reductasa 2), silenciamiento génico, fitorremediación.

Introducción

El arsénico (As) es un metal pesado que en su forma química arseniato [As(V)], puede ser tomado por los transportadores PHT1 (*Phosphate Transporter 1*) debido a su similitud química con el fosfato. Dentro de la célula, el arsénico es tóxico, ya que puede modificar sitios estructurales y catalíticos de las proteínas y genera especies reactivas de oxígeno, lo que termina por alterar procesos fisiológicos, como la fotosíntesis y la respiración celular. Uno de los mecanismos de detoxificación de As en el citoplasma, consiste en la reducción del As(V) a As(III), mediante la enzima As(V) reductasa (ACR2), el As(III) forma complejos con las proteínas fitoquelatinas y es acumulado en las vacuolas. La enzima ACR2 fue inicialmente aislada en bacterias y levaduras, y posteriormente se ha identificado en plantas como *Arabidopsis thaliana, Pteris vittata* y *Oryza sativa*. De acuerdo con lo reportado, la enzima ACR2 conserva un motivo $HC(X_5)R$ que forma parte del sitio activo, además, por su dominio rodanasa, y está relacionada con las tirosin-fosfatasas CDC25 que participan en el ciclo celular. Para el mecanismo de reducción la actividad de AsV está dada por un grupo de cisteínas: Cys-134, Cys-136, Cys-141 y Cys-145 (Cesaro *et al.*, 2015; Ghori *et al.*, 2019).

Clonación y silenciamiento génico

La clonación es una técnica molecular donde se inserta uno o más fragmentos de DNA en un vector que puede ser usado para diferentes fines. Este proceso incluye obtener el DNA de interés, ligarlo a un vector, transformar una bacteria huésped y seleccionar a aquellas transformadas y purificar las múltiples copias del vector que contiene el fragmento de interés. Los vectores más comunes son plásmidos, aunque también se utilizan bacteriófagos y cósmidos. El sistema de clonación Gateway,

basado en el fago λ, es ampliamente usado por su versatilidad en múltiples aplicaciones entre ellas el silenciamiento génico (Ashwini *et al.*, 2016; Bertero *et al.*, 2017; Reece y Walhout, 2018). El silenciamiento post-transcripcional (PTSG), utiliza estructuras de ARN tallo-asa para degradar el ARN mensajero blanco, impidiendo su traducción. Este proceso es útil para estudiar la función de un gen particular (Ashfaq *et al.*, 2020; Brodersen y Voinnet, 2006).

Lupinus campestris

Lupinus campestris es una especie que se distribuye en suelos contaminados con metales pesados en Zacatecas, México. En medios de cultivo MS 0.5X adicionados con 100 µM de As(III o V), plántulas de *L. campestris* acumularon As en la raíz sin mostrar signos de toxicidad. Se observó que el As no se translocó a la parte aérea, lo cual hace que la planta no sea apta para la fitoextracción de As. Lo anterior sugiere que esta especie puede estar detoxificando el As(V), mediante una enzima similar a la ACR2 para su posterior acumulación en la raíz.

Objetivo

Dado lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo identificar a un homólogo de la proteína ACR2 en *L. campestris* (*LcACR2*) y construir un vector codificante de hpRNA para inducir el silenciamiento génico de *LcACR2* en *L. campestris*, con lo cual se puede generar una variedad que podrá translocar el As al sistema de brotes haciéndola una planta eficiente para la fitoextracción de As.

Materiales y métodos

Análisis bioinformático

Para identificar las proteínas homólogas a ACR2 (AtACR2; número de acceso: NP_568119) de *A. thaliana* en especies de *Lupinus*, se llevó a cabo una búsqueda con BLASTn. Se seleccionaron las secuencias con una cobertura de secuencia mayor a 80%. Las secuencias obtenidas se alinearon mediante ClustalW en Bioedti 7.2 (Hall, 1999). Se hizo una reconstrucción de historia evolutiva usando el método de mínima

evolución con el programa MEGA 7 (Kumar *et al.*, 2016). Para la predicción funcional de la enzima LaACR2, se llevó a cabo un análisis de dominios mediante el servidor CDD (Wang *et al.*, 2022).

Material biológico y transformación

El fragmento del gen *LcACR2* fue obtenido a partir de cDNA del tejido de plántulas de *L. campestris* que crecieron en medio de cultivo MS 0.5X adicionado con 100 µM de arsenato de potasio [As(V)]. El cDNA se obtuvo usando el kit SuperScript ® First-Strand Synthesis System for RT-PCR de Invitrogen ™, usando los oligos(dT), de acuerdo con las instrucciones del proveedor. Para la clonación se siguieron los protocolos del kit BP y LR clonase, usado al vector donador PDONR221 (ThermoFisher Scientific) con el marcador de selección kanamicina, y como vector destino se utilizó el plásmido pHELLSGATE12 que otorga resistencia a espectinomicina. Para la transformación se utilizaron las cepas de *E. coli* One Shot OmniMAX 2 T1R (ThermoFisher Scientific) químicamente competente y DB3.1:pHELLSGATE12.

Resultados

Reconstrucción filogenética

Con el fin de encontrar secuencias homólogas de la enzima AtACR2 de *A. thaliana* en especies de *Lupinus*, se llevó a cabo la reconstrucción filogenética de esta familia de proteínas. En este análisis las secuencias proteicas de *Lupinus albus* y *Lupinus angustifolius* se agruparon con un soporte del 100% en los valores de Bootstrap (Figura 1).

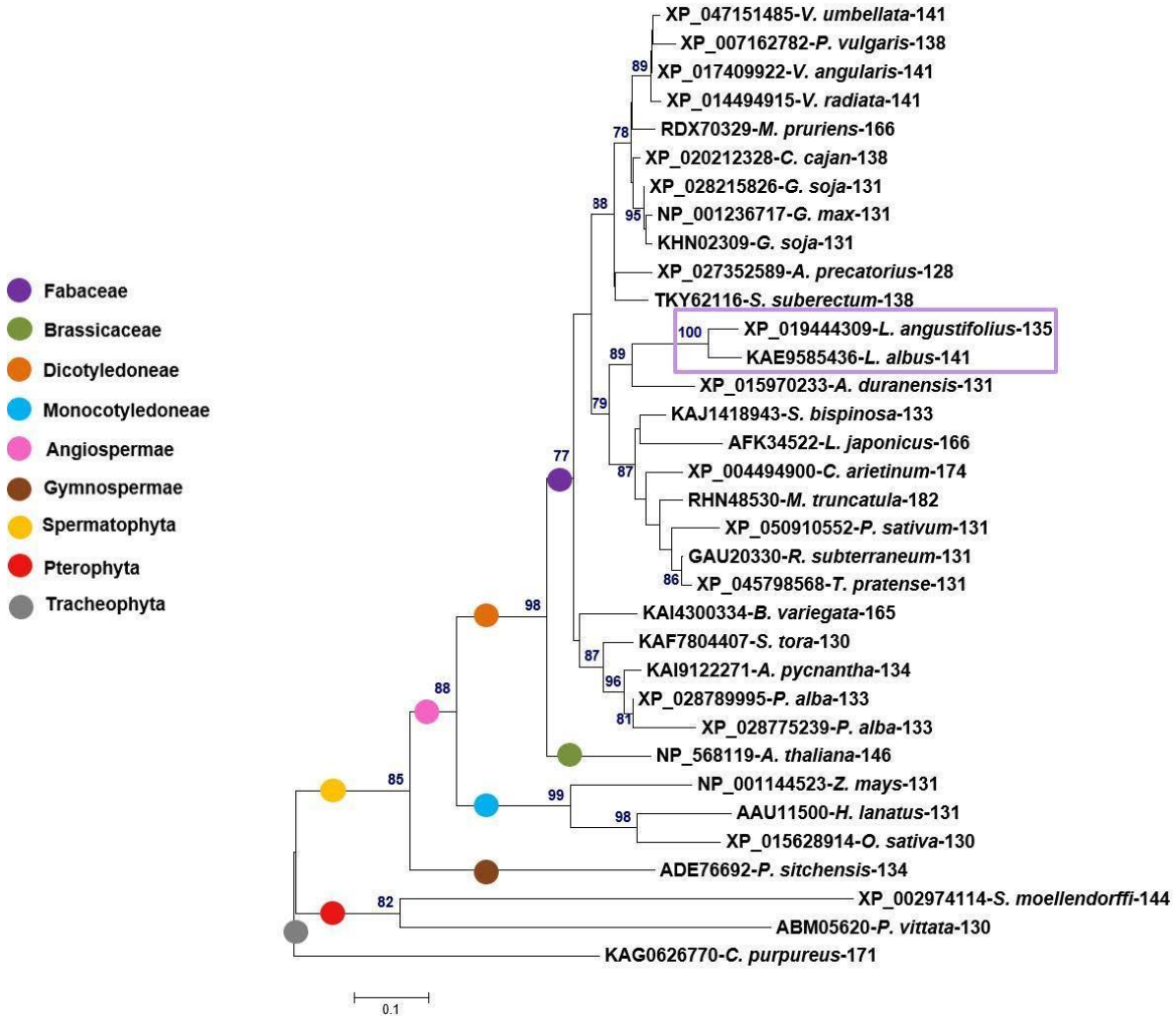


Figura 1. Reconstrucción filogenética mediante ME de proteínas similares a AtACR2 dentro de Tracheophyta. Se muestran veintiséis secuencias de la familia Fabaceae. El árbol filogenético se reconstruyó mediante el método de Mínima evolución. Se muestran los valores Bootsrap mayores a 70.

Predicción de función de proteínas y deducción de regiones funcionales

Para encontrar las regiones conservadas de la familia, importantes para la función enzimática, se analizaron las proteínas encontradas en el servidor CDD. Se observó que todas las proteínas tienen dos dominios conservados (Figura 2), el dominio Acr2p (cd01531) , propio de las As(V) reductasas, que abarcan aproximadamente 110

residuos, y el dominio de rodanasa (cl00125) que está formado de alrededor de 100 residuos. Se observó que un motivo consenso $HC(X_5)R$ se encuentra conservado en todas las secuencias de la familia Fabaceae la cual forma parte del sitio activo de las enzimas As(V) reductasas (2). Las proteínas del género *Lupinus* conservan los aminoácidos característicos del sitio activo de la familia ACR2, que está formado por un núcleo de cisteínas (His-41, C-122, C-124 y C-129). Con esta información se diseñaron los oligonucleótidos que flanquean la región conservada que contiene el dominio funcional Acr2p.

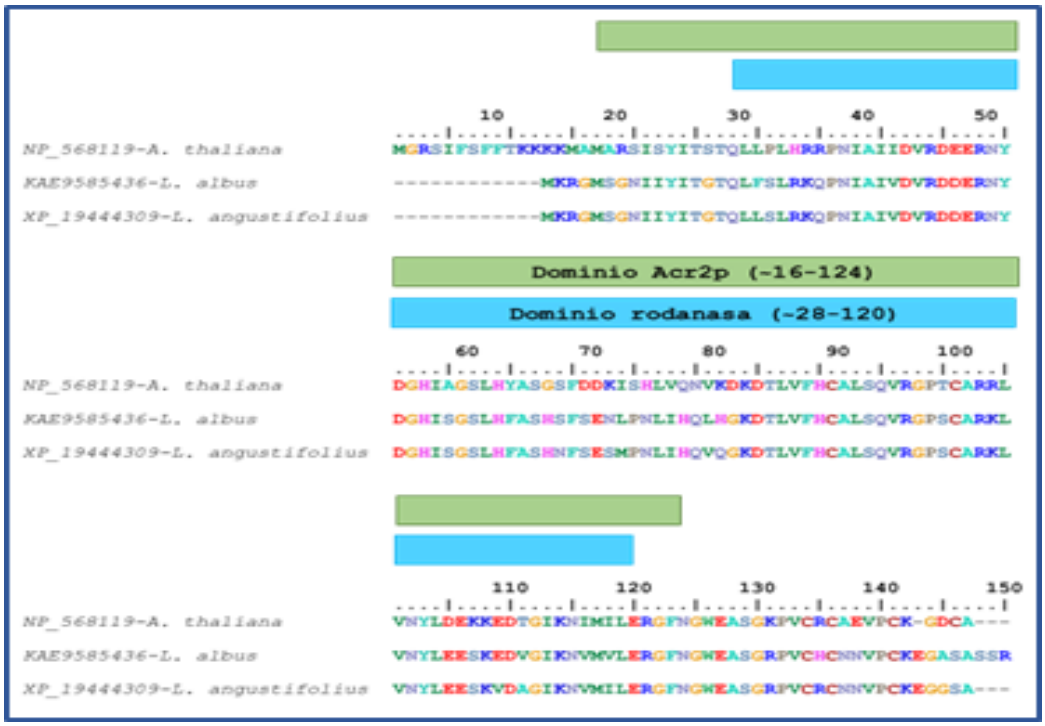


Figura 2. Dominios conservados en la familia ACR2. Se muestran las secuencias de las proteínas de *A. thaliana* (NP_568119), *L. albus* (KAE9585436) y *L. angustifolius* (XP_019444309). Se muestran en verde y azul los dominios Acr2p y rodanasa respectivamente.

Obtención de un vector de silenciamiento para el gen *LcACR2*

Mediante una PCR touchdown se amplificó un fragmento de 350 pb gen *LcACR2* a partir de cDNA obtenido de tejido plántulas de *L. campestris* crecido en presencia de As(V) (Figura 3 A). Mediante la reacción BP, este fragmento se clonó en el vector de

entrada pDONR221 (Figura 3 B) y se subclonó en el vector de destino pHELLSGATE12 usando la reacción LR (Figura 3 C).

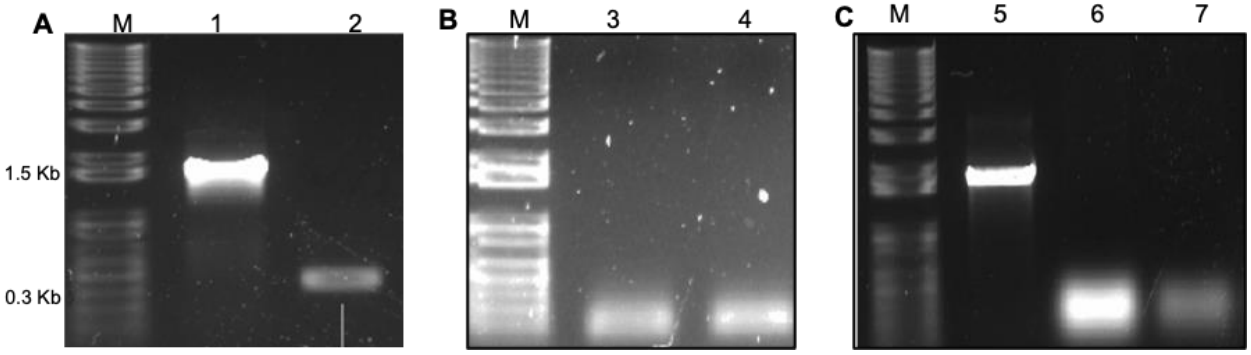


Figura 3. Clonación del fragmento del gen *LcACR2.* A) Amplificación del gen *LcACR2* (fragmento de 350 pb del gen *LcACR2*) a partir del cDNA de plantas de 6 días de crecimiento en MS 0.5X adicionado con 100 µM de As(V). B) Amplificación del fragmento del gen del gen *LcACR2* de clonas positivas de la reacción BP. C) Amplificación del fragmento del gen del gen *LcACR2* de clonas positivas de la reacción LR. M.- marcador de tamaño molecular; 1 y 5.- control positivo (amplificación del gen *PHT1*); 2.- amplificación del fragmento de *LcACR*; 3 y 4.- clonas positivas de la reacción BP; 6 y 7.- clonas positivas de la reacción LR.

Después de la reacción de recombinación en este vector, el fragmento del gen *LcACR2* se insertó en sentido y en antisentido flanqueando un intrón, lo cual permitirá la formación del tallo asa para el silenciamiento del gen *LcACR2.*

Discusión

Las proteínas de la familia ACR2 están involucradas en la detoxificación del As en *S. cerevisiae* y en varias especies vegetales como *A. thaliana* y *P. vittata*. Los análisis filogenéticos, la similitud de secuencia y la conservación de motivos funcionales sugiere que las proteínas de la familia podrían conservar la función enzimática, incluso entre distintos grupos taxonómicos (Wolko *et al.*, 2011). Dado que el genoma de *L. campestris* no ha sido secuenciado aún, se utilizaron las secuencias de dos especies del género *Lupinus, L. albus* y *L. angustifolius,* para la búsqueda de proteínas similares a ACR2 de *A. thaliana.*

En la reconstrucción filogenética generada en esté trabajo (Figura 1), fue posible recuperar varias secuencias del clado Tracheophyta, mostrando que es posible encontrar proteínas ACR2 desde los clados basales como Pteridophyta *s.l.* hasta aquellos de más reciente aparición como Angiospermae. Esto sugiere que los genes que codifican a las proteínas ACR podrían compartir un origen común, y que por lo tanto los genes ACR2 de cada una de estas especies son ortólogos, como se ha sugerido en otros trabajos (Dhanker *et al.*, 2006).

Las proteínas encontradas contienen los dominios conservado Acr2p y rodanasa. Lo anterior también se relaciona con la tirosina fosfatasa CDC25 (Bordo y Bork 2002) pues contienen un dominio rodanasa lo que sugiere la función de reductasa. Se observó un motivo conservado HC(X_5)R, que se encuentra en todas las secuencias de la familia Fabaceae el cual forma parte del sitio activo de las enzimas As(V) reductasas. En el dominio de rodanasa (cl00125) de las secuencias del género *Lupinis* se encontraron los residuos que son parte del sitio catalítico reportado para la proteína ACR2 (Bordo & Bork, 2002), lo que sugiere que las enzimas pueden ser funcionales.

Dado que se ha construido un vector codificante de hpRNA para el silenciamiento génico de ACR2 en *L. campestris*, este puede ser de gran utilidad para, además de corroborar *in vitro* su función, aumentar la translocación de As a la parte aérea, al silenciar el gen ACR2 en *L. campestris.*

Conclusión

Se encontraron miembros de la familia ACR2 en el clado Fabaceae, específicamente dos proteínas dentro del género *Lupinus*. Estas proteínas contienen los dominios conservados Acr2p (cd01531) y rodanasa (cl00125), además del motivo HC(X_5)R y los residuos importantes del sitio activo H-41, C-122, C-124 y C-129, por lo que es probable que conserven la función AsV-reductasa. Se logró amplificar un fragmento del gen *LcACR2*, por los que se concluye que existe un homólogo de la familia ACR2 en *L. campestris*. Se logró la generación de un vector para el silenciamiento del gen *LcACR2* de *L. campestris*.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible con los fondos provenientes de los proyectos: Convocatoria Institucional de Investigación Científica 2024 de la Universidad de Guanajuato, proyecto 064/2024**.** Ciencia Básica CB-2010-01 000000000156851 y UAZ-202138539. A la Dra. Gloria Guerrero Manríquez del Laboratorio de Bioquímica Molecular e Inmunología, y a la Dra. Rosa María Ramírez Santoyo y la Dra. Luz Elena Vidales Rodríguez del Laboratorio de Biología de Bacterias y Hongos por permitir el uso de sus equipos.

Referencias

Ashfaq, M.A., Dinesh, K.V., Soma, S.R.P., Anil, K.C., Sai, K.K., Narasimha, R.N., Tarakeswari, M., Sujatha, M. (2020). Post-transcriptional gene silencing: Basic concepts and applications. *Journal of biosciences*, *45*(1): 128.

Ashwini, M., Murugan, S.B., Balamurugan, S., Sathishkumar, R. (2016). Advances in molecular cloning. *Molecular Biology*, *50*: 1-6.

Bertero, A., Brown, S., Vallier, L. (2017). Methods of cloning. In *Basic science methods for clinical researchers.* 19-39. Elsevier.

Bordo, D., Bork, P. (2002). The rhodanese/Cdc25 phosphatase superfamily. Sequence-structure-function relations. *EMBO Reports 3*(8): 741-746. DOI: 10.1093/embo-reports/kvf150

Brodersen, P., Voinnet, O. (2006). The diversity of RNA silencing pathways in plants. *TRENDS in Genetics*, *22*(5): 268-280.

Cesaro, P., Cattaneo, C., Bona, E., Berta, G., Cavaletto, M. (2015). The arsenic hyperaccumulating Pteris vittata expresses two arsenate reductases. *Scientific Reports*, 5(1): 14525.

Dhankher, O.P., Rosen, B.P., McKinney, E.C., Meagher, R.B. (2006). Hyperaccumulation of arsenic in the shoots of Arabidopsis silenced for arsenate reductase (ACR2). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(14), 5413-5418.

Ghori, N.H., Ghori, T., Hayat, M., Imadi, S., Gul, A., Altay, V., Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International journal of environmental science and technology*, 16: 1807-1828.

Hall, T.A. (1999). BioEdit: A User-Friendly Biological Sequence Alignment Editor and Analysis Program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, *45*: 95-98.

Kumar, S., Stecher, G., Tamura, K. (2016). MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Mol Biol Evol*, *33*(7): 1870-1874.

Reece, H.J.S., Walhout, A.J. (2018). Gateway recombinational cloning. *Cold Spring Harbor Protocols*, *2018*(1), pdb. top094912.

Wang, J., Chitsaz, F., Derbyshire, M.K., Gonzales, N.R., Gwadz, M., Lu, S., Marchler, G.H., Song, J.S., Thanki, N., Yamashita, R.A., Yang, M., Zhang, D., Zhen, C., Lanczycki, C.J., Marchler, B.A. (2022). The conserved domain database in 2023. *Nucleic Acids Research*, *51*(D1), D384-D388.

Wolko, B., Clemens, J.C., Naganowska, B., Nelson, M.N., Yang, H. (2011). *Lupinus.* Capítulo 9. En: Chittaranjan Kole (editor) Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 153-206. DOI 10.1007/978-3-642-14387-8.

INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE EN LA SÍNTESIS DE CAFEÍNA EN GRANOS DE CAFÉ (*Coffea arabica*) Y SU RELACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO

Gloria María Solares-Díaz[1*], Arturo Aguirre-Gómez[1], María Elena Quintana-Sierra[1] y Reynoldez Vicente Barragan-Hidalgo[1]

[1]*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.*

*gloria.solares@cuautitlan.unam.mx

Resumen

El café es un producto que México exporta a varios países del mundo. Más de tres millones de personas en el país se benefician de su cultivo, recolección, industrialización y comercialización. La calidad del café incluye propiedades químicas y organolépticas desde la perspectiva del consumidor. La cafeína probablemente es el factor químico más analizado y que con mayor frecuencia se utiliza para la discriminación de variedades de café verde. El propósito de este trabajo de investigación fue enfocado al estudio de la interacción genotipo x ambiente a partir de la acumulación de cafeína en grano de café en verde de tres variedades (Caturra, Catuaí y Typica), dos fechas de corte y tres localidades que difieren en altitud: San Bartolo Tutotepec (1,100 msnm); San Bartolo Tutotepec (900 msnm), y; Huehuetla (450 msnm), pertenecientes a la zona Otomí-Tepehua del Estado de Hidalgo, México. Este análisis se realizó a través de la evaluación cromatográfica (Cromatografía Líquida de Alta Resolución-HPLC). Aunado a esto, se consideró a la vez el análisis conjunto de los parámetros de fertilidad N, P y K, tanto en suelos como en hojas y granos de café verde. Se estimaron las correlaciones entre las variables estudiadas. Las conclusiones relevantes del trabajo fueron: 1) Existe interacción genotipo-ambiente que determina la concentración de cafeína en granos en verde de las variedades Caturra, Catuaí y Typica; 2) La interacción genotipo-ambiente es debida a la altitud; 3) Existe una relación inversamente proporcional entre la concentración

de cafeína en granos de café verde y la concentración de potasio en grano en las variedades Caturra y Catuaí asociada con la altitud, no así en la variedad Typica.

Palabras clave: cafeína, interacción genotipo x ambiente, HPLC

Introducción

México es el onceavo productor de café a nivel mundial. Este producto se exporta a Estados Unidos de América, Bélgica, Canadá, Reino Unido y a otros países (SADER, 2022). La importancia de este producto como bebida se atribuye a sus efectos estimulantes y cualidades organolépticas. La calidad del café como bebida se refiere a sus características sensoriales que incluyen el aroma (bouquet), acidez, cuerpo y sabor (SAGARPA, 2002), relacionadas con la ubicación geográfica, condiciones climáticas y ambientales, el genotipo y las prácticas culturales durante el cultivo. La caracterización comercial de las variedades se realiza a partir de la determinación de ácidos clorogénicos y/o con cafeína (Bicchi *et al.*, 1995). La creencia de que la cafeína produce efectos adversos a la salud se ha incrementado la venta de café descafeinado, a pesar de que el proceso de eliminación de cafeína es caro. Existen especies que producen baja concentración de cafeína, pero la calidad de la bebida es de baja aceptación, por lo que se ha propuesto realizar mejoramiento genético para reducir la cantidad de cafeína. Sin embargo, al ser un carácter de tipo cuantitativo, o sea, determinado por muchos pares de genes e influenciados grandemente por el ambiente (Márquez, 1992). El mismo autor indica que un carácter cuantitativo podrá expresarse como una función del valor genotípico y el valor ecológico o ambiental, de tal manera que el genotipo tiende a cambiar el ambiente, pues al crecer y desarrollarse actúa sobre aquel modificándolo; esta modificación actúa entonces en otra forma sobre el genotipo y lo hace cambiar también, generando de esta manera una interacción entre el genotipo y el ambiente en el que se desarrolla, conocida como interacción genotipo-ambiente o interacción genético ambiental (GxE).

En el cultivo de café, se han realizado investigaciones para detectar interacción genotipo- ambiente, como el de Beksisa *et al*. (2018), quienes observaron diferencias significativas en el rendimiento de un ambiente a otro, indicando la presencia de

interacción genotipo x ambiente, trabajo realizado en Etiopía. Por otro lado, Mendonça *et al*. (2016), quienes detectaron interacción genotipo x ambiente en la calidad de la bebida de café, en donde la altitud, y el genotipo del material cultivado son factores para este efecto; este trabajo se llevó a cabo en Minas Gerais, Brasil.

Poca investigación se realiza en México sobre café en cuanto a su desarrollo y calidad en relación con el ambiente, de ahí que este trabajo tenga como propósito el detectar posible interacción genotipo x ambiente en la concentración de cafeína en grano, considerando para ello el análisis conjunto de variables del suelo, foliares y de grano.

Objetivo

Detectar interacción genotipo-ambiente en las variedades de café Caturra, Typica y Catuaí en seis ambientes que difieren principalmente en altitud, cultivadas en la región Otomí-Tepehua del Estado de Hidalgo, por medio del análisis químico y la determinación y cuantificación de cafeína en grano de café en verde. Asimismo, determinar los parámetros de fertilidad N, P y K en suelo, hojas y grano en verde de café para investigar posibles relaciones con la concentración de cafeína en grano en verde.

Materiales y métodos

La toma de muestras para esta investigación se realizó en la Región Otomí-Tepehua del Estado de Hidalgo. Dicha región presenta climas semicálidos húmedos con lluvias todo el año, templados húmedos con lluvias todo el año, templados húmedos con abundantes lluvias en verano y cálidos subhúmedos con lluvias en verano. La región se subdivide a la vez en tres zonas: Zona alta, San Bartolo Tutotepec, 1,100 msnm; Zona media, San Bartolo Tutotepec, 900 msnm, y; Zona baja: Huehuetla, 450 msnm. Se aplicó el diseño en bloques al azar con dos repeticiones en las parcelas muestreadas; asimismo, se aplicaron los análisis de varianza de bloques al azar en varias localidades y análisis de varianza en subparcelas como observaciones repetidas (análisis anual), este último para concentración de cafeína. Se estimaron

correlaciones entre todas las características consideradas en los análisis de suelo, foliar y de grano.

Se realizaron muestreos en dos fechas diferentes en las mismas localidades y parcelas, por lo cual se consideran seis ambientes diferentes. El primer muestreo se realizó en diciembre del 2000 y el segundo el 2 de febrero 2001 en todas las localidades, parcelas y árboles de las variedades tomadas para este estudio. Las variedades consideradas fueron: Typica, Caturra y Catuaí. La variedad Typica fue introducida a México en el año de 1790, la variedad Caturra en 1952 y la variedad Catuaí en 1980.

Se tomaron muestras foliares, de suelo y de grano; ambos muestreos se realizaron en los mismos árboles. El suelo se tomó de los árboles muestreados. Para determinar la fertilidad del suelo, se analizaron N, P, K disponibles. Las muestras se tomaron a dos profundidades; zona I-suelo de 0-20 cm de profundidad y zona II-suelo de 20-40 cm de profundidad de acuerdo con las indicaciones de Domínguez (1999).

La determinación de fósforo disponible fue por el método de Bray (Houba *et al.*, 1986). Para la determinación de nitrógeno y potasio se siguió la misma metodología que en el caso del análisis foliar. En el análisis foliar se determinó el contenido de N, P, K en las variedades de café Typica, Caturra y Catuaí. De un cafeto se tomaron dos ramas seleccionadas del tercio medio, recolectando 4 hojas por cafeto. A continuación, se lavaron con agua y se colocaron en bolsas con los datos correspondientes. Las hojas se secaron a 60°C por 8 horas (Domínguez, 1999). La determinación de fósforo fue por colorimetría, la de potasio por flama y la de nitrógeno por colorimetría, de acuerdo con la metodología propuesta por Houba *et al.* (1989). La clasificación de la cantidad de nutrientes se realizó de acuerdo con el DOF (2000, 2002).

En el caso del grano, se determinó N, P, K y cafeína en grano verde por los métodos mencionados en el análisis foliar. Para la determinación de cafeína en grano en verde, se aplicó el método sugerido para Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) (Casal *et al.*, 2000), con modificaciones de las fases (acetonitrilo:agua, 40:60, tasa de flujo de 1.5 ml min^{-1}).

La estimación de interacción genotipo-ambiente en la característica promedio de cafeína de los genotipos evaluados, así como la obtención de parámetros de estabilidad se analizaron aplicando el modelo de Eberhart y Russell (1966) con las definiciones realizadas por Carballo y Márquez (1970).

Resultados

Análisis de Suelos

En general, la cantidad de N disponible es muy baja en los suelos de la zona alta a ambas profundidades (de 0.00 a 4.93 mmol kg^{-1}) y para las tres variedades estudiadas; para la zona media la concentración de N disponible es muy alta (de 4.30 a 9.30 mmol kg^{-1}), sin embargo, la concentración en zona media para la variedad Caturra fue de 32.94 mmol kg^{-1}. En la zona baja la concentración de N disponible es muy alta (5.38 a 6.16 mmol kg^{-1}), en especial en el suelo de la variedad Typica a ambas profundidades (20.68 y 15.04 mmol kg^{-1}) y excepto en la variedad Caturra a 0-20 cm (1.84 mmol kg^{-1}), la cual se considera como concentración media y en la variedad Catuaí a 20-40 cm (0.00 mmol kg^{-1}) muy baja (DOF, 2000, 2002).

Las mayores concentraciones de K disponible se presentaron en la zona media para la variedad Typica considerándose alta a ambas profundidades (7.51 y 8.47 mmol kg^{-1}, de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, respectivamente). Para la variedad Caturra en las dos profundidades (5.58 y 3.42 mmol kg^{-1}, de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, respectivamente), zona media y baja, así como para Catuaí zona media a la profundidad de 0-20 cm (4.62 mmol kg^{-1}) la concentración es media. Bajas concentraciones se encuentran en las 3 zonas en la variedad Catuaí a la profundidad de 20 a 40 cm (1.25 y 1.49 mmol kg^{-1}, zona alta media y baja, respectivamente). Asimismo, para Typica y Catuaí a la profundidad de 0-20 cm se considera baja (2.94 y 2.21 mmol kg^{-1}) y muy baja para Typica a 20-40 cm (1.97 mmol kg^{-1}). Como en el caso de N disponible, la zona alta tuvo menor concentración de K disponible; la variedad Caturra presenta baja concentración a ambas profundidades (2.94 y 2.69, de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, respectivamente), así como la variedad Typica de 0-

20 cm (2.21 mmol kg^{-1}), mientras que para la misma variedad de 20-40 cm (1.73 mmol kg^{-1}) (DOF, 2000, 2002).

El P disponible muestra concentración alta en la zona media para la variedad Typica a ambas profundidades (5.88 y 4.69 2.21 mmol kg^{-1} de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, respectivamente); para la variedad Caturra misma zona, la concentración a 0-20 cm (0.59 mmol kg^{-1}) es media y de 20-40 cm baja (0.16 mmol kg^{-1}); para la variedad Catuaí es baja a ambas profundidades (0.34 y 0.09 mmol kg^{-1}, respectivamente) (DOF, 2000, 2002).

Análisis foliar

La variedad que presentó una mayor concentración de nitrógeno foliar fue Caturra, ya que el promedio obtenido de las tres zonas en esta variedad fue de 1,244.8 mmol kg-1, mientras que el promedio de concentración en Typica fue de 1,083.6 mmol kg-1 y 960.3 mmol kg-1 en la variedad Catuaí. Por zona, las diferencias son mínimas; la zona baja muestra un promedio de concentración de 1,165.8 mmol kg-1, 1 135.2 mmol kg-1 la zona alta y 987.7 mmol kg-1 la zona media. El análisis de varianza correspondiente no indicó diferencias significativas entre las variedades y bloques (datos no mostrados). En la concentración de Potasio en hoja, al igual que en el caso de nitrógeno, el mayor promedio por variedad corresponde a Caturra con 411.7 mmol kg-1, seguida por Typica con 395.0 mmol kg-1 y finalmente Catuaí con 343.5 mmol kg-1. Por zona, se presenta un mayor promedio de concentración foliar en la zona media 475.2 mmol kg-1, en la zona baja 397.9 mmol kg-1 y en la zona alta 277.0 mmol kg-1, alrededor de la mitad de lo que se determinó en la zona alta. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre variedades y bloques (datos no mostrados). En el caso del fósforo en hoja, las concentraciones promedio por variedad y por zona tuvieron diferencias mínimas; por variedad, la mayor concentración promedio es en Caturra con 135.5 mmol kg-1, la variedad Catuaí con 129.8 mmol kg-1 y en la variedad Typica 107.8 mmol kg-1. Por zona, el promedio de concentración mayor se presentó en la zona media con 128.2 mmol kg-1, en la zona baja 125.5 mmol kg-1 y en la zona alta, con el menor promedio de concentración, 119.4 mmol kg-1. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos y

bloques (datos no mostrados). En general, se puede decir que la variedad más exigente en N, P y K fue Caturra, ya que ésta presenta la mayor concentración en promedio de dichos elementos, en segundo término, Typica y finalmente Catuaí.

Análisis de grano

El promedio en la concentración de N para las diferentes variedades en los seis ambientes no fue significativo en el análisis de varianza (datos no presentados), esto es, que la concentración de N es similar en los tres genotipos de prueba para los seis ambientes. La concentración de K muestra diferencias significativas entre variedades en el Ambiente 1, de tal manera que las medias son diferentes. Para este caso, las variedades con media más alta fueron Catuaí (397.4 mmol kg^{-1}) y Typica (391.8 mmol kg^{-1}), similares estadísticamente, mientras que la variedad Caturra con una media menor (347.6 mmol kg^{-1}), es diferente significativamente. Asimismo, en el Ambiente 4 se presentan diferencias entre variedades; en este caso, la variedad Typica presenta el promedio más alto (383.2 mmol kg^{-1}), diferente significativamente a Catuaí (338.2 mmol kg^{-1}) y Caturra (329.2 mmol kg^{-1}), éstas últimos iguales estadísticamente. Para fósforo, el análisis de varianza muestra una diferencia entre las tres variedades para el Ambiente 3 en el cual la mayor concentración de P está presente en la variedad Typica (59.1 mmol kg^{-1}), diferente significativamente a las variedades Catuaí (47.5 mmol kg^{-1}) y Caturra (46.4 mmol kg^{-1}), cuyos promedios son iguales estadísticamente. El análisis de varianza para localidades no muestra diferencias significativas entre variedades, se puede decir que hay consistencia en la concentración de P en grano entre las variedades de un ambiente a otro.

Cafeína

La determinación de cafeína, como ya se mencionó, se realizó por HPLC. La cuantificación de cafeína se realizó al comparar las áreas de los picos con un estándar de cafeína a concentración conocida. El análisis de varianza de bloques al azar para varias localidades indica que no hay diferencias entre variedades para la característica concentración de cafeína en grano verde. Sin embargo, la interacción Localidad x Variedad es altamente significativa (Fc = 5.77; Ft (0.05) = 2.76; Ft (0.01)

= 4.30), de tal manera que hay variaciones reales en la respuesta de concentración de cafeína en grano verde de localidad a localidad).

Observando los Ambientes desde el punto de vista de zonas, la zona alta corresponde a los Ambientes 1 y 4, zona media a los Ambientes 2 y 5 y zona baja a los Ambientes 3 y 6, hay una tendencia en las variedades Caturra y Catuaí de disminución en la concentración de cafeína en grano verde en el orden: zona alta > zona media > zona baja, esto es, Ambientes 1 y 4 > Ambientes 2 y 5 > Ambientes 3 y 6, en ambos cortes. En cambio, para la variedad Typica, el orden de mayor a menor concentración es zona media > zona baja > zona alta, esto es, Ambientes 2 y 5 > Ambientes 3 y 6 > Ambientes 1 y 4, en ambos cortes, sin embargo, las diferencias no son tan marcadas (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración promedio de cafeína en tres variedades de café verde (g kg^{-1}) y promedio por ambientes (en forma descendente).

Variedad	Corte 1 Ambiente	Promedio	Corte 2 Ambiente	Promedio
Caturra	1	9.83	4	10.02
	2	8.30	5	9.68
	3	7.89	6	8.77
Typica	2	9.98	5	10.10
	3	9.63	6	9.66
	1	9.04	4	8.62
Catuaí	1	10.99	4	8.91
	2	9.34	5	7.77
	3	8.26	6	7.11

Interacción Genotipo-Ambiente en Café a través del Contenido de Cafeína

En la Tabla 2 se presenta el análisis de varianza de los parámetros de estabilidad de variedades propuesto por Eberhart y Russell (1966) para concentración de cafeína en verde. El análisis muestra que no hay diferencias significativas en variedades y desviaciones de regresión, sin embargo, existe una diferencia altamente significativa en Variedades x Ambientes indicando que la concentración de cafeína es diferente al comparar ésta en los ambientes analizados y la variedad.

Tabla 2. Análisis de Varianza de concentración de cafeína en café verde (g kg^{-1}).

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Significancia
Total	17	19.47			
Variedades	2	2.45	1.23	2.84	NS
Variedades x Ambientes	10	17.02	1.13		
Ambientes (lineal)	1	5.58	5.58		
Variedades x Ambientes (lineal)	2	6.25	3.12	7.24	**
Desviación regresión conjunta	12	5.18	0.43		
Desviación Var. 1	4	2.13	0.53	1.35	NS
Desviación Var. 2	4	1.14	0.28	0.72	NS
Desviación Var. 3	4	1.90	0.48	1.20	NS
Error Conjunto	12	4.75	0.40		

** F(0.05) = 3.88; F(0.01)= 6.93

Los valores de parámetros de estabilidad obtenidos para las variedades Caturra, Typica y Catuaí en seis ambientes se presentan en la Tabla 3. Las medias de

concentración de cafeína de las tres variedades son iguales, muestran diferencias, pero con una probabilidad del 90%. En cuanto a los parámetros de estabilidad, el coeficiente de regresión para las variedades Typica y Catuaí fueron diferentes entre sí (Fc =7.24; Ft (0.05) = 3.89, Ft (0.01) = 5.10, altamente significativo), además, únicamente el coeficiente de regresión obtenido para la variedad Caturra fue igual a uno (β1 = 1), mientras que para la variedad Typica fue menor de uno (β2 < 1) y mayor de uno (β3 > 1) para la variedad Catuaí. Las desviaciones de regresión fueron cercanas a cero para las tres variedades (δ2di = 0) (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio de cafeína y situación de tres variedades de café evaluadas en seis ambientes en función de parámetros de estabilidad (Carballo y Márquez, 1970).

Variedad	Coeficiente de regresión (βi)	Desviaciones de la regresión (δ2di)	Descripción
Variedad 1: Caturra (9.08 g kg^{-1})	β1 = 1 (0.97)	δ2d1 = 0 (0.34)	Buena respuesta en todos los ambientes
Variedad 2: Typica (9.53 g kg^{-1})	β2 < 1 (-0.28)	δ2d1 = 0 (0.09)	Respuesta mejor en ambientes desfavorables y consistente
Variedad 3: Catuaí (8.63 g kg^{-1})	β3 > 1 (2.30)	δ2d1 = 0 (0.28)	Respuesta mejor en buenos ambientes y consistente

Se presentaron coeficientes de correlación significativos entre diferentes variables, sin embargo, la correlación entre potasio y cafeína es sobresaliente. La concentración de K en grano y la concentración de cafeína, para los ambientes 1, 2 y 3 fue r = -0.64, significativo, y para los ambientes 4, 5 y 6, r = -0.12, aunque no significativo, la tendencia existe. Sin considerar a la variedad Typica, únicamente las variedades

Caturra y Catuaí, el coeficiente de correlación para la concentración de cafeína y de K en grano es de r = -0.54, significativa.

Discusión

Los nutrientes determinados en esta investigación, N, P y K disponibles en suelo muestran diferencias en cuanto a concentración de acuerdo con la variedad, la zona e incluso el bloque, aun cuando para las tres variedades en cada ambiente se tomaron de la misma parcela. Las diferencias dentro de la misma parcela fueron establecidas durante el muestreo. En la zona alta, la pendiente se considera 'regular', además de que son suelos pedregosos. En la zona media, la pendiente es pronunciada y los suelos con alta pedregosidad. La pendiente de la zona baja es muy pronunciada y la pedregosidad cambia de baja a muy pedregosa.

Malavolta *et al.* (2002), al realizar el análisis de ramas, flores y hojas en dos variedades de café, Mundo Novo y Catuaí Amarelo, no encontraron diferencias significativas entre variedades para N, P y K en hojas, al igual que en este estudio. Sin embargo, la concentración promedio de los tres elementos difiere considerablemente en relación con la concentración determinada en las tres variedades y zonas del Estado de Hidalgo. Mientras que, la concentración de N promedio de ambas variedades fue de 29.01 g kg^{-1} en Brasil, para Caturra, Typica y Catuaí en Hidalgo estuvo entre 11.85 a 18.80 g kg^{-1}, una diferencia de 8 a 10 g kg^{-1} menos. Para fósforo, la concentración promedio fue de 1.31 g kg-1 en Mundo Novo y Catuaí Amarelo, en cambio en las tres zonas y variedades para el presente estudio fue de 2.70 a 4.74 g kg^{-1}, de dos a tres veces más. En cuanto a K, 26.7 g kg^{-1} fue la concentración promedio en Brasil, mientras que en Hidalgo la concentración fue de entre 6 a 16 g menos (10.37 a 20.46 g kg^{-1}) para las tres variedades y zonas. Estas diferencias se consideran debidas a tres factores: a) El análisis realizado por Malavolta *et al.* (2002) se llevó a cabo durante la antesis, mientras que en esta investigación las hojas se tomaron durante la fase de madurez del fruto; b) La densidad de plantación en Brasil es de 4,000 a 5,000 plantas por hectárea, densidad propia de cultivo a pleno sol (no se especifica), mientras que en Hidalgo es de 1,350

a 2,500 plantas por hectárea y creciendo bajo sombra, y; c) A pesar de que no se indica fertilización alguna en las parcelas experimentales brasileñas, es muy probable que tuvieran los requerimientos especificados para ello, mientras que las parcelas de la zona Otomí-Tepehua no se fertilizaron en al menos dos años. De cualquier forma, el mismo autor indica que puede haber diferencias significativas en el contenido de nutrientes entre cultivares debido a variación genética, intensidad de la demanda de brotes florales, flores durante antesis e interacción entre los nutrientes y labores culturales.

En relación con la correlación significativa encontrada entre K en grano y concentración de cafeína (r = -0.54), indica que, a mayor concentración de K en grano, menor concentración de cafeína en las variedades Caturra y Catuaí, mientras que la variedad Typica no muestra esta variación. Resultados similares a los de Gremigni *et al.* (2001), en (*Lupinus angustifoliis*) al analizar alcaloides en semillas, en donde en ciertas variedades sí se presentan concentraciones inversamente proporcionales (Potasio y alcaloides) y en otra variedad, considerada “amarga” no hay esta respuesta.

En cuanto a los parámetros de estabilidad, el coeficiente de regresión para las variedades Typica y Catuaí fueron diferentes (Fc =7.24; Ft (0.05) = 3.89, Ft (0.01) = 5.10, altamente significativo), además, únicamente el coeficiente de regresión obtenido para la variedad Caturra fue igual a uno ($\beta1 = 1$), mientras que para la variedad Typica fue menor de uno ($\beta2 < 1$) y mayor de uno ($\beta3 > 1$) para la variedad Catuaí, esta diferencia indica interacción genotipo x ambiente, esto es, que la concentración de cafeína cambia en función del ambiente. Dicha interacción es debida a la altitud y probablemente se encuentra asociada con temperatura, dado que: Waldhauser y Baumann (1996) detectaron que el equilibrio constante del complejo clorogenato de potasio-cafeína es dependiente de la temperatura; durante el proceso de tostado la temperatura está relacionada con el aumento en la concentración de cafeína (Casal *et al*., 1998), lo que hace suponer un rompimiento del complejo mencionado; la diferencia en temperatura debida a la altitud es un descenso de cerca de 1.66 °C por cada 305 m de aumento en altitud (Wilsie, 1966),

lo que equivale, en las localidades estudiadas a una diferencia de 2.45°C de zona baja a zona media, 1.09 °C de zona media a zona alta, en la temperatura media. La interacción genotipo ambiente en café también fue detectada para calidad de café por Mendonca *et al*. (2016) debida a factores ambientales como altitud y diversidad genética en 10 cultivares en Brasil.

Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en las variables evaluadas para el análisis de suelo, foliar y de grano en café verde en tres variedades, para la región de estudio Otomí-Tepehua del Estado de Hidalgo, zonas: alta, media y baja, y considerando los objetivos planteados en un inicio, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Existe interacción genotipo-ambiente que determina la concentración de cafeína en semillas en verde de las variedades Caturra, Typica y Catuaí. La interacción genotipo-ambiente es debida a la altitud, probablemente asociada con la temperatura.

4. Hay interacción Localidad x Variedad, de tal manera que existen variaciones en la respuesta de concentración de cafeína en grano verde de localidad a localidad.

5. Existe una asociación inversamente proporcional entre la concentración de cafeína en semillas en café verde y la concentración de potasio en grano, asociada con altitud y temperatura, para las variedades Caturra y Catuaí, no así para la variedad Typica.

6. Las variedades Caturra y Catuaí muestran menor concentración de cafeína en la zona baja, aumentando ésta en la zona media y presentando la mayor concentración en la zona alta.

7. La variedad Typica presenta constancia en el promedio de la concentración de cafeína en las tres zonas (seis ambientes).

8. Debido a que la variedad Typica se considera el tipo ‘silvestre’ en la región, muestra mayor adaptación este genotipo a los ambientes de prueba, de ahí su buena respuesta en los ambientes desfavorables y su constancia en concentración de cafeína.

En general, en la región Otomí-Tepehua la respuesta de las variedades en cuanto a concentración de cafeína en café verde es diferente con relación a las zonas alta, media y baja.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Mexicano del Café, Delegación Hidalgo por su apoyo para la realización de esta investigación.

Agradecemos a la Doctora Raquel López Arellano de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM por su apoyo para la realización de las pruebas de HPLC.

Referencias

Beksisa, L., Alamerew, S. Ayano, A., Daba, G. (2018). Genopype x environment interaction and yield stability of Arabica coffee (*Coffea Arabica* L.) genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, *13*(4): 210-219.

Bicchi, C.P., A.E. Binello, M.M. Legovich, G.M. Pellegrino, Van, A.C. (1993). Characterization of roasted coffees by S-HSGC and HPLC-UV and principal component analysis. *J. Agric. Food Chem*, *41*: 2324-2328.

Carballo, C.A., Márquez, S.F. (1970). Comparación de variedades de maíz del bajío y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia, 5*(1): 129-146.

Casal, S., Oliveira, M.B., Ferreira, M.A. (1998). Development of an HPLC/diode-array detector method for simultaneous determination of trigonelline, nicotinic acid, and caffeine in coffee. *J. Liq. Chrom. & Rel. Technol*., *21*(20): 3187-3195.

Casal, S., Oliveira, M.B., Ferreira, M.A. (2000). HPLC/diode-array Applied to the thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid, and caffeine in coffee. *Food Chemistry*, *68*: 481-485.

Diario Oficial de la Federación. (2000). *Tomo DLXV, No.12*. Estados Unidos Mexicanos.

Diario Oficial de la Federación. (2002). *Segunda Sección*. Estados Unidos Mexicanos.

Domínguez, M.B. (1999). Metodología para muestreo foliar y de suelos. En: Cafeticultura en México. Diplomado Continuo. Noveno Evento. UACH. Programa de Investigación y Desarrollo en Regiones Cafetaleras. Centro Regional Universitario Oriente. 20 sep.- 9 oct. Veracruz, México.

Eberhart, S.A., Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, *6*: 36-40

Gremigni, P., Wong, M.T.F., Edwards, N.K., Harris, D., Hamblin, J. (2001). Potassium nutrition effects on seed alkaloid concentrations, yield and mineral content of lupins (*Lupinus angustifoliis*). *Plant and Soil*, 234: 131-142

Houba,.J., Van der Lee, J., Novozamsky, I., Wallinga, I. (1986). *Soil and Plant* Análisis. Part 5. Soil Analysis Procedures. Wageningen Agricultural University. Departament of Soil Science and Plant Nutrition. The Netherlands. 56 p.

Malavolta, E., Favarin, J.L., Malavolta, M., Cabral, C.P., Heinrichs, R., Silveira, J.S.M. (2002). Nutrients repartition in the coffe branches, leaves and flowers. *Pesq. Agropec. Bras, 37*(7): 1017-1022

Márquez S.F. (1992). *Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría, Resultados*. Tomo I. A.G.T. Editor, S.A. México.

Mendonça, C.A., Costa, R.J., Teruel, R.T., Dominghetti, F.A., Machado, R.R., Guimarães, M.A.N., Rodrigues, C.G. (2016). Relationship between the sensory attributes and the quality of coffee in diferent environments. *African Journal of Agricultural Research*, *11*(38): 3607-3614.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca). (2002). Café de México: hacia los mercados de calidad. *Claridades Agropecuarias*, (103): 3-39.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2022). *De viaje por el mundo: café mexicano*. En: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/de-viaje-por-el-mundo-cafe mexicano?idiom=es.

Waldhauser, S.S.M., Baumann, T.W. (1996). Compartmentation of caffeine and related purine alkaloids depends exclusively on the physical chemistry of their vacuolar complex formation with clorogenic acids. *Phytochemistry*, *42*(4): 985-996.

Wilsie, C.P. (1966). *Cultivos: Aclimatación y Distribución*. Ed. Acribia. España.

MODIFICACIÓN DE LA LIPOPEROXIDACIÓN INDUCIDA POR ARSENIATO DE SODIO POR USO DE NANOPARTICULAS ANTIOXIDANTES

Laura D López-Barrera[1], Viridiana García-García[1], Joselo R. Martínez-Rosas[1], Roberto Díaz-Torres[1] y Patricia Ramírez-Noguera[1*]

[1] *Laboratorio 9 "Toxicología Celular" UIM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.*

*ramireznoguera@unam.mx

Resumen

Los sistemas nanoparticulados pueden utilizarse para modificar las vías de señalización relacionadas con los efectos tóxicos de xenobióticos y, por lo tanto, con su toxicidad, mediante la adición de compuestos que modifiquen el estado óxido - reducción como el glutatión (GSH). El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad antioxidante de nanopartículas de quitosán-glutatión (NPs-GSH) para modificar la lipoperoxidación inducida por el arseniato de sodio, utilizando un cultivo primario de condrocitos de rata, como modelo de osteoartritis. Las NPs-GSH fueron caracterizadas en tamaño (205.4 nm ± 33.35), potencial zeta (25.6 mV), y porcentaje de GSH (99.97%). Para determinar si se modificaba la toxicidad del arseniato de sodio, se expusieron los condrocitos a dos concentraciones de nanopartículas (0.08 y 0.64 µM de GSH) durante dos horas, seguidas de una exposición aguda al arseniato de sodio de dos horas a una concentración de $1x10^{-6}$ M, y se realizaron las determinaciones asociadas al estado redox. De acuerdo con los resultados obtenidos, el tamaño y el potencial zeta podrían favorecer la vectorización de las nanopartículas. En cuanto a la medición de biomarcadores, se observó un incremento en los niveles de GSH, que puede ser tanto el sintetizado por la célula como el aportado por las NPs-GSH. En presencia de un agente oxidante como el arseniato de sodio y una exposición posterior con NPs, se observó una reducción de los niveles de malondialdehído, lo que evidencia una disminución de la lipoperoxidación. Por último, la actividad de la enzima glutatión peroxidasa se incrementó significativamente respecto a las células no tratadas, lo cual puede estar asociado a que el GSH es su

sustrato y, por lo tanto, favorecer la activación de esta enzima. Esto sugiere que las NPs-GSH disminuyen el efecto tóxico inducido por la exposición a este xenobiótico.

Palabras clave: Lipoperoxidación, GSH, nanopartículas, arseniato, estrés oxidante, condrocitos

Introducción

En los últimos años, se propuso el uso de sistemas nanoparticulados, que demostraron mejorar la respuesta en comparación con las formas farmacéuticas tradicionales debido a su tamaño y características particulares. Estos sistemas no solo disminuyeron los signos y síntomas, sino que también modificaron las vías de señalización asociadas con el progreso y desarrollo de enfermedades. Las nanopartículas son los sistemas más desarrollados en la nanotecnología. Se considera una nanopartícula a aquella partícula o entidad discreta que tenía una longitud entre 1 y 1000 nm en al menos una de sus dimensiones (Mendelson, 2013).
El glutatión (L-g-glutamil-L-cisteinil-glicina) es un tripéptido hidrosoluble formado por los aminoácidos glutamato, cisteína y glicina, siendo un antioxidante celular esencial presente en todos los órganos y tejidos, especialmente en el hígado, donde se encontraron las mayores concentraciones. La síntesis de GSH ocurrió solo en el citoplasma y, una vez liberado, no pudo reincorporarse a la célula (Franco, 2009).
El glutatión se encuentra en concentraciones promedio de 12 mM en células de mamíferos y tiene importantes funciones antioxidantes, participaba en la inhibición enzimática, reducción de EROS, inactivación de xenobióticos, control de la permeabilidad de la membrana, transporte de aminoácidos, y actuaba como coenzima. Además, interviene en el proceso de apoptosis, síntesis de proteínas, ADN y ARN, y regula la formación y mantenimiento de la forma activa de ciertas enzimas. Una de las funciones más importantes del glutatión es mantener el potencial de óxido-reducción de la célula, lo que permite la generación de diversas cascadas de señalización intracelular (Martínez, 2006). Por otro lado, el arsénico inhibe la actividad enzimática, y su toxicidad variaba según la forma química en que se presenta. Se

cree que el arseniato (As (V)) daña la célula al competir con el fosfato inorgánico y formar un éster de arseniato inestable, lo que puede interferir en la producción normal de ATP y afectar el metabolismo celular (Olmos, 2018). Por ello, contar con un sistema que disminuye su toxicidad podría ser de gran utilidad.

Objetivo

Evaluar la capacidad antioxidante del glutatión presente en nanopartículas de quitosán-glutatión (NPs-GSH) para modificar los niveles de malondialdehído inducido por la exposición a arseniato, utilizando como modelo el cultivo primario de condrocitos de rata, expuestos a arseniato, a través de la medición de biomarcadores del estado redox.

Materiales y métodos

Preparación de las nanopartículas

Las nanopartículas de quitosán-glutatión (NPs-GSH) se prepararon por el método de gelación iónica, de acuerdo con lo descrito por López Barrera (2019) y posteriormente fueron caracterizados en tamaño de partícula, potencial Z, y % de GSH. La determinación del tamaño de partícula y el potencial Z de las NP's se realizó con el equipo Nanosizer NANO – ZS90, Serie MAL1109355 a una temperatura de 25°C, a través del software Zetasiser. Las nanopartículas se ultracentrifugaron a 27 000 rpm por 1 h. Posteriormente se separa el sobrenadante y se hace reaccionar con el reactivo de Ellman para medir de manera indirecta la concentración de glutatión no encapsulado.

Cultivo celular

Se realizó el cultivo primario de condrocitos a partir de una muestra de cartílago obtenida de una rata Wistar hembra de 3 a 4 semanas de edad proveniente del bioterio de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM; la utilización de animales de experimentación para este ensayo fue aprobada por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Experimentación de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán con clave UNAM CICUAE-FESC C 23_30. La

muestra de cartílago fue homogenizada mecánicamente y tratada con colagenasa para degradar la matriz extracelular, las células obtenidas fueron centrifugadas y el pellet resultante fue suspendido en medio DMEM/F12 e incubado a 37 °C, CO_2 al 5% y humedad relativa a 90%.

Desafío con las nanopartículas

Para determinar si se modificaba la toxicidad del arseniato de sodio se expusieron los condrocitos a dos concentraciones de nanopartículas (0.08 y 0.64 µM de GSH) por dos horas, posteriormente a 2 horas al arseniato de sodio a una concentración de $1x10^{-6}$ M y se realizaron las determinaciones asociadas al estado redox.

Niveles de GSH

La determinación de los niveles de GHS extracelular se realizó mediante el ensayo de DTNB (ácido 2,2-dithiobisnitrobenzoico) o reactivo de Elman, el cual reacciona con el grupo tiol del glutatión para producir TNB (5-thio-2-nitrobenzoato), un compuesto amarillo que puede ser leído a una longitud de onda de 450nm, en donde la cantidad de TNB producido es proporcional a la cantidad de glutatión presente en la muestra (Hu, 1994).

TBARs

Para evaluar la lipoperoxidación se realizó el ensayo de TBARS el cual mide los productos de oxidación de lípidos a nivel de membrana principalmente el malondialdehído el cual que interacciona con el ácido tiobarbitúrico generando un aducto color rosa (Céspedes, 2008). A una longitud de onda de 540 nm.

Actividad de la glutatión peroxidasa (GPx)

La actividad de GPx se evaluó según lo descrito en la literatura (Esworthy,1999), basado en la reducción de la absorbancia a 340nm del NADPH debido a una reacción acoplada con la glutatión reductasa (GRx), en donde un incremento en la actividad de GPx se observa con una disminucion en la absorbancia a una longitud de onda de 340nm

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados usando un análisis de varianza (ANOVA) de una vía seguido de una comparación múltiple de medias de acuerdo con la prueba estadística Fisher. Considerando una diferencia significativa de $p < 0.05$ a través del programa Origin lab 2024.

Resultados

Tabla 1. Tamaño de partícula y potencial Z de las NP's, así como el promedio del porcentaje de encapsulación de GSH en las NP'S Q – GSH.

Sistema	Tamaño	Potencial Z	% de encapsulación
Las NPs-GSH	205.4/+-33.35	25.6	99.97
Las NPs-Q	174.4+/-94.07	20.8	

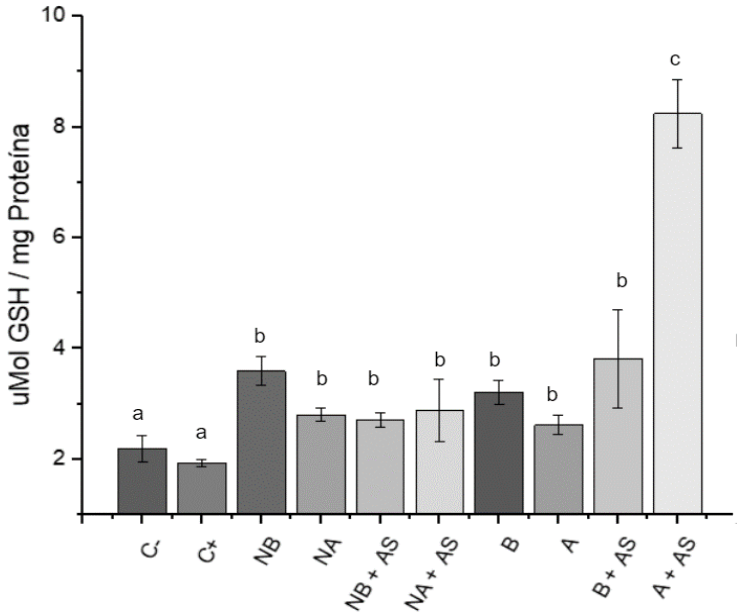


Figura 1. Niveles de glutatión intracelular

Notas: Las barras con letras diferente indican diferencias significativas entre las medias (Fisher p<0.5)

- C- células no tratadas C+ arseniato de sodio (As)
- NB: Nanopartículas a concentración baja (0.08 µM de GSH)
- NA: Nanopartículas a concentración alta (0.64 µM de GSH)
- A y B: Nanopartículas de Quitosán equivalentes a las NP's cargadas a concentraciones altas y bajas de GSH

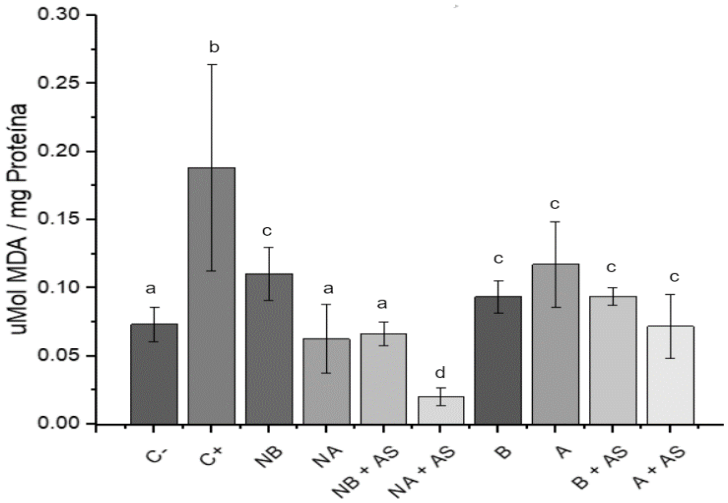


Figura 2. Niveles de lipoperoxidación.

Notas: Las barras con letras diferente indican diferencias significativas entre las medias (Fisher p<0.5)

- C- células no tratadas C+ arseniato de sodio (As)
- NB: Nanopartículas a concentración baja (0.08 µM de GSH)
- NA: Nanopartículas a concentración alta (0.64 µM de GSH)
- A y B: NPs de Quitosán equivalentes a las NPs cargadas a concentraciones altas y bajas de GSH

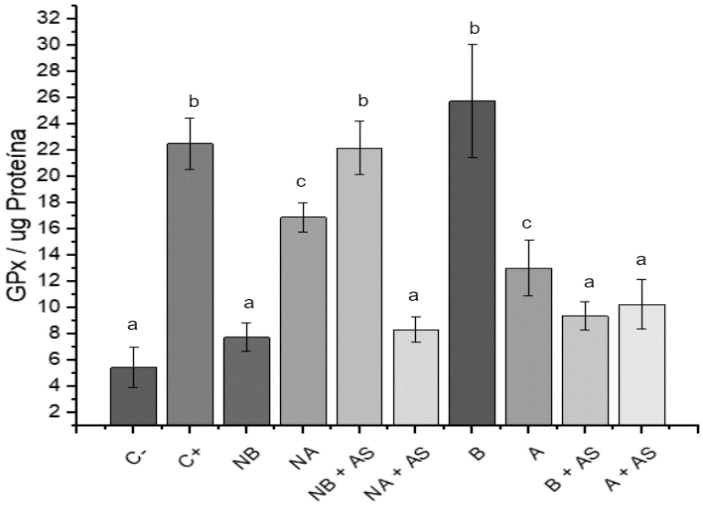


Figura 3. Actividad de la Glutatión Peroxidasa.

Notas: Las barras con letras diferente indican diferencias significativas entre las medias (Fisher p<0.5)

- C- células no tratadas C+ arseniato de sodio (As)
- NB: Nanopartículas a concentración baja (0.08 µM de GSH)
- NA: Nanopartículas a concentración alta (0.64 µM de GSH)
- A y B: NPs de Quitosán equivalentes a las NPs cargadas a concentraciones altas y bajas de GSH

Discusión

Para la elaboración de las NPs-GSH, se empleó el método de gelación iónica, donde la gelificación del quitosán ocurrió por interacciones electrostáticas con los grupos disociados del tripolifosfato de sodio en solución acuosa (Gooycolea, 2009). Se trabajó a un pH de 4.1 para mantener la solubilidad del quitosán y evitar la oxidación del glutatión (Romero, 2020). La caracterización de las NPs se realizó utilizando el equipo Nanosizer NANO – ZS90, basado en la dispersión de luz dinámica para analizar el tamaño de partícula y el potencial zeta, mostrando que las nanopartículas tenían un tamaño óptimo para atravesar barreras fisiológicas mediante endocitosis (Díaz, 2016).

El incremento del glutatión intracelular en presencia de NPs podría deberse a la respuesta celular ante estímulos externos, como la presencia de las nanopartículas, que activan la síntesis de GSH (Denzoin, 2013). El quitosán también mostró actividad antioxidante y biocompatibilidad, aumentando los niveles de glutatión en las células (Zahra, 2019).

Se observó que las NPs de concentración alta mantenían los niveles de MDA similares a los de las células no tratadas, sugiriendo una reducción del daño lipoperoxidativo, posiblemente debido a la presencia de glutatión proporcionado por las NPs. La actividad de la GPx se incrementó en presencia de NPs, posiblemente por la activación del factor de transcripción nuclear eritroide 2 asociado a factor 2 (Nrf2), el cual regula la respuesta celular contra agentes tóxicos y oxidantes, sugiriendo que las NPs podrían inducir la activación de sistemas antioxidantes celulares (Osamu, 2020); sin embargo, se requerirían estudios adicionales para confirmar la implicación de Nrf2 y otros mecanismos antioxidantes.

Conclusión

Las nanopartículas de quitosán con glutatión (NPs-GSH), elaboradas mediante gelificación iónica y caracterizadas por dispersión de luz dinámica, mostraron un tamaño y potencial Z óptimos para una suspensión estable, capaces de encapsular GSH sin causar citotoxicidad en condrocitos. Estas nanopartículas pudieron atravesar

la membrana celular y liberar GSH. Se comprobó que el arseniato de sodio induce estrés oxidante, pero las NPs-GSH a 0.64 µM redujeron la lipoperoxidación y aumentaron la actividad de la enzima antioxidante GPx. Aunque las NPs Q también mostraron propiedades antioxidantes, se recomienda realizar más pruebas para obtener datos más específicos sobre su eficacia.

Agradecimientos

Al proyecto interno de cátedras de investigación 2024 con clave CI2476 “Estudio de la actividad toxicológica y terapéutica de agentes xenobióticos”.

Referencias

Díaz, T.R., López, A.R., Escobar, C.J.J., García, G.E., Domínguez, D.L., Ramírez, N.P. (2015). *Effect of Size and Functionalization of Pharmaceutical Nanoparticles and Their Interaction with Biological Systems*. In: Aliofkhazraei, M. (eds) Handbook of Nanoparticles. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13188-7_46-1

Denzoin, V.L.A., Soraci, A.L., Tapia, M.O. (2013). Homeostasis del glutatión. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, *47*(3): 529-539.

Franco, R., Cidlowski, J.A. (2009). Apoptosis and glutathione: beyond an antioxidant. *Cell Death & Differentiation*, *16*(10): 1303-1314. https://doi.org/10.1038/cdd.2009.107

López, B.L.D., Díaz, T.R., Macay, A.L., López, R.A.G., Olmos, S.P., Ramírez, N.P. (2019). Oxidative stress modulation induced by chitosan-glutathione nanoparticles in chondrocytes. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, *74*(7): 406-411. https://doi.org/10.1691/ph.2019.8166

Martínez, S.M., Barrado, D.A., Zubillaga, M., Hager, A., De Paoli, T., Boccio, J. (2006). Conceptos actuales del metabolismo del glutatión Utilización de los isótopos estables para la evaluación de su homeostasis. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, *40*(1): 45-54.

Mendelson, M.I. (2013). *Learning Bio-micro-nanotechnology*. Vol. 176. New York: CRC Press.

Olmos, V., Ridolfi, A.S. (2018). Hidroarsenicismo: mecanismos de acción asociados a la toxicidad del arsénico. *Acta toxicológica argentina*, *26*(1): 32-44.

Wada, H.O. (2020). Nrf2 and oxidative stress. In Preedy,V. (ed) *Pathology*. 77-86.

Romero, S.A., Pereira, J. (2020). Estado del arte: Quitosano, un biomaterial versátil. Estado del Arte desde su obtención a sus múltiples aplicaciones. *Revista Ingeniería UC*, *27*(2): 118-135.

Hu, M.L. (1994). Measurement of protein thiol groups and glutathione in plasma. In *Methods in enzymology*, *233*: 380-385).

Esworthy, R.S., Chu, F.F., Doroshow, J.H. (1999). Analysis of glutathione-related enzymes. *Current Protocols in Toxicology*, (1): 7-1.

USO DE UN SIMULADOR ESTOCÁSTICO PARA ANALIZAR EL CONTROL DE UNA TORRE DE DESTILACIÓN MULTICOMPONENTE BAJO INCERTIDUMBRE

Mario Luis Chew-Hernández[1,*], Raúl Gómez Gómez.Tagle[2] y Ricardo Rodríguez-Figueroa[3]

[1-3]*TECNM: Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco*

*mario@tesco.edu.mx

Resumen

La simulación de procesos es ampliamente usada en la enseñanza del diseño y sintonía de controladores de procesos, pues permite evaluar el desempeño del sistema en condiciones dinámicas. Mediante los simuladores, este desempeño se prueba usando perturbaciones determinísticas, como escalones o rampas. Sin embargo, en la operación real, los equipos se ven sometidos a perturbaciones que varían continuamente en patrones impredecibles, por lo que se requiere un simulador con capacidades estocásticas para evaluar el desempeño de los controladores en condiciones realistas. En este trabajo se muestra el uso de un simulador estocástico de una torre de destilación de tres componentes, construido en base a un macro de Excel, para determinar la mejor configuración de control de la torre. Se usan, además, árboles de decisión para considerar la incertidumbre sobre el tipo de perturbaciones que enfrentará el proceso.

Palabras clave: Simulación de procesos, torre multicomponente, control

Introducción

La simulación de procesos es una herramienta muy usada en el diseño y control de plantas químicas, por lo que el perfil del Ingeniero Químico incluye habilidades en el uso de ambientes de simulación. A nivel educativo, los simuladores dinámicos encuentran una vasta aplicación en la enseñanza de la disciplina de control de

procesos, puesto que permiten predecir el desempeño de los equipos bajo distintos esquemas de control y sintonías de los controladores. Típicamente, el desempeño de los controladores se prueba mediante perturbaciones tipo escalón, rampa o pulso, que son perturbaciones determinísticas, en el sentido de que tienen un comportamiento fijo y predecible (Roffel y Betlem, 2006). En la vida real, las perturbaciones son más bien del tipo estocástico, por lo que el uso de simuladores habilitados para manejar este tipo de perturbaciones preparará mejor al estudiante para su desempeño profesional.

El aprovechamiento de la simulación de procesos en la enseñanza del control de procesos está limitado por la ausencia de simuladores dinámicos gratuitos. Ante esto, la academia de Ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco ha desarrollado un simulador estocástico de una torre de destilación de tres componentes (Chew *et al.*, 2023), con el objetivo de que pueda ser usado en prácticas educativas para alumnos de simulación de procesos y diseño de controladores. En este trabajo, se muestra un ejemplo de la aplicación de este simulador al problema de seleccionar el control de una torre de destilación.

Objetivo

Mostrar la aplicación del simulador estocástico de una torre de destilación de tres componentes, desarrollado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco en la enseñanza de temas de simulación de procesos.

Materiales y métodos

Se usó el simulador de procesos cuya interfase principal se muestra en la Figura 1. La torre de destilación se alimenta con una mezcla de benceno, tolueno y p-xileno. Los controles ubicados en la parte inferior izquierda de la interfase permiten definir patrones de variación de la composición de entrada, pudiéndose escoger entre un valor constante o una distribución de probabilidad uniforme, triangular o normal de las fracciones mol de entrada. El simulador permite controlar la temperatura de un plato

de la zona de rectificación manipulando la relación de reflujo de una torre con diez platos en total.

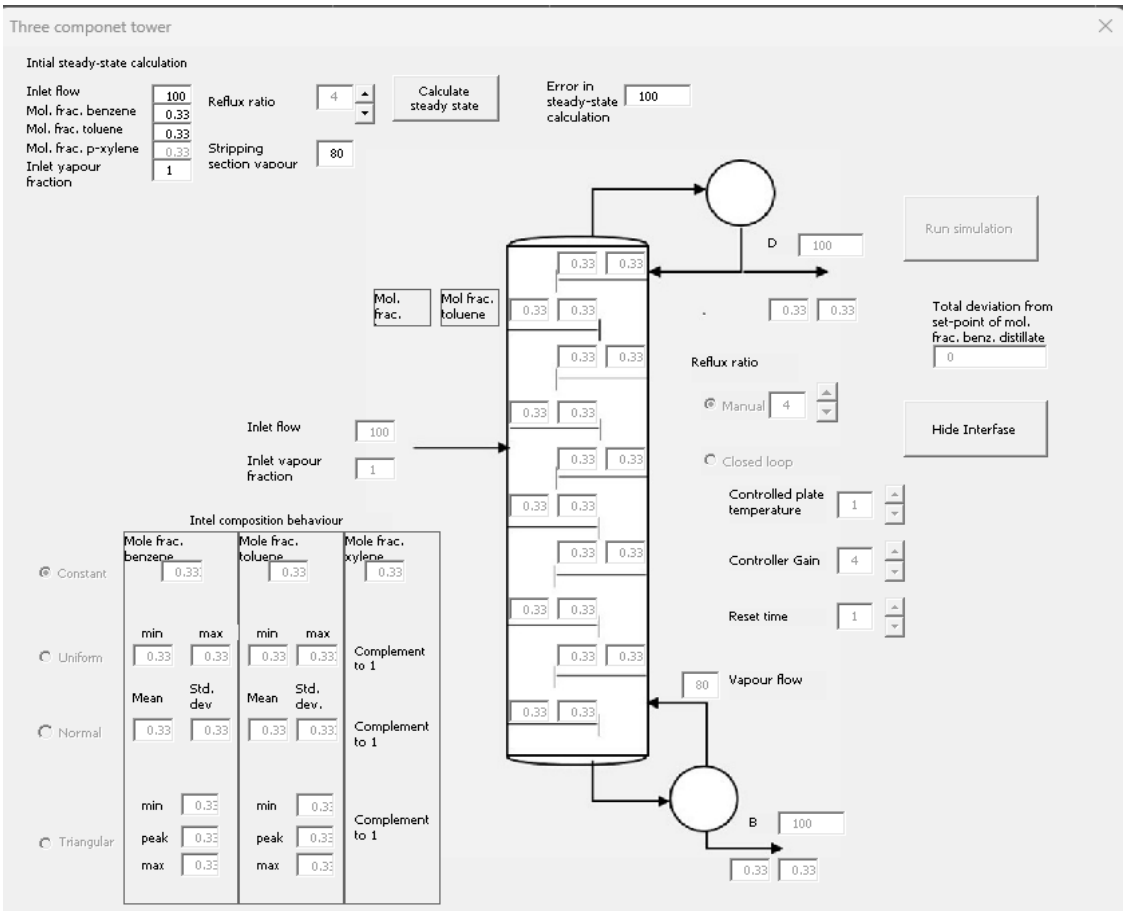


Figura 1. Interfase del simulador (Elaboración propia).

Para una fracción mol de 1/3 para los tres componentes en la alimentación, que se toma como estado estacionario, la Figura 2 muestra los perfiles de composición y temperatura en la torre.

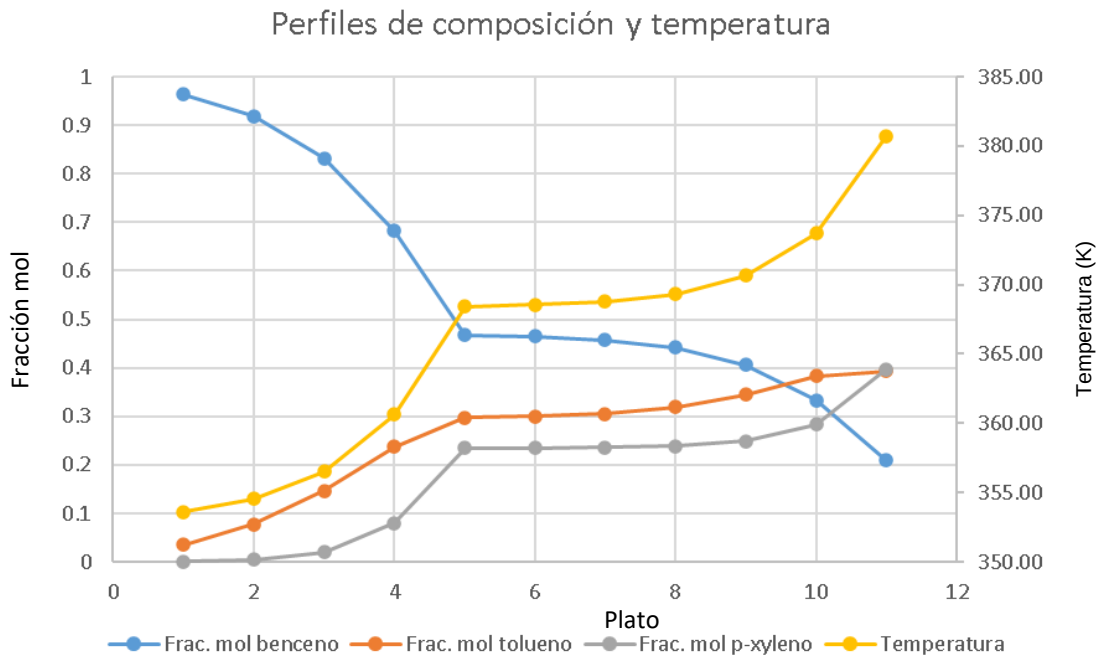


Figura 2. Perfiles de composición y temperatura en estado estacionario (Elaboración propia).

Resultados y Discusión

Se definen dos perturbaciones determinísticas, donde $x_{B,A}$, $x_{T,A}$ y $x_{X,A}$ son las fracciones mol, respectivamente, de benceno, tolueno y xileno en la alimentación.

- D_B=Disminución en la fracción mol de benceno de entrada, donde la composición de la corriente de entrada cambia a $x_{B,A}$=1/6, $x_{T,A}$= $x_{X,A}$=5/12
- D_T=Disminución en la fracción mol de tolueno de entrada, donde la composición de la corriente de entrada cambia a $x_{T,A}$=1/6, $x_{B,A}$= $x_{X,A}$=5/12

El controlador se sintonizó tomando la temperatura del plato 1 como variable a controlar mediante la manipulación de la relación de reflujo, y simulando el sistema cuando este es afectado por la perturbación D_B. Se consiguió una respuesta adecuada (Figura 3) con una ganancia proporcional del controlador de 40 y un tiempo de *reset* de 0.1.

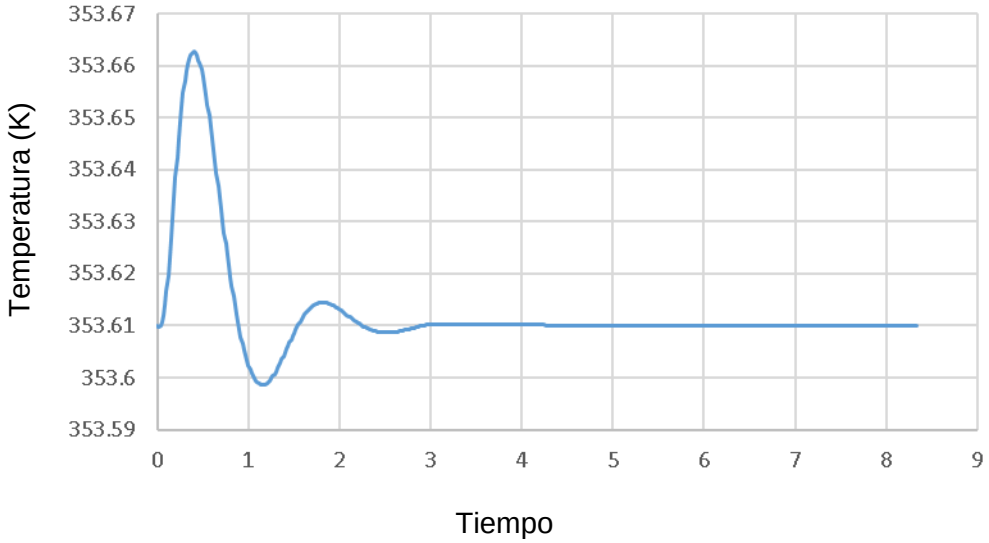


Figura 3. Respuesta de la temperatura del plato 1 a la perturbación D_B (Elaboración propia).

En la Tabla 1 se muestra la suma del error absoluto de la fracción mol de benceno en el destilado respecto a su valor en estado estacionario, denominada Δx_B, si se presenta una disminución en la fracción mol de benceno de entrada (D_B) para los casos cuando no existe control y cuando se controla la temperatura de un plato en la sección de rectificación.

Tabla 1. Perturbación D_B= Disminución en la concentración de benceno (Elaboración propia).

Plato bajo control de temperatura	Error en composición de benceno en destilado (Δx_B)
Lazo abierto (sin control)	24.48
Plato 1	0.0750
Plato 2	0.5580
Plato 3	1.580
Plato 4	2.770

La Tabla 2 muestra la información correspondiente cuando se da una disminución en la fracción mol de benceno en la entrada.

Tabla 2. Perturbación D_T= Disminución en la concentración de tolueno (Elaboración propia).

Plato bajo control de temperatura	Error en composición de benceno en destilado (Δx_B)
Lazo abierto (sin control)	4.12
Plato 1	0.260
Plato 2	0.0849
Plato 3	4.78
Plato 4	6.30

Se observa que, para ambas perturbaciones, el control de temperatura en los platos 1 y 2 produce menores desviaciones que el control de temperatura en los platos 3 y 4. También se observa que bajo la perturbación D_B es mejor controlar la temperatura del primer plato, mientras que para la perturbación D_T el mejor resultado es controlar la del segundo. Si no se sabe de antemano cuál perturbación ocurrirá, la selección del plato cuya temperatura debe ser controlada se convierte en un problema de toma de decisiones bajo incertidumbre (Clemen, 1996). La decisión se representa por el árbol mostrado en la Figura 4, donde C representa la decisión de que plato controlar (C_1, y C_2 indicando, respectivamente, el control de las temperaturas de los platos 1 y 2) y D la perturbación que se presenta, que puede ser D_B, D_T ó N, este último caso representando la posibilidad de que las composiciones de entrada se mantengan en su estado nominal. Las probabilidades de que se presente D_B y D_T se denominan, respectivamente p_{DB} y p_{DT}. Se denomina $\Delta x_B(D_i,C_j)$ la desviación observada en la fracción mol de benceno en el destilado bajo el control del plato j y la perturbación D_i.

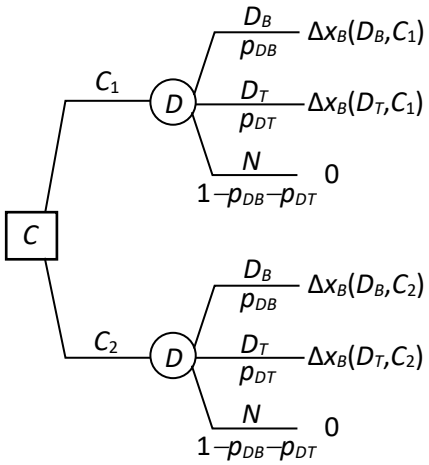


Figura 4. Decisión de qué plato mantener bajo control de temperatura (Elaboración propia).

Como se prefieren valores menores de Δx_B a mayores, la condición para preferir el control de temperatura en el plato 1 en lugar de la del plato 2 está dada por la ecuación 1

$$p_{DB}\Delta x_B(D_B,C_1) + p_{DT}\Delta x_T(D_T,C_1) < p_{DB}\Delta x_B(D_B,C_2) + p_{DT}\Delta x_T(D_T,C_2) \quad (1)$$

Que puede acomodarse como:

$$p_{DT}(\Delta x_B(D_T,C_1) - \Delta x_B(D_T,C_2)) < p_{DB}(\Delta x_B(D_B,C_2) - \Delta x_B(D_B,C_1)) \quad (2)$$

En el caso analizado, el control sobre la temperatura del plato 1 se desempeña mejor que el control sobre la temperatura del plato 2 cuando sucede D_B, y lo opuesto ocurre cuando se presenta D_T. Esto quiere decir que:

$$\Delta x_B(D_T,C_1) - \Delta x_B(D_T,C_2) > 0 \quad (3)$$

$$\Delta x_B(D_B,C_2) - \Delta x_B(D_B,C_1) > 0 \quad (4)$$

Por lo que, la ecuación 2 puede acomodarse como:

$$\frac{p_{DT}}{p_{DB}} < \frac{\Delta x_B(D_B,C_2) - \Delta x_B(D_B,C_1)}{\Delta x_B(D_T,C_1) - \Delta x_B(D_T,C_2)} \quad (5)$$

Si se sustituyen los valores mostrados en la Tabla 2, queda:

$$\frac{p_{DT}}{p_{DB}} < 2.75 \quad (6)$$

Que indica que la probabilidad de que se presente la perturbación D_B debe más que el triple de la probabilidad de que se presente la perturbación D_T para que sea preferible controlar la temperatura del plato 2 en lugar de la del plato 1.

Conclusión

En la vida real, los procesos deben enfrentar perturbaciones impredecibles, que varían de forma continua. Los controladores deben, por lo tanto, diseñarse para que se desempeñen bien contra este tipo de perturbaciones, por lo que el diseño de controladores basado en simulación requerirá de simuladores que manejen variables estocásticas. En este trabajo se ha mostrado el empleo del simulador estocástico de una torre de destilación multicomponente, construido localmente, para recomendar el plato cuya temperatura debe controlarse. En el caso estudiado, puede ser el plato uno o dos, dependiendo de la condición expresada en la ecuación 6.

Referencias

Chew, H.M.L., Viveros, R.L., Pérez, T.J.R. (2023). A stochastic simulator of a multi-component distillation tower built as an Excel macro. *Engineering, Technology and Applied Science Research*. *13*(2): 10222-10227. https://doi.org/10.48084/etasr.5563

Clemen, R.T. (1996). *Making Hard Decisions*. Duxbury Press, USA.

Roffel, B., Betlem, B. (2006). *Process Dynamics and Control*. John Wiley and Sons. Reino Unido.

ENERGÍA Y POTENCIA HUMANA DESARROLLADA DURANTE UNA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Carlos Gómez-García*[1] y Andrés Herrera-Vázquez[2]

[1,2] *Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México*

*carlosgg@unam.mx

Resumen

Se investigó la cantidad de potencia y energía que las personas ejecutan en una de las tantas actividades agrícolas que se requieren en la producción, para ello, se realizaron pruebas de energía y potencia desarrollada por un grupo de jóvenes estudiantes de Ingeniería Agrícola al realizar una operación de aspersión, en un campo previamente labrado para la siembra de maíz de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. El procedimiento consistió en medir la carga promedio en kilogramos que cada participante llevó sobre sus hombros y también se determinó la velocidad de avance promedio alcanzada por participante. Con estas dos variables se determinó la potencia humana alcanzada de 0.298 HP la cual fue un tanto superior a la potencia humana promedio reportada por la FAO que presenta valores de 7.5 kg m seg^{-1} (0.1 HP), en el caso de los hombres de complexión media de 75 kg de peso. Esto se explica por el corto tiempo en que se desarrollaron dichas pruebas, sin haber manifestado cansancio en los participantes, en contraste con las largas jornadas normales agotadoras que los trabajadore agrícolas realizan durante 6 horas o más de trabajo continuo.

Palabras clave: fuerza, rapidez, trabajo.

Introducción

Si se parte de la premisa que sin energía no hay movimiento y sin movimiento no hay trabajo, entonces no habría producción. La principal fuente de energía en nuestro planeta tierra proviene del sol y es una fuente externa de energía, también existe energía interna dentro del núcleo de la tierra, el petróleo es otra fuente de energía

que existe en algunos países del mundo de forma natural donde México ha sido afortunado en este aspecto. A la tierra llegan 4,500 veces la energía que se consume mundialmente. Las actividades agrícolas se ejecutan con grandes cantidades de energía, sin embargo; gran parte de esa energía proviene de los combustibles fósiles como el diesel y la gasolina que mueven las grandes máquinas para llevar a cabo la labranza del suelo, la siembra, la cosecha, por mencionar solo algunas actividades. Entre mayor es la superficie agrícola y más pesada es la operación y la demanda de energía también es grande, pero gracias a que se dispone de varias fuentes de energía, es posible producir alimentos a gran escala, sin embargo, el hombre siempre contribuye aportando energía humana para controlar esas enormes máquinas agrícolas de gran potencia y solo emplea una pequeña fracción de energía humana con un mínimo de esfuerzo logrando que las actividades del campo sean más amigables y menos fatigosas. Pero ¿Cuánta potencia y energía gasta el hombre? Este trabajo tiene la finalidad de responder a este cuestionamiento, al desarrollar algunos ensayos para determinar la potencia y energía consumida durante una de tantas actividades que se llevan a cabo en la agricultura: la aspersión de productos agroquímicos.

Algunas actividades que se desarrollan en campos pequeños son llevadas a cabo por los agricultores mismos (Hopfen, 1970), donde el uso de la maquinaria pesada no es costeable, con ello se trata de reducir costos de producción, tal es el caso de una operación de aspersión para aplicar agroquímicos diluidos en agua, ya sea para controlar malezas, control de plagas y enfermedades en los cultivos, que fue el objetivo de este trabajo, el determinar la potencia (Hunt, 1987) y la energía que se externa por el hombre en una operación como la aspersión.

Para esta actividad se utilizó una aspersora de acción manual de mochila, muy común en los campos de cultivo en México. La carga consistió en el peso con el líquido contenido en la aspersora, mientras que la velocidad de avance se midió en metros/segundo, que cada participante alcanzó, esto permitió calcular la potencia (Goe *et al.*, 1980) que se define como la cantidad de energía que fluye en un segundo o también se conceptualiza como la cantidad de trabajo que se ejecuta en un segundo

(Rodríguez, 2024). Con esto se pudo conocer cuánta potencia y energía se desarrolló incluyendo hombres y mujeres participantes en estas pruebas. La energía se transformó en J (Joule) que equivale a 1 Newton-metro, mientras que la potencia se calculó en Newton-metro segundo^{-1}, que equivale a 1 W y se interpreta como la rapidez como fluye la energía. Estas dos unidades se midieron en campo durante una actividad agrícola que fue la aspersión. La FAO ha reportado que, en una operación normal de trabajo realizado por un hombre de porte medio, es de alrededor de 0.1 CV (Hopfen, 1970), lo cual fue contrastado por los resultados obtenidos en este trabajo que en promedio superó este valor reportado, dado el corto tiempo que cada participante empleó en los ensayos.

Objetivo

Encontrar la potencia y energía que desarrollan hombres y mujeres, en un periodo corto de tiempo durante una operación de aspersión, en un campo de la FES Cuautitlán.

Materiales y métodos

Materiales

Los utilizados fueron los siguientes:

Un dinamómetro de 200 kgf.

Una aspersora manual de mochila de acción manual, en funcionamiento.

Un longímetro de 50 m.

Un cronómetro con escala en µ seg.

Agua suficiente de relleno, 300 L.

Dos estacas y un martillo.

Procedimiento

Cálculo de potencia

El método utilizado consistió en medir las variables que se requieren para calcular la potencia y energía (Goe *et al.*, 1980):

$$P = \frac{F.V}{76} \quad (1)$$

Donde: P es la potencia desarrollada, HP.

F es la fuerza o carga promedio de la aspersora con líquido, kg.

V es la velocidad de avance, m seg^{-1}.

La velocidad de avance se midió una distancia de 50 m colocando una estaca en los extremos donde cada participante recorrió aplicando líquido asperjado y se dividió entre el tiempo de recorrido, en segundos.

Se adaptó también la siguiente ecuación para calcular la potencia en W:

$$P = 9.81 * F * V \quad (2)$$

Cálculo de la energía

La energía gastada se calculó con la siguiente ecuación 3.

$$E = 9.81 * F * V * t \quad (3)$$

Donde: E es la energía gastada durante los recorridos, J.

t = tiempo de duración del recorrido, seg.

También se adaptó la siguiente ecuación para calcular la energía gastada en calorías:

$$E = F * V * \frac{t}{0.427} \quad (4)$$

Resultados

Los registros de carga y de velocidad de avance se realizaron en campo de producción real, en terreno labrado tal y como se presenta en la realidad y como se observa en la imagen de la Figura 1. Para calcular la potencia tanto en HP (caballos de fuerza) como en W (Watts), se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 propuestas y adaptadas para este trabajo respectivamente, presentadas en la metodología, mientras que la energía en sus dos versiones en Joules y en Calorías las ecuaciones 3 y 4 respectivamente.

Los resultados corresponden a participantes estudiantes no adaptados al trabajo duro, sin embargo, cada uno de ellos expresaron su máxima capacidad de trabajo por un periodo de tiempo corto, que difícilmente podrían mantener a lo largo de una jornada real que por lo general dura de 6 a 8 horas de trabajo diario.

Figura 1. A) Registro de la carga de una aspersora con líquido en kg; b) Operación de aspersión en campo labrado (fotografías propias).

Los tiempos que se presenta en la Tabla 1 y 2, corresponden al promedio de cada registro que cada participante consumió durante los ensayos. De esta manera se obtuvo la velocidad al recorrer la distancia de 50 m que se marcaron en el campo de prueba.

Tabla 1. Potencia humana desarrollada en un periodo de tiempo corto (Elaboración propia).

Ensayo	Tiempo (seg)	Velocidad (m seg^{-1})	Carga (kg)	Potencia (HP)	Potencia (W)
1	46.0	1.09	20.50	0.294	219
2	40.0	1.25	19.50	0.321	239
3	48.5	1.03	20.25	0.274	205
4	44.0	1.14	21.50	0.322	240
5	45.0	1.11	21.75	0.318	237
6	53.5	0.93	19.50	0.239	177
7	43.5	1.15	19.50	0.295	220
8	56.0	0.89	21.00	0.247	183
9	40.0	1.25	21.00	0.346	257
10	38.5	1.30	21.25	0.363	271
11	41.5	1.20	22.00	0.347	259
12	40.0	1.25	20.25	0.333	248
13	42.5	1.18	21.50	0.333	249
14	63.0	0.79	16.00	0.166	124
15	38.0	1.32	16.00	0.278	207
Promedio	45.33	1.12	20.10	0.298	222

Tabla 2. Energía gastada en una operación de aspersión por un periodo de tiempo corto (Elaboración propia).

No. de Ensayo	Velocidad (m seg^{-1})	Carga (kg)	tiempo (seg)	Energía (J)	Energía (Cal)
1	1.09	20.50	46.00	10083	2407
2	1.25	19.50	40.00	9565	2283
3	1.03	20.25	48.50	9924	2369
4	1.14	21.50	44.00	10579	2525
5	1.11	21.75	45.00	10654	2544
6	0.93	19.50	53.50	9516	2272
7	1.15	19.50	43.50	9565	2284
8	0.89	21.00	56.00	10261	2451
9	1.25	21.00	40.00	10300	2459
10	1.3	21.25	38.50	10428	2490
11	1.2	22.00	41.50	10742	2565
12	1.25	20.25	40.00	9928	2371
13	1.18	21.50	42.50	10575	2525
14	0.79	16.00	63.00	7809	1864
15	1.32	16.00	38.00	7868	1879
Promedio	1.12	20.10	45.33	9853	2352

Discusión

El esfuerzo que cada participante desarrolló en campo se relaciona directamente con el tamaño de las personas y la edad principalmente, no se observaron diferencias entre la potencia que los varones alcanzaron contra la potencia desarrollada por las participantes mujeres. En este caso, la edad de los participantes fluctuó entre los 22 a 24 años; debido a que los ensayos se realizaron en un periodo de tiempo promedio, muy corto de 1.5 minutos, los resultados de potencia fueron también altos, en promedio de 222 W comparado con los 73 W de potencia que reporta la FAO, es decir, los estudiantes desarrollaron 3 veces más potencia. De la misma manera la energía gastada en promedio fue de 2,352 Cal, sin duda alguna, que si se aumenta la duración de la jornada en tiempo de trabajo por 6 horas que corresponde a una jornada real de trabajo efectivo, entonces se espera que la potencia baje significativamente y sea equivalente a lo reportado por la FAO de 0.1CV (73 W). Esto tiene sentido debido a que la fatiga causa una disminución en la velocidad de trabajo y con ello un efecto directo en el rendimiento de los trabajadores agrícolas. Los trabajos pesados se llevan a cabo a velocidades moderadas y cargas ligeras para

poder mantener un ritmo continuo durante una jornada de trabajo real de 6 a 8 horas. Las inclemencias del tiempo como la insolación hacen que los trabajadores mermen su rendimiento y en consecuencia la potencia también merma. Los resultados solo consideran la potencia y la energía para llevar a cabo una actividad como lo fue la aspersión, no se incluye la potencia para mover el propio peso de las personas, tampoco la energía consumida para las funciones biológicas del hombre.

Conclusión

Hasta hoy en día, la potencia humana siempre estará presente en diferentes actividades agrícolas, potencia que se consume para realizar diversas operaciones relativas a producir la gran variedad y cantidad de alimentos tanto en México como en el mundo entero, a pesar del uso de grandes máquinas que proporcionan hasta el 99% del total de la potencia y energía que se consume en la agricultura comercial.

Agradecimientos

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán en cuyo campo se realizaron las pruebas. A los estudiantes de la asignatura de Mecanización Agrícola que participaron en este ensayo y a la DGAPA por los apoyos en proyectos que permitieron adquirir los equipos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

Referencias

Hopfen, H.J. (1970) *Aperos de labranza para las regiones áridas y tropicales*. FAO, Roma, Italia.

Hunt, D. (1987) *Maquinaria agrícola, rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipo*. Ediciones Ciencia y Técnica.

Goe, R.M. (1980), *Animal traction, guidelines for utilization*. Cornell International Agriculture Mimeo, Cornell University, Ithaca, New York.

Rodríguez, M.J. (2024). *Concepto de energía*. Ed. Ateneo Científico y Literario de Madrid. Recuperado de: https://www.google.com.mx/books/edition/Concepto_de_energ%C3%ADa/pOolswEACAAJ?hl=es.

OBTENCIÓN DE LOS PERIODOS DE CALIBRACIÓN MEDIANTE LA CONVOLUCIÓN A LA DERIVA INSTRUMENTAL

Gabino Estevez-Delgado[1], Joaquin Estevez-Delgado[2], Edgar Samuel Lara-Murillo[1] y Paulina Ponce-Ávila[1]

[1]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Químico Farmacobiología.* [2]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas.*

*gabino.estevez@umich.mx

Resumen

Dentro de la estructura metrológica que demandan las empresas, para tener resultados confiables y de alta, se encuentran dos características de interés particular como lo son la homogeneidad y homocedasticidad en las mediciones. Siendo este último un factor clave para buscar una variabilidad mínima que nos llevara a tener mejor calidad en las mediciones, al ser el concepto de la calidad una función inversa de la variación total. Como resulta natural, el concepto de la variabilidad y de la calidad involucran conceptos como la repetibilidad y la reproducibilidad, como conceptos canónicos de la ciencia y la tecnología, es decir, la posibilidad de poder ser observado el mismo fenómeno ante condiciones iguales. Dentro del esquema metrológico el BIPM y la organización ISO, han generado una estructura dentro de la metrología legal para poder garantizar la reproducibilidad, con calidad mediante la trazabilidad que se otorga como parte del proceso de heredar mediante la calibración propiedades de variabilidad mínima llamada incertidumbre. Sin embargo, este proceso representa un gasto para las empresas, en las que, en muchas ocasiones, sí existen guías técnicas, que independiente del uso de los instrumentos, se dictan cuándo se debe realizar una calibración; en tanto que, en otros casos no existe estimación puntual de cuando llevar a cabo una calibración, lo que puede generar gastos excesivos para las empresas que trabajan con estándares de calidad acreditados. En este sentido, se ha observado que realizar calibraciones por varios periodos con un mismo proveedor permite realizar análisis apropiados sobre los tiempos de calibración. El presente

trabajo ofrece la posibilidad de extender los periodos de calibración a través de las verificaciones intermedias al considerar posibles variaciones dadas en la deriva instrumental, particularmente el caso de termómetros, cuyo análisis se realiza mediante la aplicación de una función de convolución.

Palabras clave: Tolerancia, perturbación, variabilidad, deterioro instrumental

Introducción

El proceso de calibración de instrumentos de medición obedece a una serie de cumplimientos, tanto de carácter legal como científico. Por un lado, los organismos reguladores de la conformidad, como lo son los organismos acreditadores de regulaciones internacionales, demandan dar cumplimiento de requisitos que las empresas adquieren cuando declaran que la calidad de sus procesos a través de un estándar internacional o nacional. En otro sentido, la adopción de regulaciones compromete a las empresas mantener esquemas de comparación de resultados entre pares, no solo de empresas de su país sino de cualquier parte del mundo que trabaja con la misma regulación. Ambas condiciones demandan comparaciones de los procesos realizados, no solo de carácter normativo sino del cumplimiento científico a través de una serie de teoremas como lo es el teorema de límite central que nos asegura que presentamos la información suficiente cuando los procesos están finamente equiparable para ser comparados (Damasceno y Couto, 2018).

La estructura metrológica, dentro de los aspectos legales, exigen normatividades que permiten la reproducibilidad de los fenómenos (Tetens, 2016). Esa reproducibilidad exige que los fenómenos tengan variabilidades mínimas, lo que para lograrlo demanda mantener las condiciones similares para la replicación de los resultados.

Como parte de la formalidad de las mediciones realizadas, se observa que una buena determinación de las condiciones ambientales, de las instalaciones donde se realiza la medición, del personal adecuado y muy puntualmente de la determinación de la cantidad de datos que se miden como parte de la repetibilidad o de la reproducibilidad

son claves para poder realizar comparaciones entre dos mediciones sobre el mismo fenómeno.

Dentro de la estructura de normalización, es de interés particular el tratamiento que se le da a la información obtenida partiendo sobre el criterio de tener información suficiente para generar análisis estadístico con distribuciones de carácter paramétrico. Es precisamente este punto de partida que dan origen a una serie de observaciones que permiten garantizar la calidad de las mediciones, construyendo métodos desde el propio diseño de experimentos, las instalaciones de los laboratorios o empresas, el manejo de las condiciones ambientales que generaran los mejores resultados, el remplazo de instrumentos, la capacitación del personal, el uso de periféricos y auxiliares para garantizar la calidad, impactando también la contratación de servicios y cuidado de la materia prima que intervienen en los productos finales.

Particularmente, en el campo de la metrología científica, se parte de un criterio principal que se empara con el teorema de límite central, que se fundamenta en la función normal o gaussiana (1), que es la emisión de dos resultados como lo son los errores de medición y la variabilidad, (μ, σ^2).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Dentro del esquema de comparación internacional, se emite un documento como producto de todas las mediciones que realizan los laboratorios de ensayo y calibración de acuerdo con el estándar ISO 17025 conocido como certificado de calibración (Anastasopoulos, 2017), que contiene la información mínima suficiente como son el error e incertidumbre de medida $(\in, U)$. Este busca garantizar que, además de haberse realizado las mediciones en condiciones de reproducibilidad, estas sean estrictamente equiparables con otros laboratorios que han cuidado sus instalaciones, el método, los instrumentos, el personal y los materiales.

Sin embargo, una de las consideraciones más importantes para los laboratorios de ensayos o calibraciones parte de la construcción epistémica en la que las mediciones son trazables al sistema internacional de unidades a través de la trazabilidad (Damasceno y Couto, 2018), considerando que, todo lo que en ella interviene son de carácter normal y no solo el proceso de repetibilidad, es decir, los instrumentos

utilizados y reactivos son acompañados de funciones de densidad de probabilidad normal amparadas en su certificado de calibración y mantenidos a lo largo del tiempo (JCGM, 2008).

Dentro del análisis formal que garantizan dentro de la metrología el teorema de límite central, para el caso de la variabilidad se encuentra la ley de propagación de errores, en las que se consideran todas las posibles fuentes de incertidumbre que provocan variaciones en las mediciones, como lo son las características propias de los equipos y materiales y la variabilidad que generan el personal que realiza las mediciones (Kellner y Ceriotti, 2024). La ley de propagación de errores permite la obtención de incertidumbre que representa todas contribuciones, de aquellas fuentes de incertidumbre más significativas, de la forma

$$u_c^2(f) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 \left(u(x_i)\right)^2 + 2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} \frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i)u(x_j)r(x_i, x_j) \tag{2}$$

Donde $u(x_i)$ son las incertidumbres asociadas a las características del instrumento y de la medición, f es la función del modelo físico asociado a fenómeno a medir, dependientes de las variables independientes x_i y $r(x_i, x_j)$ el coeficiente correlación de Pearson, de ser significativa la correlación entre las variables.

Esta expresión suele expresarse de la forma:

$$u_c^2(f) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 (C_i)^2 + 2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} \frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j} C_i C_j r(x_i, x_j) \tag{3}$$

Donde, $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ son los coeficientes de sensibilidad para el modelo físico asociado a las mediciones. Cuando el modelo diseño experimental o las condiciones de medición lo permite, suele eliminarse las correlaciones entre las incertidumbres, para expresar la ecuación (3) de la forma:

$$u_c^2(F) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 (C_i)^2 \tag{4}$$

Por otro lado, para obtener el factor de cobertura correspondiente, que señala el nivel de confianza dentro de una distribución normal, se obtiene de la ecuación siguiente,

conocida como la incertidumbre expandida, que es la que es dada en los procesos de calibración en los certificados o informes de calibración (Demeyer *et al.*, 2022):

$$U = ku_c(f) \tag{5}$$

Una de estas fuentes de incertidumbre, que forman parte de las variables de influencia en la estimación de la incertidumbre, es la deriva instrumental, la cual de manera natural se presenta en todos los instrumentos de medición debido al deterioro natural de los componentes físicos o químicos del instrumento (Cox y O'Hagan, 2022).

La función de densidad de probabilidad, asociada a la deriva instrumental, generalmente es una distribución rectangular dada como:

$$f(t) = \begin{cases} \dfrac{1}{b-a}, & t\epsilon[a,b] \\ 0, & t \notin [a,b] \end{cases} \tag{6}$$

La cual, en otras ocasiones, cuando el deterioro es acelerado, pudiera ser considerada como una función exponencial de la forma:

$$f(t) = \begin{cases} e^{-kt}, & t\epsilon[0,\infty) \\ 0, & t \notin [0,\infty) \end{cases} \tag{7}$$

Sea cualquiera de estas dos últimas ecuaciones, el comportamiento de la deriva se debe de considerar que existen recomendaciones emitidas en guías técnicas como la norma ILAC – G24 Directrices para la Determinación de los Periodos de Calibración de los Instrumentos de Medición, (INTERNATIONALE, 2008), promovidos por organismos de reconocimiento internacional, como lo es la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), que contemplan un análisis general para los instrumentos de medición pero que están sujetos a las condiciones de operación, comúnmente denominadas condiciones del laboratorio (Carbone *et al.*, 2001).

La guía ILAC–G24 diferencia 5 formas en las que se puede realizar recomendaciones para poder determinar los periodos de calibración de un instrumento, de manera particular nos interesa aquella en la que el uso de la incertidumbre nos remonta al uso adecuado del teorema de límite central (Bianchi y Secco, 2021) y la ley de grandes números, como la parte más rigurosa de la obtención de periodos confiables, llamado Ajuste automático o "Escalera" (tiempo-calendario).

Para la metodología ajuste automático se requiere contextualizar que el cálculo de los periodos de calibración requiere la determinación de otro parámetro adicional al concepto de la deriva llamado tolerancia, que corresponde a la variabilidad máxima en una región, de tal forma que el periodo de calibración esta dado como:

$$\boldsymbol{Intervalo\ calibración} \leq \frac{\pm \boldsymbol{Tolerancia}}{\boldsymbol{Deriva}} \tag{8}$$

donde la deriva se calcula como:

$$\boldsymbol{Deriva} = \frac{\boldsymbol{Desviación}}{\boldsymbol{t_2 - t_1}} \tag{9}$$

Otra de las metodologías dadas como recomendación son aquellas en la que se monitorea la desviación que alcanza el error máximo permisible, ya que es en ese punto en el que se considera el intervalo de calibración. El intervalo de calibración es dado también por la ecuación (8), sin embargo, la deriva suele expresarse en función de las horas de uso del instrumento y expresada como:

$$\boldsymbol{Deriva} = \frac{\boldsymbol{Desviación}}{\boldsymbol{tiempo\ en\ uso(horas)}} \tag{10}$$

Si bien existen condiciones para la ponderación de los periodos de calibración expresados en función de la correlación que se tiene de las incertidumbres a lo largo del tiempo (Estevez y Estevez, 2021), estas pueden ser limitativas ante variaciones no perceptibles en el reporte de los certificados de calibración y que pudieran abordarse si se pueden calcular pequeñas variaciones que modifican la condición la función de densidad rectangular asociada a la deriva instrumental (Velychko y Gordiyenko, 2019).

Objetivo

Determinar cómo son las aportaciones de la deriva instrumental cuando se consideran valores de perturbación lineal mediante el método de la convolución.

Materiales y métodos

Se conoce que cuando los intervalos de calibración en las que las variaciones máximas son dadas por un mismo proveedor de los servicios de calibración podemos considerar a la deriva instrumental potencialmente dada como:

$$\boldsymbol{Deriva = \frac{d\varepsilon(t)}{dt}} \tag{11}$$

Para el caso de variaciones con carácter lineal

$$\boldsymbol{\varepsilon(t) = mt + b} \tag{12}$$

El valor de la deriva sería del tamaño de la pendiente de la curva interpolada lo que permitiría expresar los periodos de calibración directamente como:

$$\boldsymbol{P(t) = Periodo\ de\ calibración = \frac{Tolerancia}{m}} \tag{13}$$

Y considerando calibraciones para un termohigrómetro, considerando sus errores de medida como los presentados en la tabla 1, en la escala de las temperaturas (Ekici y Avci, An International Bilateral Inter-Laboratory Temperature Comparison Measurement, 2023), con tolerancia de 0.03, del reporte de las mediciones consecutivas dadas como:

Tabla 1. De errores obtenidos de certificados de calibración por tres años consecutivos.

AÑO	Valores de referencia 0.94
2018	0.05
2019	0.07
2020	0.08

Nota. Una vez que se realiza el proceso de interpolación se obtiene una linealidad positiva, con r=0.9820, y una pendiente de 0.015.

Haciendo uso de la ecuación (13) se obtiene un periodo de calibración de 2 años. Sin embargo, el uso de considerar una perturbación mediante el uso de la convolución nos podría conducir a un mejor estimado metrológico.

Resultados

Recordando que los periodos de calibración, de (13), estos pueden ser considerados como una función de la forma:

$$P(t) = Periodo = \begin{cases} \frac{T}{m} & t\epsilon[0,3] \\ 0 & t \notin [0,3] \end{cases} \quad (14)$$

Donde T es la tolerancia del instrumento y m la pendiente de la curva de interpolación del histórico de incertidumbre de calibración reportados en los certificados de calibración.

Por otro lado, consideremos un impulso en el alcance de la función de trabajo o de operación de uso rutinario, de la forma:

$$u(t) = \begin{cases} k & t\epsilon[0,6] \\ 0 & t \notin [0,6] \end{cases} \quad (15)$$

Así la función convolución con la que podremos determinar un impulso:

$$P * u(t) = \int_{-\infty}^{\infty} P(t)u(t-\tau)d\tau \quad (16)$$

Lo que nos lleva a la función:

$$P * u(t) = \begin{cases} \frac{T}{m}kt + 3\frac{T}{m}k & -3 \leq t \leq 0 \\ 3\frac{T}{m}k & 0 < t \leq 3 \\ 6\frac{T}{m}k - \frac{T}{m}kt & 3 < t \leq 6 \end{cases} \quad (17)$$

Nótese que el valor en el intervalo de un periodo de 0 a 3 años coincide con el cálculo de estimado para la ecuación (10) con k=1 y de acuerdo con este criterio no podrá exceder de un periodo mayor de 5 años, si se considera el último intervalo, estos exceden los valores ideales de uso de termómetro por que los valores generan expectativas poco realistas debido al deterioro del termopar que constituye la parte física del sensor de este tipo de instrumentos,

Discusión

Se observa que la perturbación que pueda generar alguna modificación del termopar que es común en los termómetros digitales, pueden modificar ligeramente el intervalo de los periodos de calibración, resultando rentable para periodos mayores a tres calibraciones consecutivas con intervalos regulares.

Conclusión

La interpolación presentada ha permitido validar que el análisis de convolución, en términos prácticos, es rentable si se mantiene adecuadamente el equipo, porque de haber un deterioro en los sensores el valor del impulso sería menor a k=1, lo que obligaría a una calibración anticipada.

Es importante destacar que, generalmente las mediciones de una medición al realizarse en condiciones controladas conllevan mantener un sistema trazable, pero que además puede aumentar los periodos de calibración y en consecuencia disminuir los gastos de calibración. De manera complementaria, se puede generar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad del equipo y prueba del error normalizado a fin de darle soporte a la decisión de extender el periodo de calibración del equipo.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Referencias

Anastasopoulos, G. (2017). The new ISO/IEC 17025: 2017. . CAL LAB the *International Journal of Metrology*, 30-35.

Bianchi, D., Secco, N. (2021). *Misconceptions about the Central Limit Theorem in Uncertainty-based Design Optimization*. In AIAA Scitech 2021 Forum, 1594.

Carbone, P., Macii, D., Petri, D. (2001). *Measurement uncertainty and metrological confirmation in documented quality systems*. In Proc. IMEKO TC4 Symposium, 2: (437-441).

Cox, M., O'Hagan, A. (2022). Meaningful expression of uncertainty in measurement. *Accreditation and Quality Assurance, 27*(1): 19-37.

Damasceno, J.C., Couto, P.R. (2018*). Methods for evaluation of measurement uncertainty (Vol. 2)*. London, UK: IntechOpen.

Demeyer, S., Fischer, N., Elster, C. (2022). Guidance on Bayesian uncertainty evaluation for a class of GUM measurement models. *Metrologia, 58*(1): 014001.

Ekici, C., Avci, Ö. (2023). An International Bilateral Inter-Laboratory Temperature Comparison Measurement. *MAPAN, 38*(3): 569-572.

Estevez, G., & Estevez, J. (2021). *Periodos de calibración para instrumentos que mantienen una trazabilidad estática, una arista a la guía ILAC-G24 / OIML D 10*. In C. d. Óptica. Trabajos Científicos en México, 6: 575-579.

INTERNATIONALE, O. (2008). Guidance ILAC-G24 international OIML D 10.

JCGM. (2008). *GUM Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. 100:2008.

Kellner, M., Ceriotti, M. (2024). Uncertainty quantification by direct propagation of shallow ensembles. Machine Learning: *Science and Technology, 5*(3). https://doi.org/10.1088/2632-2153/ad594a

Tetens, H. (2016). *Reproducibility, objectivity, invariance*. Reproducibility: Principles, Problems, Practices, and Prospects, 13-20.

Velychko, O., Gordiyenko, T. (2019). *Metrological traceability at different measurement levels*. In Standards, Methods and Solutions of Metrology. IntechOpen. IntechOpen.

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MEDIDOR pH DE BAJO COSTO

Gonzalo Hedain López-Mera*, Diego Sánchez-García, Raúl Dalí Cruz-Morales, David Tinoco-Varela y Luis Alberto Parra-Oaxaca
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
*ghlopez@comunidad.unam.mx

Resumen

Con el propósito de abordar la carencia de instrumentos de medición en el entorno educativo en laboratorios de farmacia, bioquímica, química, entre otras, se desarrolló y valido un prototipo medidor de pH de bajo costo utilizando el módulo PH-4502C. El desarrollo de este medidor de pH responde a la necesidad de contar con herramientas accesibles y precisas para la medición de pH, un parámetro crucial en numerosas aplicaciones químicas y biológicas, tales como el monitoreo de cultivos celulares, el control de calidad en la producción de alimentos y bebidas, y la investigación en procesos bioquímicos. La implementación de un dispositivo de bajo costo permite a laboratorios con recursos limitados acceder a tecnologías de medición precisas, promoviendo así la equidad en el ámbito científico y educativo. El módulo PH-4502C es conocido por su facilidad de uso y su compatibilidad con diversos sistemas de monitoreo y control. La validación del prototipo se realiza utilizando el simulador de precisión HI 931001, un estándar en la calibración de dispositivos de pH, garantizando la confiabilidad de las mediciones. Así también, se realiza un comparativo de medición con el equipo comercial Science Med modelo SM-25CW y el equipo HI98127, ambos ampliamente utilizados en laboratorios profesionales, lo que subraya la viabilidad del PH-4502C como una alternativa económica sin comprometer la calidad de los resultados. Así entonces, se tiene un dispositivo de arquitectura abierta, con la capacidad de personalización según necesidades específicas a expensas de un tiempo considerable de desarrollo.

Palabras clave: Código abierto, pHmetro, Arduino.

Introducción

En un concepto sencillo, el pH es una unidad de medida que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. El rango de pH varia de 0 a 14, siendo 7 el valor pH neutro. Para valores de pH menores a 7 la solución se considera ácida y para valores pH mayores a 7 la solución se considera alcalina (Instituto Nacional del Cáncer, s/f). Como se menciona en Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico (Pineda *et al.*, 2020)), medir el valor del pH es de gran importancia en la industria alimenticia, en medioambiente, en control de calidad, en el sector salud, entre otros. En procesos industriales, sitios como ¿Qué Es el pH? Hanna Instruments Colombia (s/f.), enlistó las siguientes aplicaciones:

- Producir productos con propiedades coherentes y bien definidas.
- Producir productos de forma eficiente a un costo optimo.
- Evitar problemas de salud en los consumidores.
- Cumplir con los requisitos reglamentarios.

Para la industria cervecera, la medición de pH en un mosto durante el macerado y la cocción debe estar entre los valores de 5.2 y 5.5, ya que, en caso de trabajar con agua muy básica, es decir con pH mayor a 7, probablemente el mosto tendrá dificultades de acidificarse (Cocinista, s/f). Por lo tanto, la importancia del manejo teórico-práctico del pH a nivel profesional y de investigación deja entredicho que debe ser manejado ampliamente en el entorno educativo, permitiendo el desarrollo del pensamiento científico que genere habilidades en los estudiantes, como lo marca Chamizo (2017).

En cuanto al enfoque práctico del concepto de pH, se presenta la problemática en el entorno educativo de la falta de instrumentos de medición en los laboratorios de farmacia, bioquímica, química, entre otras. Siendo que este tipo de instrumentos están diseñados para ser reutilizables en comparación de las tiras reactivas de pH, tienen la desventaja que el uso incorrecto, la falta de mantenimiento, las condiciones de trabajo o temperaturas elevadas reduzcan la vida útil de los electrodos de pH. De acuerdo con Hanna Instruments (s/f), la vida media de un electrodo de pH es de 1

año, y dependiendo las condiciones de uso, los electrodos o alguno de sus componentes puede dañarse, lo que provocará una medida de pH errónea. En el mejor de los casos, dependiendo el instrumento, se tiene que sustituir dicho componente dañado por otro de las mismas características, lo que generará un costo el cual suele ser elevado en comparación con sustituir el instrumento de forma total. Para otros dispositivos llamados de bolsillo, por su diseño y carencia de repuestos o imposibilidad de mantenimiento, estos deben ser desechados y adquiridos nuevamente.

Para solucionar esta problemática, aunado a la aparición de nueva tecnología a nivel electrónico y de instrumentación se están desarrollando proyectos a bajo costo y de código abierto, por mencionar el desarrollo de proyectos con la plataforma Arduino. Entre los proyectos enfocados a la metodología e implementación de prototipos medidores de pH a bajo costo, presentando resultados precisos a los obtenidos por medidores de pH de uso comercial y profesional se encuentra Saucedo (2020) quien presenta un medidor de pH de bajo costo para aplicaciones didácticas, en el área de agricultura Córdova *et al.* (2019), implementa un medidor de pH y humedad en el suelo de un invernadero y en Moscol (2022), se desarrolla un sistema medidor de pH y temperatura en productos lácteos.

Este trabajo tiene por objetivo mostrar el desarrollo de un prototipo medidor de pH electrónico de bajo costo enfocado al uso en el entorno educativo y científico. Para justificar su operabilidad se realiza una comparación del grado de sensibilidad y linealidad del prototipo desarrollado con respecto a medidores de pH de uso comercial. En cuestiones tecnológicas, es bien sabido que el desarrollo de proyectos con características de código abierto tiene una tendencia prominente respaldado por la accesibilidad de tecnología de bajo costo en cuanto a componentes electrónicos, como lo señalaron Valencia *et al.* (2021), es una temática que le compete a toda la industria actual. Por tal motivo es de elección en este trabajo utilizar Arduino como la plataforma electrónica de código abierto para desarrollar un prototipo medidor de pH de bajo costo.

Medidores de pH electrónicos

En esencia, el funcionamiento de un medidor de pH electrónico se basa en medir la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de pH y un electrodo de referencia introducidos en una misma solución, mostrando en el panel visual el resultado en unidades de pH. Respecto la variedad de tipos de medidores de pH, estos se pueden encontrar como dispositivos simples y económicos de tipo pluma, o caros y complejos de uso en laboratorio. Entre la gama de medidores de pH, se pueden encontrar modelos de altas prestaciones como el medidor de pH de mesa Science Med modelo SM-25CW, hasta modelos compactos como el HI98127 (Figura 1).

Figura 1. Izquierda: Medidor de pH de mesa Science Med modelo SM-25CW. Derecha: Medidor de pH Hanna modelo HI98127. (*Medidor de pH /mV de Mesa. Modelo SM-25CW*) y (*Medidor de Bolsillo pHep®4 de pH/Temperatura Con Resolución de 0.1*) (VelaQuin, 2024).

En cuanto al costo de los medidores de la Figura 1, mismos que se han utilizado en este trabajo se encuentran en la página del distribuidor a un costo de $8,220 + IVA pesos mexicanos para el modelo SM-25CW y $2,896 + IVA pesos mexicanos para el modelo HI98127. Estos instrumentos pueden calibrarse en uno o dos puntos de la escala de pH, y las soluciones de calibración utilizadas en este trabajo es de pH 4.01 de la marca Hanna, de un costo por lote de 25 piezas en $864 pesos mexicanos (Figura 2).

Figura 2. Izquierda: Solución de limpieza de propósito general. Centro: Solución de almacenamiento. Derecha: Solución de calibración pH 4.01. Soluciones de la marca Hanna.

Respecto a las características de los medidores de pH, el modelo SM-25CW tiene un intervalo de medición de 1 a 14 pH, con precisión de ±0.05 pH, una resolución de 0.01 pH con una calibración automática de 1 a 3 puntos. En cuanto al modelo HI98127 el intervalo de medición es de 1 a 14 pH, con precisión de ±0.1 pH (Hanna, Instruments, 2024), una resolución de 0.1 pH con calibración automática de 1 a 2 puntos. Como se puede notar, la diferencia de precisión y resolución es amplia entre los medidores de uso en laboratorio y los medidores portátiles, y aun cuando estos últimos instrumentos son notablemente inferiores, la sencillez de su manejo, su menor costo y los aceptables resultados en la medición de pH los posibilitan para contemplarlos en aplicaciones didácticas, estudios de formación profesional y de desarrollo científico.

Objetivo

Desarrollar un prototipo medidor de pH de bajo costo, utilizando la tarjeta de desarrollo Arduino Nano y el módulo PH-4502C comparable a los dispositivos comerciales convencionales, con el fin de generar un dispositivo asequible para aplicaciones científicas y educativas.

Materiales y métodos

Desarrollo del prototipo

En cuanto al desarrollo del instrumento de medición, se va a seguir el esquema constructivo según Webster y Eren (2014), que muestra los bloques de conexión entre la cantidad física a medir y la visualización del valor medido para el usuario (Figura 3).

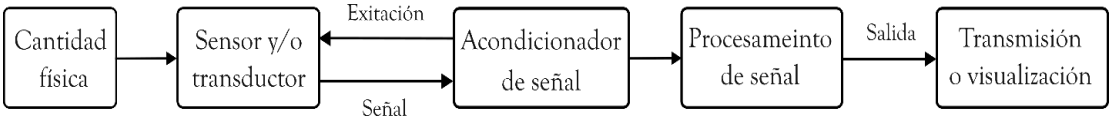


Figura 3. Estructura constructiva de un instrumento típico (Webster, y Eren, H. 2014).

Con el objetivo de desarrollar un dispositivo de bajo costo y código abierto, este trabajo tiene por elección el uso de la tarjeta Arduino Nano como elemento de procesamiento, por ser una versión compacta en la gama de tarjetas Arduino, permitiendo desarrollar un prototipo de mínimas dimensiones. El microcontrolador de esta tarjeta es el ATMEGA328P. Como elemento sensor, se hace la elección del módulo PH-4502C y la sonda de electrodo E201 que es adquirida por un costo de $300 pesos mexicanos. La Figura 4 muestra el módulo y el electrodo con conector BNC. El intervalo de medición de este sensor es de 0 a 14 pH, con un tiempo de respuesta menor o igual a 5 s, una salida de señal de voltaje analógico con salida de compensación de temperatura.

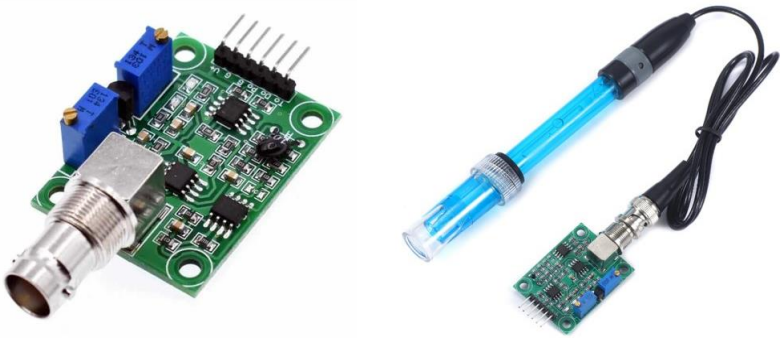


Figura 4. Izquierda: Módulo sensor PH-4502C. Derecha: Sonda de electrodo E201 (AliExpress, 2024).

Como se mencionó, el módulo sensor tiene una conexión BNC que es adecuada para la mayoría de los medidores de pH del mercado, por lo que resulta conveniente a la hora de sustituir la sonda de electrodo, en caso de que este se dañe o termine su vida útil. La Figura 5 muestra las partes que componen al módulo sensor PH-4502C.

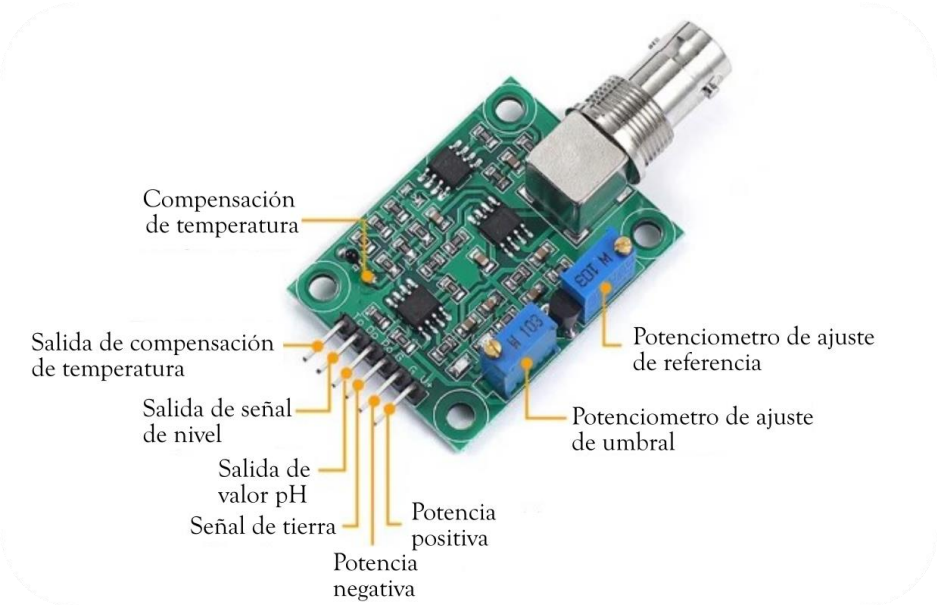


Figura 5. Elementos que componen al módulo PH-4502C (Elaboración propia).

De la Figura 5, se destacan principalmente los siguientes elementos:

- Salida de valor pH. Es la salida analógica del valor de pH medido por medio de la sonda de electrodo E201. La magnitud de salida es voltaje, por tanto, mediante programación en el procesador se realiza la conversión a su valor equivalente en pH.
- Señal de tierra. Es la referencia a tierra (GND).
- Potencia positiva. Es el pin de alimentación de voltaje del módulo.

El módulo sensor se ajusta de forma manual mediante dos potenciómetros de precisión. El potenciómetro de ajuste de referencia permite ajustar el valor de pH del medidor cuando se encuentra trabajando, esto es, un medidor de pH se debe calibrar con referencia a una solución de calibración de pH o buffer, o en su caso hacer uso de un calibrador electrónico. El potenciómetro de ajuste de umbral permite ajustar el

valor límite de pH a medir, una vez alcanzado el valor ajustado, el módulo enciende un led rojo mismo que se encuentra en el módulo. Este es de utilidad como indicador cuando el valor de un valor de pH establecido.

Para la visualización del valor de pH con el usuario y su equivalencia en voltaje, se dispone de un display de 16 segmentos de color azul (Figura 6). A este display se le coloca un potenciómetro para el control de contraste del display y así tener una correcta visualización de los datos.

Al prototipo se le agregó un display LCD de 16x2 segmentos, el cual nos ayudará a mostrar en su pantalla los resultados del valor medidor de pH, así como su equivalencia en voltaje. A este display se le adjunta un potenciómetro que nos ayudará a controlar el contraste y la correcta visualización de los datos en el display.

Figura 6. Display LCD de 16x2 segmentos (Steren, 2024).

El esquema eléctrico para el prototipo del medidor de pH se presenta en la Figura 7, el cual integra la tarjeta Arduino Nano, el módulo sensor PH-4502C, el display LCD de 16 segmentos y el potenciómetro.

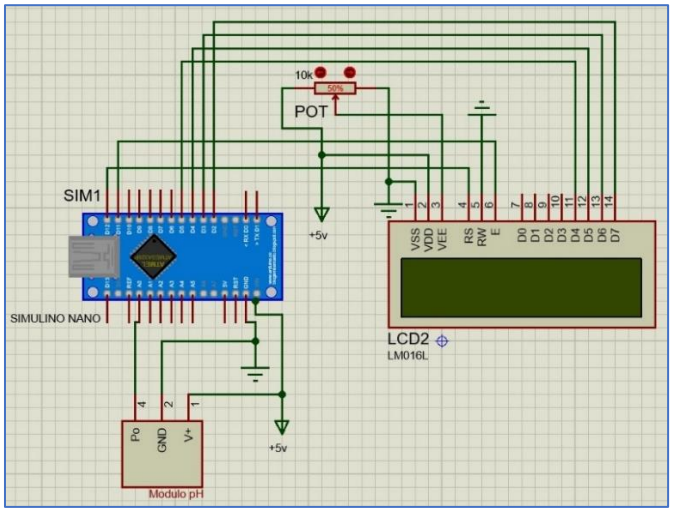


Figura 7. Diagrama de conexiones del medidor de pH (Elaboración propia).

Para realizar la conversión de voltaje analógico al valor de pH medido por la sonda del electrodo se utilizaron las siguientes líneas de código como código parcial del escrito en Arduino:

```
float valor_calibracion = 21.34; // Se declara la variable flotante de calibración.

int valor_pH = 0; // Se declara la variable entera de medición.

Avgval = 0;

float volt = (float)avgval * 5 / 1024 / 6;

float pH_act = -5.7 * volt + valor_calibracion;
```

Para verificar que el funcionamiento de los componentes según el diseño del prototipo en condiciones de aplicación, se armó el circuito electrónico en una protoboard (Figura 8).

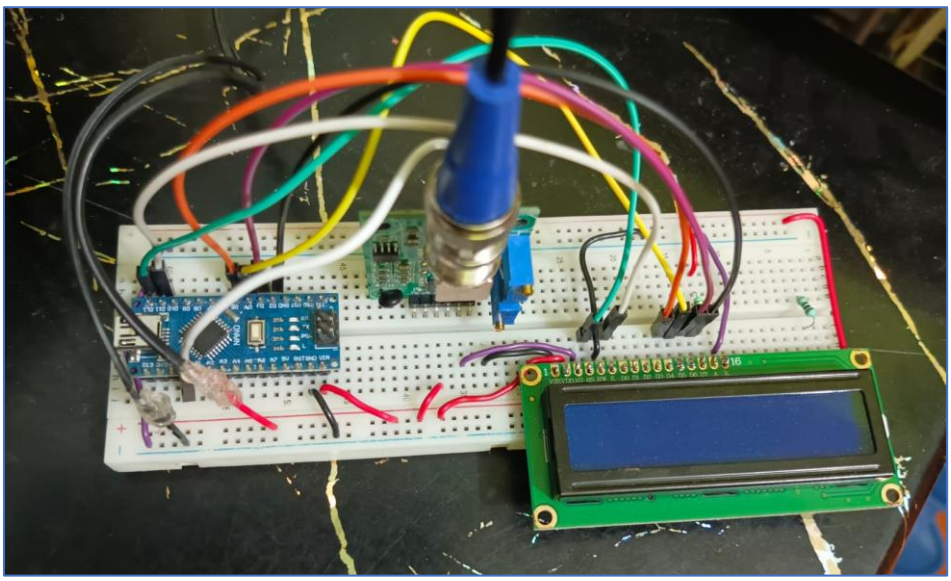


Figura 8. Armado experimental del medidor de pH (Elaboración propia).

Para ajustar el módulo sensor se realizó el siguiente procedimiento.

1. Se utilizó un alambre que cortocircuitara el interior del conector BNC con su parte metálica exterior, como se muestra en la Figura 9. Esto provoca que exista un voltaje en el pin de salida de valor pH, cuyo valor se busca que sea de 2.5V, que equivale a tener un valor de pH de 7, el cual se utilizará como valor de referencia para calibrar el módulo sensor. Este método de calibración

es útil si no se tiene a disposición un Buffer o un calibrador electrónico de uso profesional.

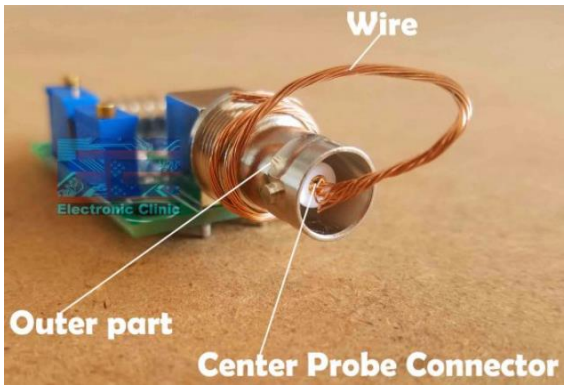


Figura 9. Método de calibración por cortocircuitado (Electroniclinic, 2020).

En el prototipo armado en el protoboard las mediciones de pH variaban si algún cable o componente del circuito se movía mecánicamente, por tanto, para evitar estos falsos de conexión del circuito se realizó el diseño de un segundo prototipo de medidor de pH en una placa de circuito impreso manufacturada de elaboración propia, considerando reducir al máximo el espacio entre componentes, y así, presentar un prototipo de mínimas medidas que lo hagan de tipo portátil (Figura 10).

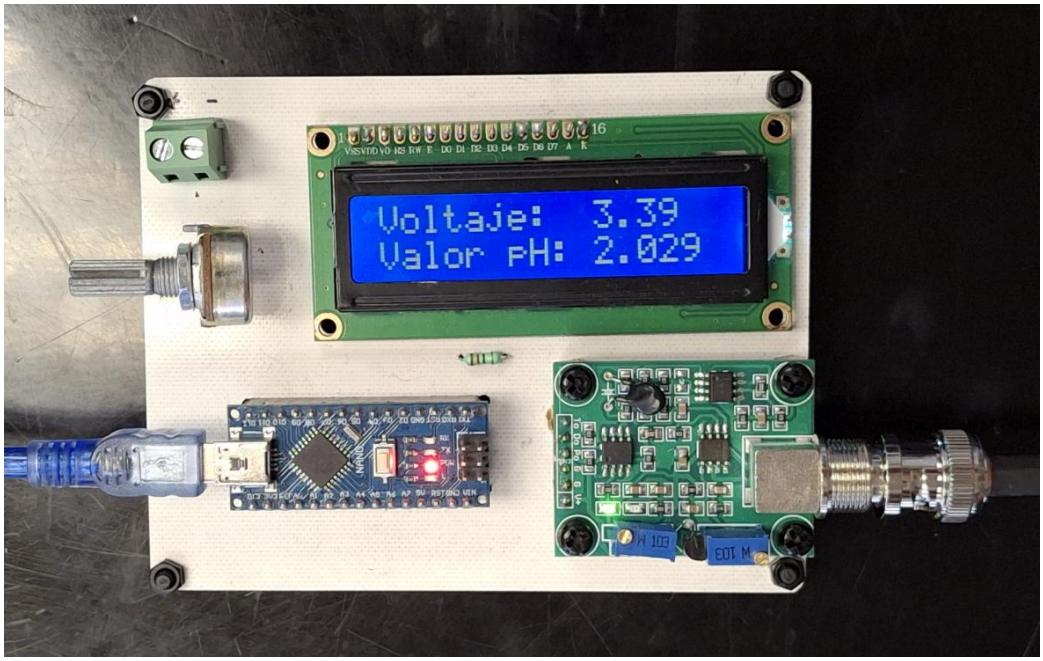


Figura 10. Prototipo de medidor de pH implementado en la placa PCB (Elaboración propia).

Verificación

En cuanto a la metodología de verificación y ajuste de funcionamiento del prototipo, se ajustó el circuito con un simulador de precisión de pH modelo H1 931001 de la marca Hanna Instruments, con tres puntos de calibración de pH en 4.0, 7.0 y 10.0 (Figura 11).

Figura 11. Calibración de medidor de pH mediante calibrador H1 931001 (Elaboración propia).

Posteriormente se realizaron tres mediciones de pH con ayuda del electrodo E201 del prototipo en tres soluciones buffer de referencia pH 4.0, 7.0 y 10.0 para observar si las mediciones del instrumento prototipo eran coincidentes con el valor de los buffers. Se compararon los resultados obtenidos con tres mediciones de pH realizadas con un medidor de pH de mesa de la marca Science Med modelo SM-25CW para las mismas tres soluciones buffer de referencia pH (Figura 12).

Figura 12. Medición de solución buffer de pH 7.0. Izquierda: con medidor prototipo. Derecha: con medidor de la marca Science Med (Elaboración propia).

En una segunda prueba se realizaron mediciones a un buffer de referencia de pH 4.01 de la marca Hanna como referencia de ajuste y a sustancias de valores distintos de pH, en esta ocasión se utilizaron tiras reactivas de pH, el medidor de pH desarrollado en este trabajo y el equipo HI98127 (Figura 13).

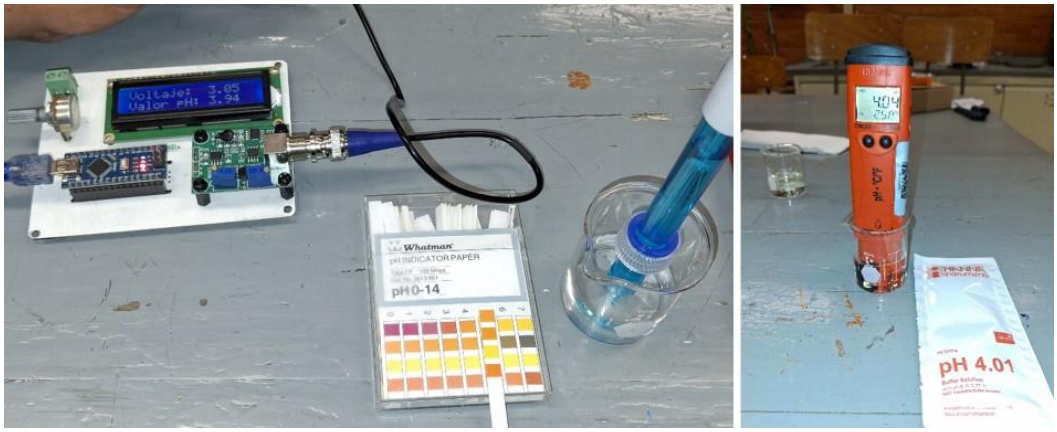


Figura 13. Medición de solución buffer de pH 4.01. Izquierda: con medidor prototipo y tira reactiva de pH. Derecha: con medidor HI98127 (Elaboración propia).

Resultados

Al realizar las mediciones con el prototipo y con el medidor de mesa profesional, se realizó una comparación de los datos obtenidos, se observó que el medidor de pH diseñado presentó resultados semejantes a los obtenidos con el medidor comercial, estos se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores obtenidos con buffers de referencia (Elaboración propia).

Buffer	Valor con prototipo	Valor con Science Med
pH 4	4.08	4.08
pH 7	6.97	6.97
pH 10	9.53	--

En cuanto a la prueba de medición de pH con el medidor de uso profesional para el buffer de pH 10, esta se omitió debido a la calidad del buffer y el grado alto de alcalinidad que pudiera poner en peligro al equipo y con ello su utilización en la Facultad.

Los valores medidos de pH obtenidos en la prueba con el equipo HI98127 se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores obtenidos en pruebas de pH (Elaboración propia).

Valor con tira reactiva	Valor con prototipo	Valor con HI98127
1	1.36	1.44
4	3.94	4.04

Conclusión

Los valores obtenidos por el prototipo son semejantes al instrumento de uso profesional, lo que indica que tiene un grado de sensibilidad y linealidad correctos, por lo que el prototipo puede ser una alternativa eficaz, fiable y muy útil para realizar diversas pruebas de pH en los distintos campos académicos.

En cuanto a costos, resulta más barato el prototipo desarrollado en comparación al de la marca Science Med, por lo que el prototipo es una opción factible de construir.

El proyecto puede seguirse desarrollando, entre las diferentes propuestas se plantea que el prototipo permita visualizar valores de pH en una computadora y a su vez guardar los datos obtenidos de las mismas mediciones. Otra propuesta es que se extienda el desarrollo del software a nivel programación para hacer tareas adicionales como mostrar mensajes de inicio y apagado cuando realice estas tareas el prototipo, con fines estéticos, además de poder modificar la manera que muestra la información medida con la sonda de electrodo.

Por último, la vida útil del dispositivo se puede prolongar dando mantenimiento preventivo y/o sustituyendo la sonda de electrodo cada cierto tiempo, ya que estas por lo general pierden efectividad con el tiempo.

Agradecimientos

En esta sección se busca dar un reconocimiento explícito por el apoyo brindado al proyecto PIAPIME 1.31.41.24 y al proyecto PIAPIME 1.31.31.24.

Referencias

AliExpress. 2024. *Módulo de Sensor regulador de detección de valor de PH líquido 0-14, probador de medidor de Control de monitoreo + Sonda de electrodo de PH BNC para Arduino - AliExpress 502*. En:

https://es.aliexpress.com/item/1005006637934611.html?spm=a2g0o.productlist.main.3.6955A8KjA8KjoJ&algo_pvid=a74276a9-cc35-493d-a019-bba644c04d9e&algo_exp_id=a74276a9-cc35-493d-a019-bba644c04d9e-1&pdp_npi=4%40dis%21MXN%21424.24%21194.98%21%21%21148.30%2168.16%21%402101e07217250521908636969e405a%211120000378947290 08%21sea%21MX%212607966436%21X&curPageLogUid=9oAvlyLokqfb&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A#nav-specification

Chamizo, J.A. (2017). *Habilidades de pensamiento científico. Los diagramas heurísticos*. Facultad de Química, UNAM. ISBN 978-607-02-9893-6.

Cocinista. (s. f.). *La quimica del agua para hacer cerveza*. En: https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/trucos-y-consejos/la-quimica-del-agua-para-hacer-cerveza.html

Córdova, M,G., Montiel, J.E., Ramírez, H.J., Robles, P.P., Pérez, M.H. (2019). Diseño e Implantación de un Prototipo Medidor de pH y Humedad en el Suelo de un Invernadero. Capítulo 4. *Sinergia Mecatrónica*. 35-46.

Electroniclinic. (2020). *pH meter Arduino*. En: https://www.electroniclinic.com/ph-meter-arduino-ph-meter-calibration-diymore-ph-sensor-arduino-code/

Hanna Instruments Colombia. (s/f). *Blog ¿Qué es el pH?. En:* https://www.hannacolombia.com/blog/post/447/que-es-el-ph?srsltid=AfmBOor2PpunR_xIXX2WAbnViHR15mKNcscZVcu3fK0SWOkhomyrebOF

Hanna Instruments. (2024). *Medidor de bolsillo pHep®4 de pH/temperatura con resolución de 0.1*. En: https://hannainst.com.mx/medidor-de-bolsillo-phep-4-de-ph-3-temperatura-con-hi98127

Hanna Instruments. (s/f). *Blog ¿Problemas con tu electrodo de pH?* En: https://www.hannainst.es/blog/1539/problemas-con-tu-electrodo-pH

Instituto Nacional del Cáncer. (s/f). *pH*. En: https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/ph

Moscol, C.C.A. (2022). *Desarrollo de un sistema embarcado IoT medidor de pH y temperatura en productos lácteos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Frontera. Sullana, Perú. 60 pp.

Pineda, C.D.Y., Medina, V.Ó.J., Falla, R.G. (2020). *Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática*

exploratoria. Pensamiento y Acción, (30): 37-51. https://doi.org/10.19053/01201190.n30.2021.12129

Saucedo, M.Á.B. (2020). Medidor de ph de bajo costo para aplicaciones didácticas (Low-cost ph-meter for didactic applications). *Pistas Educativas*, *42*(137).

Steren. (2024). *Display LCD 2x16*. En: https://www.steren.com.mx/display-lcd-2x16.html?srsltid=AfmBOopKe6dRInApjKdd93feSocsgVncg6MU1FSKOPOOyT0FlV7tDh-m

Valencia, A.A., Cardona, A.S., Rúa, O.A.F., Obando, I.C., Trespalacios, A., Bermeo, G.C., Cuervo, C.H. (2021). *Tendencias en el desarrollo de software libre: un análisis bibliométrico*. Virtual Edition. LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development - LEIRD 2021: 1-9.

VelaQuin. (2024). *Medidor de pH /mV de mesa. Modelo SM-25CW*. En: https://www.velaquin.com.mx/products/medidor-de-ph-mv-de-mesa-modelo-sm-25cw?srsltid=AfmBOop_BldUnTab5glqfkrAtXur3IQtvdqzzHMi6m7mMlPTjtrIukoD

Webster, J.G., Eren, H. (2014). *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook: Two-Volume Set*. Second edition. CRC press. 3559 pp

SINTONIZACIÓN DE GANANCIAS E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE UN PÉNDULO UTILIZANDO UN MICRO ALGORITMO

Irving Luna-Ortiz[1]*, M. Gabriel Villarreal-Cervantes[1] y J. Aldo Paredes-Ballesteros[1]

[1]*Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo, IPN, CDMX, México, Laboratorio de Diseño Mecatrónico Óptimo (LDMO)*

* ilunao1900@alumno.ipn.mx

Resumen

Este trabajo presenta un enfoque de identificación de parámetros y sintonización de ganancias de un sistema de control en lazo cerrado de un péndulo mediante el uso de un micro algoritmo metaheurístico. Para el presente trabajo, se propone utilizar un algoritmo bionspirado, que genera micro poblaciones para resolver el problema de optimización que es la identificación de parámetros del sistema y la sintonización de las ganancias de un controlador proporcional-derivativo (PD) en una simulación numérica y después compararlo con un algoritmo canónico. De esta manera, se evaluará el rendimiento de ambos algoritmos y se probará el desempeño del micro algoritmo bioinspirado en la reducción del costo computacional y su desempeño general.

Palabras clave: Identificación de parámetros, sintonización de ganancias, micro algoritmo, poblaciones reducidas y evolución diferencial.

Introducción

En el campo del control automático, uno de los problemas más relevantes es la sintonización de las ganancias en sistemas dinámicos. Este proceso, en apariencia trivial, resulta ser complejo debido a la naturaleza no lineal de muchos de estos sistemas. La no linealidad introduce una serie de dificultades, ya que los métodos tradicionales de sintonización de controladores, como los basados en modelos matemáticos, pueden no ser aplicables o resultar ineficaces. En este contexto, la optimización surge como una estrategia viable para abordar la sintonización de estos

controladores, permitiendo encontrar soluciones óptimas que garanticen un desempeño deseado. Además, la utilización de técnicas de optimización en controladores no lineales puede ser clave para enfrentar las limitaciones inherentes a los métodos convencionales, llevando así a que el sistema trabaje de la forma esperada. En el presente trabajo se propone realizar la identificación de los parámetros y la sintonización del controlador de un sistema no lineal, en el caso particular de un péndulo, mediante optimización usando micro algoritmos bioinspirados.

Optimización

Optimización es el proceso mediante el cual se obtiene el mejor resultado dentro de un problema bajo ciertas circunstancias, especificaciones o condiciones (Rao, 2019). El proceso de optimización pasa por tres etapas que son: la formulación del problema de optimización, la resolución del problema y por último su validación.

Para resolver un problema de optimización se genera una función objetivo construida a partir de sus variables de diseño y se establecen criterios como restricciones de igualdad y desigualdad, los problemas de optimización se pueden resolver con los criterios de primera y segunda derivada, usando la técnica de Karush Kuhn tucker (Rodríguez *et al.*, 2020) o mediante algoritmos de optimización. Existen dos tipos de algoritmos de optimización, los determinísticos, que utilizan técnicas de búsqueda sistematizadas, ya sea por reglas definidas o por descenso del gradiente, como el método de Newton (Nesterov, 2013) y los estocásticos, aquellos que dependen del azar como los algoritmos bioinspirados o también conocidos como metaheurísticas que son estrategias de optimización diseñadas para resolver problemas complejos y difíciles de optimizar mediante técnicas tradicionales y estas están inspiradas en la naturaleza como en la combinación de genes (Srinivas *et al.*, 1994), en el comportamiento de los animales (Kennedy *et al.*, 2001) o en la evolución (Storn *et al.*,1997).

Sistemas de control

Según (Ogata, 1998) los sistemas de control son conjuntos de componentes que gestionan el comportamiento dinámico de un sistema mediante la regulación de la

entrada, de modo que se logren resultados deseados en la salida. Existen muchos tipos de controladores, pero para el caso particular se utilizó un control proporcional derivativo (PD). Estos controladores se han utilizado a lo largo de los años, su uso data a partir de 1890, han permanecido vigentes debido a su gran efectividad en procesos (Bennet,1993; Abbasi *et al.*, 2017) y además por presentar simplicidad y facilidad para reajustar las variables de control (Äström *et al.*, 1995), en (1) se presenta la ecuación de un controlador PD para el caso de regulación, donde $u(t)$es la señal de control, $e(t)$ es el error en el tiempo t, K_P es la ganancia proporcional y K_D que es la ganancia derivativa.

$$u(t) = K_P e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Identificación

La identificación de parámetros de un sistema es el proceso de determinar los valores de los parámetros que caracterizan el comportamiento dinámico de un sistema a partir de datos experimentales o de observación (Rodríguez *et al.*, 2022). Algunos objetivos de la identificación de parámetros son describir el comportamiento del sistema, obtener un modelo matemático preciso que represente el sistema físico, mejorar el control y la simulación, usando el modelo identificado para diseñar controladores efectivos y realizar simulaciones precisas, esta estimación de parámetros se pueden hacer de distintas formas: mediante el método de los mínimos cuadrados, el método de máxima verosimilitud, el filtro de Kalman, técnicas de optimización no lineal y algoritmos metaheurísticos. En este trabajo se utilizarán los algoritmos metaheurísticos o bioinspirados, para resolver el problema de identificación del robot manipulador de un grado de libertad o péndulo simple.

Sintonización

La sintonización en teoría de control se refiere al acto de seleccionar y ajustar los parámetros de un controlador, para trabajar de forma deseada. Para la sintonización de ganancias en sistemas lineales se puede realizar por métodos propuestas por Ziegler y Nichols (Ziegler y Nichols, 1942), pero en cuestión de sistemas no lineales la sintonización de ganancias se convierte en una tarea complicada. Existen cuatro clasificaciones para el ajuste de parámetros del controlador (PID) de lazo cerrado

propuesto por Moradi y Johnson (Johnson et al, 2005), pero en el presente trabajo utilizaremos otra clasificación propuesta en (Villarreal *et al.*, 2016) y en (Rodríguez *et al.*, 2020), que permite conocer qué técnica de sintonización se va a utilizar dependiendo del problema, la clasificación la basa en los cuatro métodos siguientes:

1. Métodos analíticos.
2. Métodos heurísticos.
3. Métodos de optimización.
4. Métodos adaptables.

Para el presente trabajo se utilizará el Método No. 3, donde se establece a la identificación de parámetros y la sintonización como un problema de optimización que se resuelve mediante un optimizador para encontrar un conjunto adecuado de parámetros del controlador (Flores *et al.*, 2020).

Objetivo

Realizar la sintonización de ganancias de un controlador proporcional-derivativo para el caso de regulación para un péndulo simple e identificar los parámetros de dicho sistema dinámico en simulación numérica, todo esto mediante el uso de micro algoritmos bioinspirados.

Además, se llevará a cabo una comparación detallada entre los resultados obtenidos con los micro algoritmos y los algoritmos canónicos, evaluando el desempeño.

Materiales y métodos

A continuación, se presentan los materiales y métodos utilizados para poder realizar y fundamentar los experimentos que permitan alcanzar el objetivo del presente trabajo.

Microevolución Diferencial (µ-DE)

El algoritmo de evolución diferencial para micro poblaciones fue tomado de (Viveros *et al.*, 2012). La diferencia que existe entre evolución diferencial canónico y para micro

poblaciones, además del tamaño de la población, es que cuenta con un ciclo iterativo interno, el cual tiene como condición de entrada a este bucle cumplir con cierto número de generaciones al cual se le llama generaciones de reemplazo. Una vez entrado a este bucle se sustituyen los individuos que tengan las peores evaluaciones de la función objetivo por nuevos individuos, generados aleatoriamente, lo que permite traer diversidad a la población y así evitar una convergencia prematura a un óptimo local (Tabla 1).

Tabla 1. Pseudocodigo del mecanismo de reemplazo.

Algoritmo .1 Pseudocódigo mecanismo de reemplazo de µ-DE.

Entrada: Tamaño de la población (*NP* ∈ *R*), Generaciones de reemplazo (*GR* > *0*), Evaluación de la función objetivo (EFO), Individuos de reemplazo (*NR* > *0*).
Salida: Los nuevos *NP*.

1. *If* (*cont* = *GR*).
2. → Mecanismo de reemplazo.
3. Se ordenan los *NP* individuos de menor a mayor con respecto al valor de *EFO*.
4. Reinicializar aleatoriamente los *NR* peores individuos.
5. Establecer cont = 1.
6. ← Salir del mecanismo de reemplazo.

Una vez descrito el pseudocódigo anterior, se presenta el pseudocódigo de µ-DEreb1b, que es la combinación del mecanismo de reemplazo con DE canónico (Tabla 2).

Tabla 2. Pseudocodigo de *µ*-DE.

Algoritmo .2 Pseudocódigo de µ-DE.

Entrada: Evaluaciones de la función (*Fes* ∈ *R*), Tamaño de la población (*NP* ∈ *R*), Generaciones máximas (*Gmax* = *Fes/NP*), Generaciones de reemplazo (*GR* > *0*), Individuos de reemplazo (*NR* > *0),* Tasa de cruzamiento (*CR* ∈ *R*), Factor de escalamiento (*F* ∈ *R*).
Salida: XBest = mejor solución encontrada.

7. Generar los primeros individuos aleatoriamente.
8. Evaluar la función objetivo de cada individuo.
9. Establecer *cont* = *1* y *Gmax* = *Fes/NP*.
10. **For** g = 1 hasta Gmax. **Do**
11. If (cont = GR).
12. → Mecanismo de reemplazo.
13. ← Salir del mecanismo de reemplazo.
14. A partir de aquí comienza evolución diferencial Canónico. [Storn et al,1997].
15. **End For**.

Modelo dinámico del robot manipulador de 1 grado de libertad

En esta sección se procede a obtener el modelo dinámico de un péndulo simple o visto de otra forma como un robot R de un grado de libertad. En la Figura 1 se observa

un esquema representativo del robot manipulador de un grado de libertad donde se usa el ángulo de oscilación como coordenada generalizada y también se pueden apreciar los parámetros dinámicos del sistema, donde m es la masa del eslabón, L_{cm} es la longitud del centro de masa, I_z es la inercia del eslabón y θ es la posición angular.

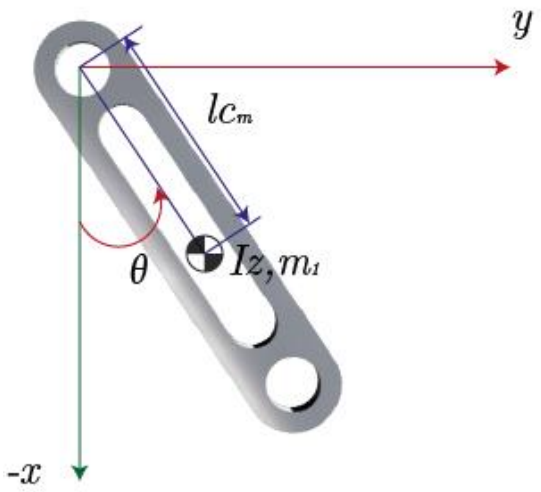


Figura 1. Modelo representativo del robot manipulador de un grado de libertad.

A continuación, se procede a utilizar las ecuaciones de Euler-Lagrange descritas en (2) para obtener la dinámica del sistema, en donde $\tau \in R^n$ es el vector de pares.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau \tag{2}$$

En (3) se procede a calcular el lagrangiano del robot manipulador de un grado de libertad:

$$L = T - V \tag{3}$$

En donde L es el lagrangiano, T es la energía cinética y V es la energía potencial, y se procede calcularlo obteniendo la energía cinética en la ecuación (4).

$$T = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I_z\dot{\theta}^2 \tag{4}$$

Donde v es la velocidad lineal definida en (5).

$$v = l\dot{\theta} \tag{5}$$

Sustituyendo (5) en (4) obtenemos (6) que es la energía cinética del sistema.

$$T = \frac{mL_{cm}^2\dot{\theta}^2}{2} + \frac{I_z\dot{\theta}^2}{2} \quad (6)$$

En (7) se procede a calcular la energía potencial.

$$V = mgh \quad (7)$$

Donde h es la altura del sistema y g es la aceleración debido a la gravedad. En (8) se establece la energía potencial.

$$V = -mgL_{cm}\cos(\theta) \quad (8)$$

Por lo que el lagrangiano resulta en (9).

$$L = \frac{mL_{cm}^2\dot{\theta}^2}{2} + \frac{I_z\dot{\theta}^2}{2} - mgL_{cm}\cos(\theta) \quad (9)$$

Se resuelve primero haciendo la parcial del lagrangiano con respecto de $\dot{\theta}$:

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = mL_{cm}^2\dot{\theta} + I_z\dot{\theta} \quad (11)$$

Enseguida se calcula la derivada con respecto del tiempo de la parcial con respecto a la velocidad angular del lagrangiano:

$$\frac{d\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right)}{dt} = mL_{cm}^2\ddot{\theta} + I_z\ddot{\theta} \quad (12)$$

A continuación, se obtiene $\frac{\partial L}{\partial \theta}$:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = mgL_{cm}\sin(\theta) \quad (13)$$

Sustituyendo a (13) y (12) en (2) se obtiene (14)

$$mL_{cm}^2\ddot{\theta} + I_z\ddot{\theta} - mgL_{cm}\sin(\theta) = \tau \quad (14)$$

Considerando la dinámica en lazo cerrado en (15)

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + C\left(\theta,\dot{\theta}\right)\dot{\theta} + G(\theta) \quad (15)$$

Experimentos

En esta sección se plantean las bases y las condiciones iniciales de los experimentos, tanto para identificación de parámetros como para la sintonización de ganancias del controlador, debido a que utilizaremos los algoritmos bíoinspirados de evolución

diferencial, por sus siglas en inglés DE y evolución diferencial para micro poblaciones μ-DE, se propondrán estos dos problemas como problemas de optimización matemática.

Identificación

Para resolver el problema de identificación de parámetros, se comparan las salidas del sistema real y el sistema simulado numéricamente, utilizando una estimación aproximada de los parámetros físicos para el sistema simulado. Al aplicar una señal de control acotada y observando la salida de ambas, se evalúa si el comportamiento del sistema simulado se asemeja al real, calculando el error como la diferencia entre ambos sistemas, la salida del sistema real menos la salida del sistema simulado. Luego, se emplea la métrica Integral del Error al Cuadrado (ISE, por sus siglas en inglés) como función objetivo a minimizar. Un micro algoritmo de optimización genera los valores que se asignan a los parámetros, asignados en el vector p_id=[m,L_cm,I_z]^T como las variables de diseño en el problema de optimización presentado en (17), donde x ̇=f(x)-g(x)u es la dinámica representada en el espacio de estados.

$$\begin{gathered} min J_{1(p)} \\ p \in \mathbb{R}^2 \\ sujeto\ a \begin{cases} \dot{x} = f(x) - g(x)u \\ p_{min} < p_{id} < p_{max} \end{cases} \end{gathered} \tag{17}$$

Sintonización

Para el problema de sintonización se aborda mediante (18), donde el vector $p = [Kp, Kd]^t$ son las ganancias del controlador.

$$\begin{gathered} min J_{2((p_{id}))} \\ p_{id} \in \mathbb{R}^3 \\ sujeto\ a \begin{cases} \dot{x} = f(x) - g(x)u \\ p_{id_{min}} < p < p_{id_{max}} \end{cases} \end{gathered} \tag{18}$$

Cabe mencionar que los parámetros (Tabla 3) masa del eslabón, la longitud del centro de masa del eslabón y el momento de inercia mostrados en la tabla anterior, son obtenidos de un sistema físico que se encuentra en el laboratorio de diseño mecatrónico óptimo en el CIDETEC del Instituto Politécnico Nacional.

Tabla 3. Parámetros utilizados en el experimento.

Periodo (s)	Paso de integración (s)	Masa (Kg)	Longitud del centro de masa (m)	Momento de inercia (Kgm^2)	aceleración de la gravedad (m/s^2)
3	1_{e-3}	0.2025	0.15	0.00156	9.81

A continuación, se aprecia en la siguiente Tabla 4 los parámetros utilizados para el problema de identificación en los algoritmos de optimización, evolución diferencial y evolución diferencial para micro poblaciones:

Tabla 4. Configuración de parámetros para el problema de identificación.

Parámetro	DE	μ-DE
Número de corridas	30	30
Evaluaciones de la función objetivo	3,000	3,000
Tamaño de la población	30	6
Factor de escalamiento	0.9	0.9
Tasa de cruzamiento	[0.0, 1.0]	[0.0, 1.0]
Generaciones de reemplazo	0	100
Individuos de reemplazo	0	2

Ahora en la Tabla 5 se observan los parámetros utilizados para el problema de sintonización de un controlador PD con los algoritmos de optimización de Evolución Diferencial y Evolución Diferencial para micro poblaciones:

Tabla 5. Configuración de parámetros para el problema de sintonización.

Parámetro	DE	μ-DE
Número de corridas	30	30
Evaluaciones de la función objetivo	300	300
Tamaño de la población	30	6
Factor de escalamiento	0.9	0.9
Tasa de cruzamiento	[0.0, 1.0]	[0.0, 1.0]
Generaciones de reemplazo	0	10
Individuos de reemplazo	0	2

La señal de entrada conmutada $U(t)$, utilizada para el problema de identificación de parámetros, se muestra en la Figura 2.

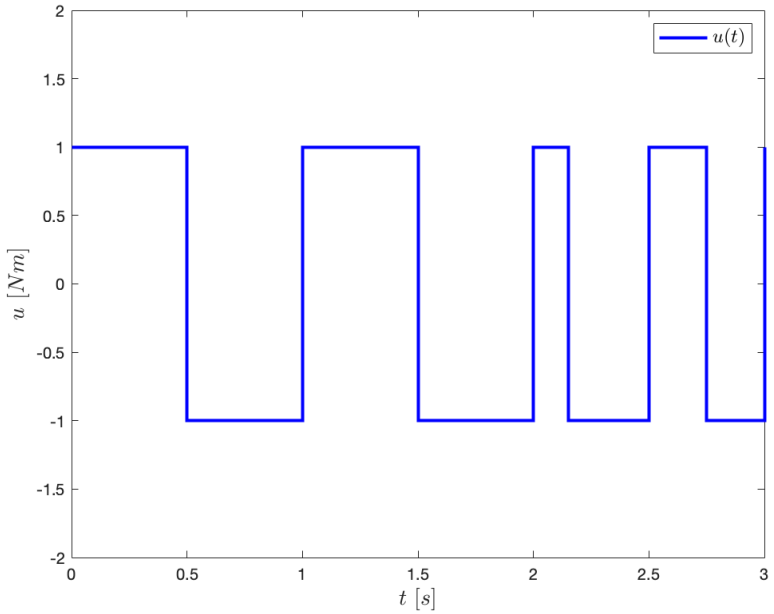


Figura 2. Señal de entrada conmutada $U(t)$.

Estos experimentos fueron realizados en el entorno de programación de MATLAB, los algoritmos y funciones fueron desarrolladas completamente, sin utilizar funciones preestablecidas por algún paquete o librería, se ejecutaron sobre un procesador Intel(R) Core (TM) i5-4200U CPU @ 1.60GHz, con 16 Gb de RAM, procesador de 64 bits x64 y sistema operativo Windows 10 Home.

Resultados

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de los problemas de identificación de parámetros y el de sintonización de ganancias del controlador con los algoritmos, DE y μ-DE. En la Tabla 6, se muestran los resultados del problema de identificación de parámetros, se presentan los valores obtenidos a través de 30 corridas independientes las cuales son suficientes debido a que el modelo solo incluye parámetros básicos para la identificación y en la sintonización se puede observar convergencia al punto de referencia. Se muestran las variables de diseño y la evaluación de la función objetivo para los algoritmos algoritmos implementados (DE y μ-DE). Cada sección incluye cuatro columnas: masa" m", longitud al centro de masa"

L_{cm}", momento de inercia" I_z" y una columna" id" que indica los valores por cada corrida, como se muestra a continuación:

Tabla 6. Resultados del problema de identificación de parámetros.

	ED				μ-ED			
id	m	L_{cm}	I_z	J_1^1	m	L_{cm}	I_z	J_2^1
1	0.28674868	0.07217684	0.00478811	11.7625455	0.85132596	0.03068903	0.00539541	4.4070258
2	1.4331415	0.01389818	0.00601891	13.9308511	0.48331089	0.04751766	0.00515867	7.17582283
3	0.19574325	0.09865157	0.00441814	16.2949674	0.49015961	0.0467439	0.00518119	7.7339836
4	0.2385335	0.07821478	0.00487993	18.0093209	0.46268558	0.04045572	0.0055763	17.3751741
5	0.28500204	0.07909464	0.00468547	20.1826475	0.62803725	0.02833809	0.0058418	19.2163584
6	0.56964199	0.06744857	0.00358139	20.6273238	0.16893957	0.10610686	0.00445508	19.5472452
7	0.38061498	0.04548201	0.00560069	21.3708919	2.87957406	0.00608416	0.00625104	19.8813828
8	1.8711848	0.01060824	0.00613365	22.2641068	0.70985004	0.02962344	0.00568779	20.3361193
9	0.19085813	0.08997723	0.00486385	22.2783295	6.81923601	0.00291566	0.00627531	20.3644579
10	9.40520486	0.00169768	0.00637486	22.5821752	0.48251595	0.03558215	0.00577464	21.2117495
11	0.19615202	0.10293521	0.0041938	23.0902268	0.87460644	0.01917054	0.00606039	21.3591641
12	0.53841739	0.02816643	0.00599726	23.7575574	0.76312664	0.02226731	0.00602758	22.0158441
13	0.24906658	0.08124726	0.00473535	25.5391093	1.56107517	0.0102257	0.00626492	22.6652844
14	0.1485039	0.09453817	0.00513174	25.7081362	2.55642236	0.00761551	0.0063771	22.7946931
15	0.18049909	0.10063251	0.00470803	25.8507139	0.21666555	0.07278148	0.00528797	22.9277774
16	0.18421016	0.07471647	0.0054629	26.6211372	0.8771547	0.01716026	0.00618345	23.7312201
17	1.10069717	0.02068089	0.00583142	28.1853619	2.24479023	0.00916406	0.00614902	23.9975996
18	1.10254454	0.02654532	0.00538249	28.3057509	0.29108536	0.05864394	0.00544329	24.0480416
19	0.21545043	0.05889778	0.00574459	29.2543161	0.26962944	0.05537641	0.00563064	24.078623
20	0.35003085	0.0650935	0.00493548	33.1627547	0.47233193	0.04482176	0.00553545	24.7319243
21	0.16768233	0.06479717	0.0059308	41.6728604	0.80499676	0.01960577	0.00617965	25.5312968
22	0.41518746	0.02915431	0.00630871	45.4935063	0.20064751	0.08507325	0.00503216	26.2206167
23	0.1998138	0.09598511	0.0047322	45.777851	0.43590377	0.04371813	0.0056473	28.5575598
24	0.45793462	0.01322517	0.0065253	55.5266065	0.99774136	0.01955812	0.00609465	29.1769654
25	0.23312177	0.02720812	0.00649507	56.3582936	2.71395992	0.00440554	0.00646261	31.6754482
26	0.31985059	0.0260157	0.00651047	58.4263541	0.40882941	0.02698616	0.00626786	36.0939074
27	0.17932099		0.00666067	68.5011117	0.33830702	0.0322982	0.00626479	39.8027823
28	0.53551882	0.02253476	0.00680901	76.7202175	0.52481662	0.01462443	0.00653581	50.9532497
29	0.07352386	0.00393035	0.00686304	81.7648793	1.24246632	0.02705013	0.00518897	51.7040182
30	0.00236197	0.01739042	0.00621073	85.322339	3.024059	0.00250447	0.0066407	52.0159231
		0.12391907						

En la Tabla 7 se aprecian los resultados estadísticos para el valor promedio de la Figura 6.

Tabla 7. Resultados estadísticos para el problema de identificación de parámetros.

	DE				μ-DE			
Valor estadístico	m	L_{cm}	I_z	J_1^1	m	L_{cm}	I_z	J_2^1
Promedio	0.72355	0.054495	0.00555	35.8114	1.1598	0.0322	0.0058	25.3777

En la Figura 3 se describe la posición del sistema con los parámetros del péndulo reales y el mejor resultado obtenido por los algoritmos DE y μ-DE, cuando se le inyecta la señal de entrada *U*(*t*), como se muestran a continuación:

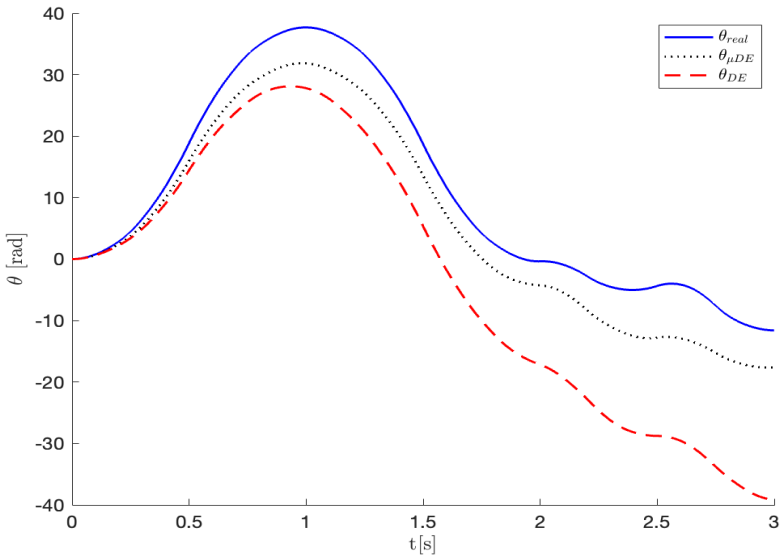


Figura 3. Identificación valor promedio.

Para el experimento de sintonización de ganancias de un controlador PD se presenta la Tabla 8, con dos secciones una con los resultados obtenidos por DE y la otra sección para µ-DE, cada sección cuenta de tres columnas en donde se registran los valores obtenidos por los algoritmos que son, la ganancia proporcional K_p, la ganancia derivativa K_d, el valor de la evaluación de la función objetivo para la sintonización J_2 y una columna llamada id, que nos dice el valor mínimo obtenido por cada corrida.

Tabla 8. Resultados del problema de sintonización de parámetros.

	DE			μ-DE		
id	K_P	K_D	J_1^2	K_P	K_D	J_2^2
1	99.7926588	0.88334777	0.02523291	99.9988498	0.88327184	0.02521046
2	99.6428596	0.89313272	0.02525183	99.9806674	0.88946058	0.02521328
3	99.0936005	0.87000099	0.02531053	99.9672509	0.8758696	0.02521467
4	98.7926292	0.90034719	0.02535237	99.9884741	0.89665302	0.02521505
5	98.5098675	0.80786389	0.02546424	99.9950251	0.89980392	0.02521602
6	97.5576869	0.91482204	0.02551451	99.9501989	0.87493539	0.02521673
7	96.9814979	0.84382596	0.02555626	99.9700651	0.86525671	0.02521898
8	97.9891518	0.97412147	0.02559873	99.865918	0.88961789	0.02522592
9	96.3283105	0.88736013	0.02562961	99.8032317	0.88396238	0.0252318
10	96.8065325	0.95438696	0.02569404	99.8142648	0.87251744	0.02523203
11	95.6482644	0.87167436	0.02570054	99.8124058	0.86843762	0.0252339
12	95.92783	0.80934198	0.02572318	99.9165935	0.91132769	0.02523393
13	95.4589179	0.91921062	0.02578246	99.8027192	0.89281251	0.02523395
14	97.1358986	1.00077359	0.02580574	99.8341417	0.8621252	0.02523543
15	98.4372086	0.73077303	0.02584629	99.7492062	0.88390681	0.0252377
16	95.5978671	0.95736054	0.02586215	99.7744631	0.86632594	0.02523904
17	93.1041443	0.84928615	0.02599947	99.713828	0.88386157	0.02524157
18	99.5472676	0.69344337	0.02608241	99.7237591	0.89083146	0.02524197
19	92.41849	0.87115242	0.02609634	99.7356131	0.86729067	0.02524265
20	91.4069571	0.83690515	0.02620736	99.7042974	0.88535719	0.02524279
21	95.3511272	1.05130021	0.02629503	99.8305742	0.85210089	0.02524507
22	92.8555198	0.73662508	0.02631231	99.6828338	0.86592797	0.02524899
23	97.7447004	1.13253578	0.0263973	99.6323911	0.88356298	0.02525045
24	94.0233562	0.69982575	0.02646078	99.633292	0.89048194	0.02525187
25	90.5200255	0.70176633	0.026764	99.6895744	0.85909579	0.02525298
26	87.5540264	0.76535499	0.02677008	99.5507384	0.89556802	0.02526327
27	90.6870173	1.02035445	0.02686	99.540548	0.89609949	0.02526469
28	84.7925551	0.75388224	0.02714009	99.5449432	0.90535935	0.02527069
29	96.6700999	1.22766365	0.02724529	99.3049741	0.87192661	0.02528708
30	91.1836613	1.21044835	0.02812423	99.7978891	0.94151731	0.02529172

Los resultados estadísticos se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados estadísticos para el problema de identificación de parámetros.

	DE			μ-DE		
Valor estadístico	K_P	K_D	J_1^2	K_P	K_D	J_2^2
Promedió	95.2519	0.8922	0.02606	99.7769	0.8835	0.02524

A continuación, en la Figura 4, se muestran las curvas que describen la variación de la posición con respecto al tiempo, la línea punteada describe la sintonización de ganancias realizada por DE y la línea continua describe la realizada por μ-DE, en

donde se observa como las curvas llegan a la referencia que es $\frac{3\pi}{4}$, pero μ-DE llega con menos sobre impulso y un poco más rápido que DE.

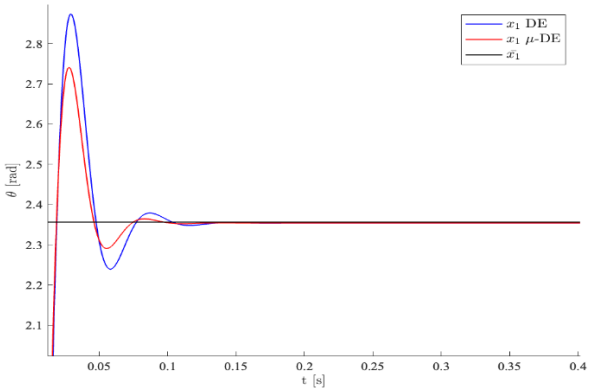


Figura 4. Sintonización valor promedio.

Discusión

En esta sección, se realizará un análisis de resultados con la finalidad de observar las diferencias encontradas al resolver el problema de identificación de parámetros del sistema físico robot manipulador de un grado de libertad y el problema de sintonización de ganancias de un control PD, para un problema de control de regulación.

Como se puede observar en la Tabla 6, en las treinta corridas el valor de la evaluación de la función objetivo obtenido fue menor para *μ−DE* contra el valor obtenido por DE, $J_2^1 < J_1^1$, además que en la Tabla 7, donde se muestran los valores promedio, también $J_2^1 < J_1^1$ y por último se puede observar en la Figura 4, que la curva generada por los parámetros obtenidos por el algoritmo de evolución diferencial para micro poblaciones, es la que se aproxima más a la curva con los parámetros reales del sistema, por lo que se puede decir que para el problema de identificación de parámetros aquellos obtenidos con $\mu - DE$ presentan un mejor desempeño que los obtenidos con *DE*.

Para el problema de sintonización de ganancias de un control PD para un problema de control de regulación, el cual pretende llevar al robot manipulador de un grado de libertad (péndulo simple) a la posición de $\frac{3\pi}{4}$, en las Tablas 6 y 7, se observa que en las treinta corridas, los valores de la evaluación de la función objetivo obtenidas por *μ*

− *DE*, presentaron mejor desempeño que las obtenidas por *DE*, también se observa en la tabla 8, que $J_2^2 < J_1^2$ y por último, como se puede observar en las Figuras 5 y 6, la curva que describe el problema de regulación con las ganancias obtenidas por *μ* − *DE* llega más rápido al estado estacionario, por lo que podemos concluir que las ganancias obtenidas por evolución diferencial presentan un buen desempeño en el control de regulación, pero las que se obtuvieron con *μ* − *DE* presentan un mejor desempeño.

Conclusión

En el presente trabajo se realizó una identificación de parámetros de un péndulo simple y además se realizó una sintonización de ganancias todo esto por medio de la optimización usando el micro algoritmo de evolución diferencial y después se realizó una comparativa entre μ − DE y DE debido a que el algoritmo seleccionado presenta un buen desempeño al realizar las tareas de identificación de parámetros y la de sintonización de ganancias de un controlador PD con respecto al algoritmo canónico, podemos inferir que esta técnica presentara un buen desempeño en un sistema real.

Agradecimientos

Se extiende un cálido agradecimiento al Congreso Nacional de Tecnología CONATEC 2024, por el espacio para la divulgación científica.

Referencias

Abbasi, E., Naghavi, N. (2017). *Offline auto-tuning of a PID controller using extended classifier system (XCS) algorithm*.

Åström, K.J., Hagglund, T. (1995). *PID controllers: Theory, design, and tuning*.

Bennett, S. (1993). *A history of control engineering, 1930-1955. No*. 47). IET.

Flores, C.G., Rodríguez, M.A., Aldape, P.M., Villarreal, C.M.G. (2020). Optimized path-planning in continuous spaces for unmanned aerial vehicles using meta-heuristics. *IEEE Access, 8*: 176774-176788.

Johnson, M.A., Moradi, M.H. (2005). *PID control*. Springer.

Kennedy, J., Eberhart, R.C., Shi, Y. (2001). Chapter seven - *The particle swarm*. In J. Kennedy, R.C. Eberhart, Shi Y. (Eds.), *Swarm intelligence* (pp. 287–325). Morgan Kaufmann.

Nesterov, Y. (2013). Gradient methods for minimizing composite functions. *Mathematical Programming, 140*(1): 125-161.

Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna*. Vol. 3. Prentice-Hall.

Rao, S.S. (2019). *Engineering optimization: Theory and practice*. John Wiley & Sons.

Rodríguez, M.A., Mezura, M.E., Villarreal, C.M.G., Aldape, P.M. (2020). Multi-objective meta-heuristic optimization in intelligent control: A survey on the controller tuning problem. *Applied Soft Computing, 93*: 106342.

Rodríguez, M.A., Villarreal, C.M.G., Serrano, P.O., Solís, R.J., Silva, O.R. (2022). Optimal tuning of the speed control for brushless DC motor based on chaotic online differential evolution. *Mathematics, 10*(12).

Srinivas, M., Patnaik, L. M. (1994). Genetic algorithms: A survey. *Computer, 27*(6): 17-26.

Storn, R., Price, K.V. (1997). Differential evolution – A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization, 11*: 341-359.

Villarreal, C.M.G., Alvarez, G.J. (2016). Off-line PID control tuning for a planar parallel robot using DE variants. *Expert Systems with Applications, 64*: 444-454.

Viveros, J.F., Mezura, M.E., Gelbukh, A. (2012). Empirical analysis of a micro-evolutionary algorithm for numerical optimization. *International Journal of Physical Sciences, 7*(8): 1235-1258.

Ziegler, J.G., Nichols, N. B. (1942). Optimum settings for automatic controllers. *Trans. ASME, 64*(11).

PERTURBACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN RECTANGULAR EN LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

Gabino Estevez-Delgado[1*], Joaquin Estevez-Delgado[2] y José Eduardo Cuevas-Cuevas[1]

[1]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Químico Farmacobiología.* [2]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas.*

*gabino.estevez@umich.mx

Resumen

Una de las variables de influencia en la estimación de la incertidumbre de medida en los procesos de calibración de instrumentos de medición analógicos, es la distribución asociada a la resolución cuya distribución de probabilidad es rectangular. Sin embargo, los valores de alcance de medición de los instrumentos o materiales pueden tener variaciones en su ámbito de trabajo en los extremos debido al deterioro del propio instrumento o de los materiales de referencia, lo que impacta las mediciones, principalmente cuando se hace uso de equipos que si no se realiza una buena validación de la deriva instrumental pueden comprometer los resultados. En esta investigación, se realiza un análisis de la perturbación de la distribución de probabilidad rectangular. Se hace lo anterior, antes de introducirla a la ecuación de propagación de error, esto lo recomienda la guía internacional para la estimación de la incertidumbre medida, lo cual permite realizar una mejor consideración de la incertidumbre, sin ignorar el deterioro que impacta a la deriva instrumental y en consecuencia a las mediciones. A fin de realizar un análisis puntual del efecto de la perturbación en una medición de un cálculo de la densidad de un medio contenido en un cilindro, utilizando un vernier para el diámetro, una regla para la altura y un termómetro, todos instrumentos digitales, se analiza la perturbación del termómetro para el termopar que adquiere los datos de medida del medio. Se encontró que la incertidumbre aumenta al tomar el presupuesto considerando con los grados efectivos de libertad dados por la ecuación de Welch-Satterthwaite, siendo esta una ecuación

útil para complementar las contribuciones de todas las fuentes de incertidumbre incluyendo la de tipo rectangular.

Palabras clave: Ley de propagación de errores, deriva instrumental, coeficiente de sensibilidad.

Introducción

Las exigencias para las empresas que se encuentran acreditadas son cada vez mayores, principalmente en materia de metrología legal y científica. Lo que demanda que las empresas tengan que realizar esfuerzos importantes para mantener su sistema de gestión de calidad trazable, no sólo en los resultados de las mediciones sino en los sistemas de comparación internacional entre empresas. Si bien, estas exigencias pueden parecer demandantes, son la actualización en infraestructura y trazabilidad al sistema internacional de unidades lo que ofrece un mercado atractivo, dado que los usuarios demandan variabilidad mínima en lo que obtienen y que, a su vez, se traduce en tener resultados confiables que serán heredados a próximos usuarios de los servicios o vienes que obtienen. Así, por ejemplo, el mantenimiento de equipos, la sustitución, el remplazo y la evaluación del sistema de calidad se ha traducido en metodologías como lo son las guías técnicas de validación de los métodos, calificación metrológica (CM) y la calificación de equipos e instrumentos de medición analítica (CEIMA), entre otras. Ante la diversidad de exigencias, se han generado guías técnicas apropiadas, en el mejor de los casos, para instrumentos y métodos específicos (Velychko y Gordiyenko, 2019).

Por otro lado, pero complementando las exigencias dadas por la metrología científica, alrededor de las mediciones realizadas en sistema de gestión de calidad regulados por estándares internacionales, tal como ISO 17025, se encuentra el teorema de límite central (Bianchi y Secco, 2021). Este establece que para un conjunto de n mediciones independientes $x_1,\ x_2,\ x_3, \dots, x_n$ sólo es necesario presentar los valores esperados y variación poblacionales (μ, σ^2), respectivamente, lo que comúnmente dentro del campo de la metrología son análogos al error de medida y la incertidumbre

expandida (Damasceno y Couto, 2018). Siendo uno de los fundamentos principales en las mediciones realizadas dentro del sistema metrológico científico y legal (Masharipov *et al.*, 2024).

Derivado de la aplicación del teorema de límite central, utilizado ampliamente dentro de la estadística paramétrica, se expande su aplicación dentro de la metrología científica, asignando diversas funciones de densidad de probabilidad, seccionándose en dos tipos: la que depende de las mediciones directas tomadas de los datos experimentales y llamadas incertidumbres tipo A, principalmente la repetibilidad y reproducibilidad, y las que se asocian de las características metrológicas del instrumentos como son la resolución, la deriva instrumental, histéresis y la información reportada en los certificados de calibración, entre los más importantes. De manera general, toda la información aportada por las incertidumbres tipo A y B son asociadas como componentes que serán tratadas como variabilidades de carácter geométrico a través de la ley de propagación de errores a fin de obtener una componente representativa de todas las variables de influencia que afectan a la dispersión de los datos de medida (Kirkup y Frenkel, 2006).

El tratamiento de las distribuciones de probabilidad asociadas a las mediciones, particularmente aquellas usadas producto de las características instrumentales, son de interés particular debido a que ello depende la calidad de las mediciones realizadas, lo que representa la diferencia entre las mediciones realizadas entre un laboratorio y otro y no sólo a la resolución de los instrumentos de medición y el tamaño de muestra (Demeyer *et al.*, 2022). Esa parte de la diferencia competitiva en la estimación de la incertidumbre es aportada principalmente por la buena estimación de los grados de libertad, que actualmente dentro del campo metrológico lo presenta la fórmula W-S de Welch-Satterthwaite (Cox y O'Hagan, 2022).

Sin embargo, aun cuando la fórmula W-S de Welch-Satterthwaite es una expresión que aporta valor en la determinación del valor de confianza, asociado como factor de cobertura, se requiere tomar algunas consideraciones, como son los datos de las mediciones directas de los instrumentos. En la incertidumbre expandida presentada, después de aplicar la ley de propagación de errores, es necesario tomar las

mediciones directamente de los instrumentos de medición. Por ejemplo, instrumentos de carácter digital se les asocia la distribución rectangular, que, considerando el teorema de límite central, se apreciara un valor constante para la variabilidad asignándole una variación que va como:

$$u = \frac{\Delta a}{\sqrt{12}} \quad (1)$$

Donde u es la incertidumbre estándar para una distribución rectangular, en tanto que Δa es la resolución de la escala de medición del instrumento o la determinación asociada a los estudios de reproducibilidad contra repetibilidad. Lo que puede ser modificado por las condiciones de trabajo, en el caso de sensores usados en la medición directa del instrumento y que no siempre se ven considerados como parte del deterioro natural, llamada deriva instrumental. Es conocido que, la gran mayoría de las personas consideran que un instrumento puede seguir midiendo si este aún emite resultados en la pantalla, pero realmente este no siempre es un valor real a menos que se realice una validación de los resultados emitidos en la pantalla.

Como parte de la búsqueda de respuestas de lo que ocurre con el deterioro de un sensor de temperatura de un termómetro utilizado, se puede valorar los valores históricos del termómetro a lo largo del tiempo e incorporarlos como una perturbación a las mediciones realizadas.

Objetivo

Realizar un estudio comparativo entre dos mediciones volumétricas midiendo como parte de la variable de influencia la temperatura del medio para un cilindro que contiene agua, con la afectación del deterioro del termómetro debido a su termopar y sólo considerando la distribución rectangular asociada a la pantalla del instrumento.

Materiales y métodos

Se realizan 10 mediciones que permiten valorar la densidad del líquido contenido, para el caso del volumen se utilizó: una regla para medir la altura del cilindro y un vernier para la estimación del diámetro. En tanto que, para la medición de la masa se realizaron 10 mediciones con una balanza analítica. A fin de monitorear alguna

posible influencia de la temperatura, se monitorearon las posibles variaciones con un termómetro digital. Los datos instrumentales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de resolución e incertidumbre de los instrumentos.

Característica	Datos de la regla	Datos del vernier	Datos de la balanza	Datos Del termómetro
Resolución	0.1 mm	0.5 mm	0.0001g	0.1 °C
Incertidumbre certificada	0.029 mm	0.037 µm	0.000001 g	0.05 °C

Nota. La incertidumbre certificada es proporcionada de los certificados de calibración para cada instrumento.

Las mediciones realizadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Repetibilidad de las mediciones realizadas para el cilindro y sus condiciones de condiciones ambientales de temperatura y humedad.

Medición	Repetibilidad de la regla (mm)	Repetibilidad del Diámetro con el Vernier (mm)	Repetibilidad de la balanza analítica (g)	Temperatura (°C)	Humedad (%HR)
1	100.1	50.5	0.0019	19	55
2	100.2	50.0	0.0018	20	56
3	100.1	50.5	0.0019	19	57
4	100.0	50.0	0.0019	20	58
5	100.1	50.0	0.0018	20	59
6	99.9	49.5	0.0019	21	60
7	100.1	50.5	0.0019	20	61
8	99.9	50.5	0.0019	20	62
9	100.0	49.5	0.0019	20	63
10	99.8	50.0	0.0019	20	64
Promedio	100.0	50.1	0.00188	19.9	59.5
Desviación estándar	0.12	0.4	4.21637E-05	0.6	3.0

Considerando que la balanza analítica y el vernier son instrumentos cuya resolución son digitales, a estos se les asociará una distribución de probabilidad rectangular, al igual que para el termómetro, siendo este último un periférico que en principio no se considera directamente en el modelo físico para la ecuación de la densidad. Por otro

lado, la regla a considerar es asociada a una función de densidad triangular por ser un instrumento de carácter analógico.

Abonando a la estimación del cálculo del presupuesto de la incertidumbre, se determina primeramente el modelo físico de las mediciones, en este caso, la densidad es considerada como:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2}$$

Siendo *m* la masa promedio obtenida de las mediciones realizadas en la balanza analítica, en tanto que el volumen (V) a su vez se obtiene de considerar que al tratarse de un contenido cilíndrico como:

$$V = \pi r^2 h \tag{3}$$

De tal forma que, al considerar la ecuación (3) en (2), tendremos:

$$\rho = \frac{m}{V\pi r^2 h} \tag{4}$$

Como se observa en esta última ecuación, no existe la influencia de la temperatura, lo cual, de haber un buen control de las condiciones ambientales no debería de ser modificada la densidad. De esta manera, hagamos un análisis de la incertidumbre, en un primer momento sin considerar la posible afectación de los registros de la temperatura y humedad.

Considerando la ley de propagación de errores, de la forma más general, para el caso de la incertidumbre combinada, se tiene:

$$u_c^2(F) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 \left(u(x_i)\right)^2 + 2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} \frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i)u(x_j)r(x_i, x_j) \tag{5}$$

Donde $u(x_i)$ son las incertidumbres asociadas a las características del instrumento y de la medición y $r(x_i, x_j)$ el coeficiente correlación de Pearson, de ser significativa la correlación entre las variables.

Una simplificación, en abreviaturas, es dada cuando se considera que $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ representan el cambio de la variable de medida con respeto a su variación por lo que a este se le

designa con el nombre de coeficiente de sensibilidad, es decir, $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$, de esta forma la ley de propagación de errores (5) se expresa como:

$$u_c^2(F) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 (C_i)^2 + 2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N} \frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j} C_i C_j r(x_i, x_j) \quad (6)$$

Cuando no existe correlación entre las variables de influencia, la expresión se reduce a:

$$u_c^2(F) = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 (C_i)^2 \quad (7)$$

Siendo esta una ecuación bastante sencilla de operar.

Sin embargo, se requiere calcular los coeficientes de sensibilidad del modelo físico. Para nuestro caso tendríamos:

$$C_m = \frac{\partial \rho}{\partial \mathrm{m}} = \frac{1}{V\pi r^2 h} \quad (8)$$

$$C_h = \frac{\partial \rho}{\partial h} = -\frac{m}{V\pi r^2 h^2} \quad (9)$$

$$C_r = \frac{\partial \rho}{\partial \mathrm{m}} = \frac{-2m}{V\pi r^3 h} \quad (10)$$

Por otro lado, el factor de cobertura correspondiente, que nos habla del nivel de confianza dentro de una distribución normal se obtiene de la ecuación siguiente, conocida como la incertidumbre combinada, que es la que nos es dada en los procesos de calibración en los certificados o informes de calibración:

$$U = k u_c(F) \quad (11)$$

Es precisamente el valor de *k*, lo que determina la competencia de los laboratorios de calibración. Al realizar cálculos adicionales, con la fórmula de Welch- Satterthwaite, el nivel de confianza de las mediciones ampara al menos el 95% de confianza *(k=2*), utilizada en la ecuación (11). Para realizar mejores estimaciones estadísticas se consideran los grados efectivos de libertad asociados a las funciones de densidad de probabilidad y se hace uso de la fórmula de Welch-Satterthwaite, para tener una estimación lo más cercana posible a las condiciones de laboratorio, dada como:

$$\frac{1}{\nu_{ef}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{\left(\frac{u_i(F)}{u_c(F)}\right)^2}{\nu_i} \quad (12)$$

Donde ν_i corresponde a los grados efectivos de libertad para cada tipo de contribución de las fuentes representativas, y ν_{ef} representa los grados efectivos. Por último, se hace uso de la distribución t-student, de tal forma que la incertidumbre expandida toma la forma:

$$U = u_c(F)t_p(\nu_{ef}) \quad (13)$$

Retomando los datos de las Tablas 1 y 2 y las consideraciones para los coeficientes de sensibilidad se tiene lo siguiente (Tabla 3).

Tabla 3. Estimación de la incertidumbre considerada en la ley de propagación de errores para la obtención de la densidad volumétrica.

Equipo	Fuente de incertidumbre	$u(x_i)$	Tipo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coeficiente de sensibilidad	Contribución	Grados de libertad
Vernier	Repetibilidad (Mediciones)	0.39	A	Normal	0.12	8×10^{-10}	1×10^{-10}	9
	Certificado de calibración	3.7×10^{-5}	B	Normal k= 2	1.85×10^{-5}		1×10^{-10}	100
	Resolución	0.5	B	Rectangular	0.14		1×10^{-10}	80
Regla	Repetibilidad (Mediciones)	0.123	A	Normal	0.04	1×10^{-10}	1×10^{-10}	9
	Instrumento de medición Certificado de calibración	2.9×10^{-5}	B B	Normal k=2	1.45×10^{-5}		1×10^{-10}	100
	Resolución (Mediciones)	0.1	A	Triangular	0.02		1×10^{-10}	60
Balanza Analítica	Repetibilidad (Mediciones)	1×10^{-3}	A	Normal	3.16×10^{-5}	1×10^{-10}	1×10^{-10}	9
	Instrumento de medición Certificado de calibración	1×10^{-6}	B	Normal k= 2	5×10^{-7}		1×10^{-10}	100
	Resolución	1×10^{-4}	B	Rectangular	2.88×10^{-5}		1×10^{-10}	80
u_c						2×10^{-10}	Grados efectivos de libertad	117
U						4×10^{-10}	k=	2.02

Nota. La obtención de la *K* es un factor de cobertura que representa más del 95% de confianza.

Resultados

Hasta el momento, se ha obtenido estimación del presupuesto de la incertidumbre, sin considerar alguna posible correlación. Sin embargo, al calcular el coeficiente de correlación de Pearson de los datos obtenidos de la temperatura y las mediciones con el Vernier, que aun cuando el valor es de 0.69 este quizá pueda indicar una tendencia y procederemos a incorporarlo en el análisis de la variabilidad para el caso de la distribución asociada, de tipo rectangular.

Recordemos que la función de densidad de probabilidad asociada para la distribución rectangular es dada como el de la figura 1, correspondiente a un esquema gráfico.

$$f(x) = f(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{b-a}, & x\epsilon[a,b] \\ 0, & x \notin [a,b] \end{cases} \tag{14}$$

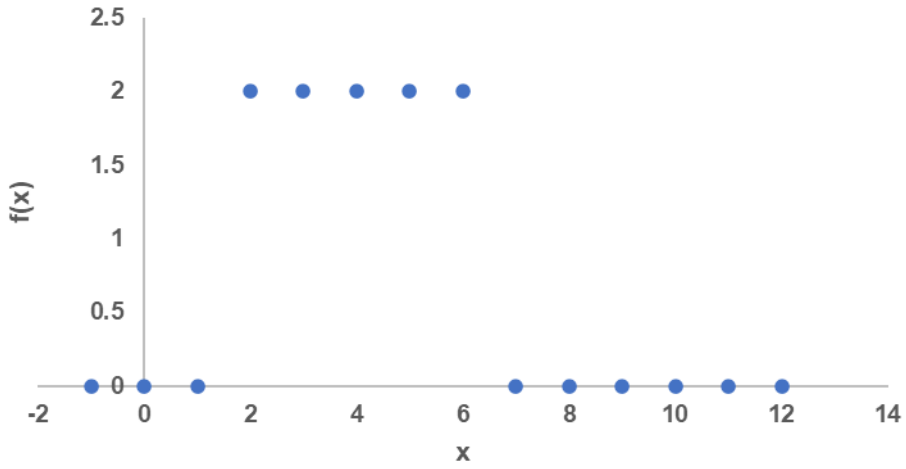


Figura 1. Función rectangular o uniforme.

Se puede afectar ligeramente la consideración de esta uniformidad para la resolución si se aplica la perturbación lineal en el intervalo de las mediciones realizadas del rango de temperaturas de 19 °C a 21 °C, cuyo error de medición, según el certificado de origen para el termómetro, es de 0.01 °C. De esta forma el valor a corregir correspondería al valor de la convolución de la función:

$$f_1(T) = \begin{cases} 0.011, & T\epsilon[19{,}21] \\ 0, & T \notin [19{,}21] \end{cases} \tag{15}$$

En tanto que, la función original rectangular para la resolución es dada como:

$$f_2(x) = \begin{cases} 0.01, & T\epsilon[0,45] \\ 0, & T \notin [0,45] \end{cases} \quad (16)$$

En el ámbito de trabajo entre 0 °C a 45 °C.

Al aplicar la convolución para la corrección de los errores instrumentales, se tiene:

$$f_1(x) * f_2(x) = \begin{cases} 0.00011T + 24, & T\epsilon[0,26] \\ 0.00055, & T\epsilon(26,45] \\ 0.00704 - 0.00011T, & T\epsilon[45,69] \end{cases} \quad (17)$$

Si bien, existen intervalos de corrección, solo se aplicará la corrección con la función en el intervalo de [0,26] que corresponde al intervalo de las mediciones estimadas entre 19 °C a 24 °C, obteniéndose las incertidumbres como (Tabla 4):

Tabla 4. Estimación de la incertidumbre considerada en la ley de propagación de errores para la obtención de la densidad volumétrica, considerando la variación que puede dar el termómetro.

Equipo	Fuente de incertidumbre	$u(x_i)$	Tipo	Distribución	Incertidumbre estándar	Coeficiente de sensibilidad	Contribución	Grados de libertad
Vernier	Repetibilidad (Mediciones)	0.39	A	Normal	0.12		1×10^{-10}	9
	Certificado de calibración	3.7×10^{-5}	B	Normal k = 2	1.85×10^{-5}	8×10^{-10}	1×10^{-10}	100
	Resolución	0.5	B	Rectangular	0.14		1×10^{-10}	80
Regla	Repetibilidad (Mediciones)	0.123	A	Normal	0.04		1×10^{-10}	9
	Instrumento de medición Certificado de calibración Resolución	2.9×10^{-5} 0.1	B B	Normal K=2	1.45×10^{-5}	1×10^{-10}	1×10^{-10}	100
	Resolución (Mediciones)	0.1	A	Normal	0.02		1×10^{-10}	60
Balanza Analítica	Repetibilidad (Mediciones)	1×10^{-3}	A	Normal	3.16×10^{-5}		1×10^{-10}	9
	Instrumento de medición Certificado de calibración	1×10^{-6}	B	Normal k = 2	5×10^{-7}	1×10^{-10}	1×10^{-10}	100
	Resolución	1×10^{-4}	B	Rectangular	0.00		1×10^{-10}	80
Termó-metro	Repetibilidad (Mediciones)	0.07	A	Normal	0.02		2.435×10^{-6}	9
	Instrumento de medición Certificado de calibración	0.05	B	Normal	0.03	1.1×10^{-4}	2.75×10^{-6}	100
	Resolución	0.1	B	Rectangular	0.03		3.1754×10^{-6}	80
u_c						4.8554×10^{-6}	Grados efectivos de libertad	96
U						9.8389×10^{-6}	k=	2.02

Nota. A diferencia de la Tabla 3, esta incluye la aportación de la temperatura en la medición.

Discusión

Se observa que las contribuciones, si bien, al comparar las mediciones de temperatura, no modificaron significativamente la incertidumbre, sí se vio reflejada una modificación en los grados efectivos de libertad, siendo menores cuando se consideran una perturbación como la aplicado mediante la ecuación (17), lo anterior, producto de las contribuciones debidas probablemente a la deriva instrumental del termómetro. Es de destacar que las contribuciones por interpolación son comúnmente despreciadas por los laboratorios de ensayo y calibración debido a que las guías técnicas suelen presentar los casos más simples y no siempre los más reales, ecuación (7) en lugar de (6), lo que pueden generar sobre estimación de la incertidumbre de medida. Con los resultados obtenidos se observa que los grados efectivos de libertad considerados en la fórmula de Welch-Satterthwaite si se modifican, por lo que, de manera ética, conviene no despreciar las correlaciones, sino por el contrario, incluirlas a fin de tener una mejor estimación de la incertidumbre de medida.

Conclusión

Es conveniente hacer uso adecuado la ecuación (6) y no desestimar las interpolaciones entre las variables de influencia a fin de realizar las aportaciones adecuadas de la incertidumbre de medición. Particularmente, el sobre estimar la incertidumbre podría llevar a tener un resultado erróneo en comparaciones interlaboratorios (Ekici y Avci, 2023). De la Tabla 2, se observó que la variabilidad por repetibilidad para los instrumentos involucrados en este estudio no era significativa, lo que conlleva a atribuir los cambios al deterioro instrumental y modificación de la función de densidad rectangular. Se concluye que la aportación rectangular de la función de densidad de termómetro puede generar contribuciones a la incertidumbre a medida que el termopar de acoplamiento genera variaciones en las mediciones, como se observó en las diferencias entre las Tablas 3 y 4.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Referencias

Bianchi, D., Secco, N. (2021). *Misconceptions about the Central Limit Theorem in Uncertainty-based Design Optimiz*ation. In AIAA Scitech 2021 Forum, 1594.

Carbone, P., Macii, D., Petri, D. (2001). *Measurement uncertainty and metrological confirmation in documented quality systems*. In Proc. IMEKO TC4 Symposium, 2: 437-441.

Cox, M., O'Hagan, A. (2022). Meaningful expression of uncertainty in measurement. *Accreditation and Quality Assurance*, 27(1): 19-37.

Damasceno, J.C., Couto, P.R. (2018). *Methods for evaluation of measurement uncertainty*. (Vol. 2). London, UK: IntechOpen.

Demeyer, S., Fischer, N., Elster, C. (2022). Guidance on Bayesian uncertainty evaluation for a class of GUM measurement models. *Metrologia, 58*(1): 014001.

Ekici, C., Avci, Ö. (2023). An International Bilateral Inter-Laboratory Temperature Comparison Measurement. *MAPAN, 38*(3): 569-572.

Internationale, O., Metrology, O. L. (2007). *Guidance ILAC-G24 International*. OIML, D(10).

Kirkup, L., Frenkel, R.B. (2006). *An introduction to uncertainty in measurement: using theGUM (guide to the expression of uncertainty in measurement*). Cambridge University Press.

Le Maître, O.P., Knio, O.M. (2010). *Introduction: Uncertainty quantification and propagation*. In Spectral methods for uncertainty quantification, 1-13.

Masharipov, S.M., Mavlyanov, M.A., Abdumajidov, I.B. (2024). *Metrological requirements of international standard ISO/IEC 17025: 2017 and experimental study questions on metrological traceability of measurement results*. En A. Publishing (Ed.), Conference Proceedings, 2969, No. 1.

Montgomery, D.C. (2019). Introduction to statistical quality control. John wiley & sons.

Velychko, O., Gordiyenko, T. (2019). *Metrological traceability at different measurement levels*. In Standards, Methods and Solutions of Metrology. IntechOpen. IntechOpen.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE MODELOS DE REGRESIÓN SUPERVISADA EN MACHINE LEARNING PARA LA TOMA DE DECISIONES GERENCIALES

Pedro Pablo Chambi-Condori[1*] y Miriam Chambi-Vásquez[2]

[1]*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann;* [2]*Universidad Nacional Mayor de San Marcos*

pchambic@unjbg.edu.pe

Resumen

La regresión multivariante es una herramienta fundamental en la toma de decisiones gerenciales, permitiendo a los líderes empresariales comprender y predecir comportamientos complejos mediante el análisis de múltiples variables simultáneamente. A continuación, se presenta un resumen de cómo esta técnica se integra con recursos de Machine Learning para la toma de decisiones gerenciales. El objetivo del estudio fue evaluar los diversos modelos regresionales ejecutadas en Python bajo el enfoque de machine learning teniendo en cuenta las métricas de precisión que conduzcan a seleccionar el mejor modelo que permita estimar el impacto de las variables que tienen incidencia en el precio de una vivienda, información muy importante tanto para las empresas que desenvuelven en el mercado mobiliario y para las familias que enfrentan situaciones de compra de una vivienda. Para llevar a cabo ese propósito se seleccionó un caso de ventas de una empresa corporativa impactada por factores internos como costos variables, costos fijos y variables exógenas como la volatilidad de entorno, caso multivariante organizando en una dataset con 506 registros diarios. Esta data ha sido sometida al procesamiento bajo el enfoque de machine learning con diversos modelos, dividiendo la data, 70% para fines de entrenamiento del modelo y 30% para fines de evaluación. Los modelos utilizados para el análisis comparativo fueron: modelos de regresión múltiple Ridge Lasso, Árbol de decisiones, Random forest y Redes neuronales, con los que se han generado métricas de evaluación de los resultados obtenidos con los modelos, siendo

ellos: R^2, MAE, MSE y RMSE para evaluar la precisión y fiabilidad del modelo. Obteniendo como resultados en orden de importancia, las mejores evaluaciones con modelos de Gradient Boosting y Random Forest.

Palabras clave: Información gerencial, machine learning, decisiones gerenciales.

Introducción

En un entorno empresarial cada vez más complejo y competitivo, la capacidad para tomar decisiones informadas y basadas en datos es crucial para el éxito y la sostenibilidad de las organizaciones. La toma de decisiones gerenciales efectivas se sustenta en el análisis preciso de información y la identificación de patrones y tendencias significativas. En este contexto, los modelos de regresión supervisada en machine learning emergen como herramientas poderosas para mejorar la calidad de las decisiones al proporcionar predicciones y análisis basados en datos históricos. Los modelos de regresión supervisada son algoritmos de machine learning diseñados para prever valores continuos a partir de datos de entrada. Estos modelos se entrenan utilizando un conjunto de datos etiquetados, donde las relaciones entre las variables independientes y la variable dependiente se aprenden para hacer predicciones precisas sobre nuevos datos. La aplicación de estos modelos en el ámbito gerencial puede transformar la forma en que las empresas abordan problemas como la estimación de ventas, la previsión de demanda, la identificación de riesgos y la optimización de recursos.

La presente evaluación comparativa se enfoca en analizar y comparar la eficacia de diferentes modelos de regresión supervisada en el contexto de la toma de decisiones gerenciales. A través de una revisión exhaustiva de técnicas como la regresión lineal, la regresión polinómica, la regresión de soporte vectorial y los árboles de decisión, entre otros, se busca identificar cuál de estos modelos ofrece el mejor rendimiento en términos de precisión, robustez y aplicabilidad a casos reales de toma de decisiones. Esta investigación no solo evalúa el desempeño de los modelos en función de métricas estadísticas y técnicas, sino que también considera aspectos prácticos,

como la interpretabilidad de los resultados y la facilidad de implementación en entornos empresariales. Al proporcionar una visión integral sobre las ventajas y limitaciones de cada modelo, esta evaluación pretende ofrecer recomendaciones prácticas para gerentes y profesionales que buscan integrar machine learning en sus procesos de toma de decisiones.

En relación con los antecedentes que tiene el tema, en la Tabla 1 se presenta el estado del arte que resume la evaluación comparativa de modelos de regresión supervisada en machine learning para la toma de decisiones gerenciales. Esta tabla incluye el título del artículo, los autores, el año de publicación y el medio de publicación, además, proporciona una visión general de los estudios relevantes en el campo de la evaluación comparativa de modelos de regresión supervisada, destacando investigaciones que pueden ser útiles para comprender las tendencias actuales y las mejores prácticas en el uso de machine learning para la toma de decisiones gerenciales.

El uso de métricas estadísticas, se evidenciaron en los estudios de Tatacher (2021) calificando a los modelos de regresión como técnicas poderosas de aprendizaje automático para hacer estimaciones y pronósticos de relaciones entre las variables mediante las métricas de evaluación de MSE, MAE y R^2. Por otro lado, Kumar y Singh (2024) y Sihombing *et al.* (2024) también valoran positivamente el modelamiento de aprendizaje automático con modelos de regresión lineal, bosques aleatorios, regresión de vectores de soporte (SVR) entre otras. Asimismo, Aco *et al.* (2023) utilizaron las métricas MSE, MAE y R^2, para los modelos regresión, redes neuronales, árbol de decisiones y SVR para modelar el caso de deserción de estudiantes universitarios.

Tabla 1. Estado del arte de modelamiento regresión lineal múltiple (Elaboración propia).

Título del Documento	Autores	Año	Medio de Publicación
Econometría.	Gujarati, D., Porter, C.	2010	Mc Graw Hill
Introduction to Machine Learning with Python.	Muller, A., Guido, S.	2016	O'reilly Inc.
Deserción universitaria: Evaluación de diferentes algoritmos de Machine Learning para su predicción.	Valero *et al.*	2021	Revista de Ciencias Sociales (Ve)
Comparative Assessment of Regression Models Based On Model Evaluation Metrics.	Tatachar, A.	2021	International Research Journal of Engineering and Technology
Análisis comparativo de Técnicas de Machine Learning para la predicción de casos de deserción universitaria.	Aco *et al.*	2023	Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Introduction to the Use of Linear and Nonlinear Regression Analysis in Quantitative Biological Assays.	Jarantow *et al.*	2023	Current Protocols
An Introduction to Statistical Learning wirh Python.	James *et al.*	2023	Springer
A Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms for Predictive Analytics in Healthcare.	Pal, S.	2024	Heritage Research Journal
Machine learning in business process management: A systematic literature review.	Weinzier *et al.*	2024	Expert Systems With Applications
Comparison of Regression Analysis with Machine Learning Supervised Predictive Model Techniques.	Sihombing *et al.*	2024	Jurnal Ekonomi Dan Statistik Indonesia
Analyzing the Impact of Machine Learning Algorithms on Risk Management and Fraud Detection in Financial Institution	Kumar, D., Singh, S.	2024	International Journal of Research Publication and Reviews

Objetivo

El objetivo del estudio fue evaluar los diversos modelos regresionales ejecutadas en Python bajo el enfoque de machine learning teniendo en cuenta las métricas de precisión que conduzcan a seleccionar el mejor modelo que permita estimar el impacto de las variables que tienen incidencia en el precio de una vivienda.

Materiales y métodos

La dataset utilizado para el análisis comparativo se obtuvo de scikit-learn.org con el nombre de “housing_data_for_regression.csv” que tiene 506 registros, 13 variables independientes que tienen incidencia en la variable dependiente de precio de ventas de viviendas.

Para el procesamiento de datos se utilizó el modelo de regresión lineal múltiple de la forma expresada en Gujarati & Porter (2010), el modelo de regresión múltiple que incluye a $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon$

En donde Y: es la variable impactada por los factores que tienen en su comportamiento, que en este caso es el precio de una vivienda.

β: es el coeficiente que denota el grado de impacto en Y que expresa una variable explicando.

i: 1, …n: número de factores que intervienen en el modelo.

ε: ruído blanco. (Gujarati y Porter, 188).

De acuerdo al procedimiento trazado en Muller y Guido (2016) y James *et al.* (2023), ya estando en el editor de Python se procedió a cargar las librerías, para luego se procedió a cargar la dataset al Jupyter Notebook o Google Colab, paso seguido se procedió a ejecutar el preprocesamiento de datos que incluye la limpieza haciendo que todos los datos sean del tipo numérico y que estén exentas de campos vacíos, para luego llevar a cabo la normalización de los datos, seguidamente se dividió la dataset en dos grupos: el grupo entrenamiento de 70% y 30% para el test, ejecutando las líneas de código en Python para para generar las métricas con diferentes modelos para evaluar y discriminar de entre todos los mejores indicadores obtenidos. Se utilizaron los modelos: regresión lineal, regresión Ridge, regresión Lasso, árboles de

decisiones, gradiente Boosting, regresión de soporte vectorial y redes Neuronales para obtener las métricas MSE (error cuadrático medio, MAE (diferencia entre el valor estimado y el valor real en cada punto estimado) y R^2 (coeficiente de determinación), para calificar la precisión del mejor modelo para el caso específico en estudio.

Resultados

Con la aplicación de los diversos modelos bajo el enfoque de machine learning se obtuvieron los resultados que se aprecian en la Tabla 2 y en la Figura 1 que a partir del análisis comparativo de los tres indicadores: MSE, MAE y R^2, se concluye, en este caso específico el modelo que dio mayores valores de precisión en las tres métricas utilizadas, la tiene el modelo de Gradient Boosting seguido del modelo de Random Forest y teniendo en cuenta el coeficiente de determinación evidencia al 81.75% de ventas explicada por las variables independientes del modelo.

Tabla 2. Métrica de los modelos aplicados obtenida con los datos de la muestra.

MODELO	MSE	MAE	R^2
Linear Regression	16.4954	3.0559	0.7439
Ridge Regression	15.8978	3.0537	0.7532
Lasso Regression	23.1552	3.7513	0.6405
Decisión Tree	17.9383	3.1127	0.7215
Random Forest	13.5971	2.4489	0.7889
Gradient Boosting	11.7538	2.2844	0.8175
Support Vector Regression	48.1511	4.7470	0.2524
Neural Network	57.8383	6.6356	0.1020

Nota: MSE : error cuadrático medio. MAE: error absoluto medio.
R^2; coeficiente de determinación, medida de la precisión del modelo.

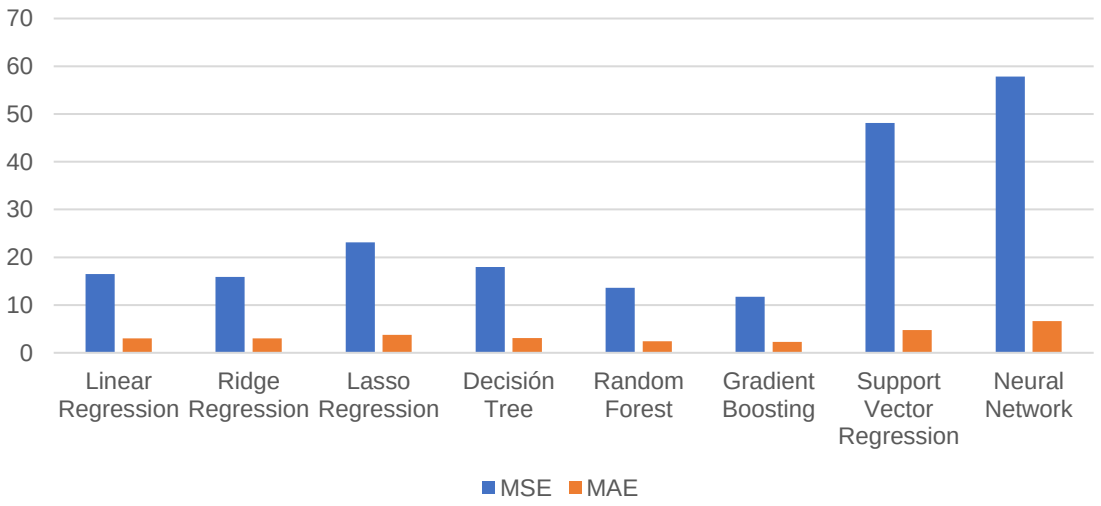


Figura 1. Evaluación comparativa del modelo de regresión obtenida con los datos de los resultados de la Tabla 2.

Discusión

En el contexto actual en el contexto de los negocios, la toma de decisiones basada en datos ha pasado de ser una ventaja competitiva a una necesidad fundamental. La creciente complejidad y la alta competencia en el mercado han incrementado la importancia de herramientas analíticas avanzadas que permitan a las organizaciones no solo interpretar datos, sino también hacer predicciones que puedan guiar la estrategia y las operaciones. Así la tecnología computacional alrededor de minería de datos y big data y el enfoque de machine learning y Deep learning ofrecen soluciones robustas que contribuyen en la calidad en la toma de decisiones gerenciales. En ese sentido los resultados encontrados en el estudio van en concordancia con los resultados de los estudios de Aco *et al.* (2023), Sihombing *et al.* (2023) y Alí *et al.* (2024) en sus estudios utilizaron las métricas cuantitativas de MSE, MAE y R^2 para expresar la precisión evidenciando la capacidad de ajuste que tienen cada uno de ellos. En la evaluación realizada en el estudio, se ha seleccionado como el mejor modelo a Gradient Boosting evaluando las tres métricas de precisión superando considerablemente a otros modelos, sin embargo, es preciso señalar que los resultados que se puedan obtener con cada modelo dependen del caso específico en estudio.

La capacidad de elegir el modelo adecuado de regresión supervisada puede tener un impacto significativo en la calidad de las decisiones gerenciales. La elección debe basarse no solo en la precisión del modelo, sino también en su alineación con los objetivos estratégicos de la empresa, la facilidad con que los resultados pueden ser interpretados y comunicados, y la viabilidad de su implementación en los sistemas existentes. Las recomendaciones derivadas de esta evaluación comparativa pretenden guiar a los gerentes en la selección de modelos que optimicen la toma de decisiones y se alineen con las necesidades y capacidades específicas de su organización.

Conclusión

La integración de modelos de regresión supervisada en los procesos de toma de decisiones gerenciales puede ofrecer beneficios significativos, siempre y cuando se seleccionen y apliquen de manera adecuada. La presente evaluación comparativa proporciona una base para comprender las fortalezas y limitaciones de cada modelo, facilitando una toma de decisiones más informada y efectiva en un entorno empresarial cada vez más cambiante.

Agradecimientos

Mi gratitud a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por concederme todas las facilidades para realizar el trabajo de investigación.

Referencias

Aco, A., Hancco, B., Pérez, Y. (2023). Análisis comparativo de Técnicas de Machine Learning para la predicción de casos de deserción universitaria. RISTI - *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*. https://doi.org/10.17013/risti.51.84-98

Ali, R., Xu, J., Baig, M.H., Rehman, H.S.U., Waqas Aslam, M., Qasim, K.U. (2024). From data to decisions: enhancing financial forecasts with LSTM for AI token prices. *Journal of Economic Studies*, https://doi.org/10.1108/JES-01-2024-0022

Gujarati, D., Porter, C. (2010). *Econometría*. Quinta edición. Mc Graw Hill, México DF.

James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. (2023). *An Introduction to Statistical Learning with Python*. Springer.

Jarantow, S.W., Pisors, E.D., Chiu, M.L. (2023). Introduction to the use of linear and nonlinear regression analysis in quantitative biological assays. *Current Protocols*, 3, e801. doi: 10.1002/cpz1.801

Kumar, D., Singh, S. (2024). Analyzing the Impact of Machine Learning Algorithms on Risk Management and Fraud Detection in Financial Institution*. International Journal of Research Publication and Reviews.* http://dx.doi.org/10.55248/gengpi.5.0524.1135

Mohd.Ariffin, N. Mohamed.Iqbal, M, Yusoff, M., Mohd, N. (2024). *A* Study on the Best Classification Method for an Intelligent Phishing Website Detection System. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*. https://doi.org/10.37934/araset.48.2.197210

Muller, A., Guido, S. (2016*). Introduction to Machine Learning with Python*. O´Reilly Books.

Pal, S. (2024*).* A Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms for Predictive Analytics in Healthcare. Heritage Research Journal ISSN No: 0474-9030.

Sihombing, P.R., Budiantono, S., Arsani, A.M., Aritonang, T.M., Kurniawan, M.A. (2023). Comparison of Regression Analysis with Machine Learning Supervised Predictive Model Techniques . *Jurnal Ekonomi Dan Statistik Indonesia, 3*(2): 113-118. https://doi.org/10.1594/jesi.03.02.03

Tatachar, A. (2021). *Comparative* Assessment of Regression Models Based On Model Evaluation Metrics. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).

Valero, J., Navarro, A., Larios, A., Julca, J. (2021). Deserción universitaria: Evaluación de diferentes algoritmos de Machine Learning para su predicción. *Revista de Ciencias Sociales* (Ve).

Weinzierl, S., Zilker, S., Dunzer, S., Matzner, M, (2024). Machine learning in business process management: A systematic literature review. Expert Systems with Applications. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124181

ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE *Bacillus* SPP. CONTRA *Fusarium verticillioides* Y *Alternaria solani*

Raquel Rubio-González, Israel Méndez-Meza, Lucina Hernández-Martínez, Alejandro Hernández-Morales*

Escuela de Bioquímica, Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

*alejandro.hernandez@uaslp.mx

Resumen

Fusarium verticillioides y *Alternaria solani* son dos hongos fitopatógenos que causan enfermedades en cereales y solanáceas. Una alternativa para el control de estos fitopatógenos son las bacterias del género *Bacillus* que producen lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles que inhiben el desarrollo de hongos. El objetivo de este trabajo fue determinar la actividad inhibitoria de cinco aislados de *Bacillus* spp. contra *F. verticillioides* y *A. solani*. Para evaluar la inhibición, los hongos se sembraron en placas de PDA envenenadas con sobrenadante de los cultivos bacterianos; mientras que el efecto de los volátiles se determinó mediante la técnica de placa dividida. Se realizaron tres réplicas por tratamiento más un control positivo con la cepa *Bacillus subtilis* Q11. Además, se amplificaron los genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos mediante la reacción de PCR. Los resultados obtenidos indican que *Bacillus* sp. CIS52, CIS53 y CIS54 poseen los genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos del tipo iturinas, surfactinas y fengicinas; mientras que *Bacillus* sp. CIS45, iturinas y surfactinas; *Bacillus* sp. CIS49 fengicinas y *B. subtilis* Q11, iturinas; sugiriendo que pueden sintetizar al menos un tipo de lipopéptido. Aunque los aislados sintetizan lipopéptidos, solo inhibieron el desarrollo de *F. verticillioides*, siendo *Bacillus* sp. CIS49 la bacteria con mejor efecto. Respecto a los volátiles, sólo se observó inhibición de *A. solani* en un rango del 48.75 % al 67.73 %. Los resultados indican que *F. verticillioides* es inhibido por compuestos tipo lipopéptidos, mientras que *A. solani* es inhibido por volátiles sintetizados por *Bacillus* sp. En conclusión, los aislados de *Bacillus* spp. poseen actividad inhibitoria contra *F. verticillioides* y *A. solani*.

Palabras clave: Biocontrol, inhibición, hongos fitopatógenos.

Introducción

La actividad agrícola genera aproximadamente el 80% de los alimentos que se consumen a nivel mundial y contribuye al desarrollo económico, social y ambiental (Villarreal *et al.*, 2018). Sin embargo, es afectada por diferentes factores ambientales entre los que se encuentran las enfermedades causadas por fitopatógenos. Las enfermedades en plantas provocan pérdidas anuales estimadas entre el 10 al 15 % en los principales cultivos del mundo, con pérdidas económicas directas de hasta cientos de miles de millones de dólares. De estas enfermedades, el 70-80% son causadas por hongos fitopatógenos.

En los últimos años, las enfermedades fúngicas de los cultivos se han vuelto cada vez más graves, ya que afectan el rendimiento y la calidad de los cultivos (Peng *et al.*, 2021), entre estas se encuentran las patologías causadas por *Fusarium verticillioides* y *Alternaria solani*.

F. verticillioides es un patógeno necrótrofo por la capacidad que tiene de causar la muerte del tejido hospedero y sobrevive como saprófito en el rastrojo, siendo transmitido por el suelo hacia la planta hospedera, el maíz (*Zea mays* L.). *F. verticillioides* es responsable de importantes pérdidas de rendimiento al causar pudrición de raíces, tallos y mazorcas, y pérdidas en la calidad debido a la acumulación de micotoxinas en los granos (Einloft *et al.*, 2021). Las fumonisinas son las principales toxinas que se sintetizan en el tejido del hospedero y en los granos del maíz, disminuyen la calidad e inducen toxicidad pleiotrópica en animales, incluyendo neurotoxicidad, nefrotoxicidad y hepatotoxicidad con un impacto relevante en la salud humana (Liu *et al.*, 2019).

A. solani causa enfermedades en el follaje (tizón temprano), tallos basales de plántulas (podredumbre del cuello), tallos de plantas adultas (lesiones del tallo) y frutos (podredumbre del fruto) del tomate. El tizón temprano es la enfermedad más destructiva en especies de la familia de las solanáceas entre las cuales se encuentra el tomate, la berenjena y la papa (Chaerani y Voorrips, 2006). En las plántulas,

primero se desarrollan manchas oscuras en los cotiledones, tallos y hojas verdaderas, mientras que en las hojas de la parte inferior de las plantas más viejas aparecen manchas de color marrón oscuro con anillos concéntricos oscuros. Luego se produce una defoliación severa debido a la muerte de las hojas afectadas (Muimba, 2018).

Existen diversos compuestos químicos tales como plaguicidas y fungicidas para controlar a los hongos fitopatógenos. Sin embargo, son tóxicos para el ser humano, contaminan los suelos y mantos acuíferos e incrementan el costo de la producción. Asimismo, se ha demostrado que contribuyen a la generación de resistencia en hongos fitopatógenos. Por lo que es necesario buscar alternativas sustentables para el control de los fitopatógenos fúngicos (Villarreal *et al.*, 2018). Una alternativa sustentable es el uso de bacterias del género *Bacillus*, las cuales producen lipopéptidos antifúngicos como las fengicinas, surfactinas e iturinas que inhiben el desarrollo de gran variedad de hongos fitopatógenos (Harwood *et al.*, 2018).

Adicionalmente se ha demostrado que especies pertenecientes al género *Bacillus* producen compuestos orgánicos volátiles entre los que se encuentran la acetoína, benzaldehído, benzotiazol y acetofenona que inhiben el desarrollo de hongos fitopatógenos (Grahovac *et al.*, 2023). Debido a las características mencionadas, el género *Bacillus* spp. posee amplio potencial para el desarrollo de bioformulados con efecto antifúngico. Por lo que el propósito de esta investigación es evaluar el efecto inhibitorio de cinco aislados de *Bacillus* spp. contra *F. verticillioides* y *A. solani* y determinar si el efecto antifúngico es mediado por lipopéptidos o compuestos orgánicos volátiles.

Objetivo

Determinar el efecto de lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles de *Bacillus* spp. contra *Fusarium verticillioides* y *Alternaria solani*.

Materiales y métodos

Microorganismos utilizados

Los aislados de *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 se recuperaron del cepario del Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Estudios Profesionales

Zona Huasteca. Las cepas de *Bacillus subtilis* Q11, *Fusarium verticillioides* y *Alternaria solani* fueron donadas por la empresa SinQuimia SA de CV.

Obtención de lipopéptidos y técnica de alimento envenenado

Los aislados de *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 se inocularon en 10 mL de caldo LB y se incubaron a 30 ºC con agitación a 200 rpm durante toda la noche. Una alícuota de los cultivos se transfirió a 200 mL de caldo LB y se incubó a 30 ºC con agitación a 200 rpm durante 120 h de fermentación (Cao *et al.*, 2012). Transcurrido el tiempo de incubación, se recuperó el sobrenadante mediante centrifugación a 13000 rpm durante 30 min y se guardó en refrigeración hasta su uso. Para la técnica de alimento envenenado se utilizó la metodología propuesta por Erhonyota *et al.* (2023). Para ello, se pesó el agar dextrosa papa (PDA) y se disolvió en el sobrenadante recuperado de cada cultivo. El medio se esterilizó a 120 ºC, 15 lb de presión durante 15 minutos. El medio se dejó enfriar y se vertió en placas de Petri de 100 x 15 mm. Para el ensayo de inhibición, un disco de micelio de 0.5 cm de cada uno de los hongos se inoculó en el centro de las placas de PDA envenenadas. Como control positivo se utilizaron placas de PDA preparadas con el sobrenadante de *B. subtilis* Q11. Para el control negativo el disco de micelio de cada hongo se sembró en placas de PDA que no contenían sobrenadante. Las placas se incubaron a 30 ºC durante una semana y se monitoreó comparando el desarrollo de los tratamientos con respecto a la placa control en medio PDA. Se realizaron tres réplicas por tratamiento, incluyendo el control positivo y negativo. El análisis estadístico se realizó en el programa Graphad V10. El análisis de varianza (ANOVA) se realizó mediante la comparación de medias por el método Tukey. *terminación de genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos*

Se obtuvo DNA de los cinco aislados de *Bacillus* sp. y *B. subtilis* Q11 utilizando el kit GeneJET Genomic DNA Purification K0721 (Thermo SCIENTIFIC). Se utilizaron los oligonucleótidos reportados por Cao et al., (2012) para amplificar los genes de las principales familias de lipopéptidos (*ituD* y *bamC*), surfactinas (*srfAB*) y fengicinas (*fenB*). Las condiciones para la reacción en cadena de la polimerasa fueron las siguientes, desnaturalización: 95 °C -10 min, 35 ciclos de 95 °C -30 segundos, 55 °C

-30 segundos, 72 °C -1 min, extensión final 72 °C -5 min. Los productos obtenidos se tiñeron GelRed (Química Valaner) y se visualizaron en un transluminador Solo Elite Vision.

Evaluación del efecto de los compuestos orgánicos volátiles

La técnica de placa dividida se realizó de acuerdo con lo reportado por Kong *et al.* (2020). En una placa de Petri con dos divisiones se vertió agar LB y PDA de manera independiente. En el medio LB se inoculó cada una de las bacterias a evaluar, mientras que en el agar PDA se colocó un disco de micelio de *F. verticillioides* o *A. solani*. Se realizaron tres réplicas por tratamiento más el control positivo con *B. subtilis* Q11 y un control negativo en el cual se inoculó el disco de micelio en agar PDA, mientras que en la división con agar LB sin inoculación. El análisis estadístico se realizó en el programa Graphad V10. El análisis de varianza (ANOVA) se realizó mediante la comparación de medias por el método Tukey.

Resultados

Determinación del efecto de Bacillus spp. contra F. verticillioides

Para determinar si los aislados de *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 producen lipopéptidos, se obtuvieron compuestos extracelulares sintetizados durante 120 h de fermentación en caldo LB. *F. verticillioides* se cultivó en las placas envenenadas y se monitoreó el desarrollo del hongo en cada uno de los tratamientos y se comparó con el crecimiento en las placas de PDA utilizadas como control negativo. Los resultados indican que *Bacillus* sp. CIS49 es el aislado que muestra mayor efecto inhibitorio en el desarrollo de *F. verticillioides* en un 34% ($p < 0.05$), mientras que los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 ejercen menor inhibición en un 20% aproximadamente (Figura 1).

Para determinar el efecto antagónico mediado por compuestos orgánicos volátiles los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 se co-cultivaron con *F. verticillioides*, utilizando la técnica de placa dividida. Los resultados mostraron desarrollo similar de *F. verticillioides* en los tratamientos y en el control negativo, sugiriendo que los compuestos orgánicos volátiles producidos por

los aislados de *Bacillus* spp. y *B. subtilis* SQ11 carecen de efecto inhibitorio contra el hongo (Figura 1).

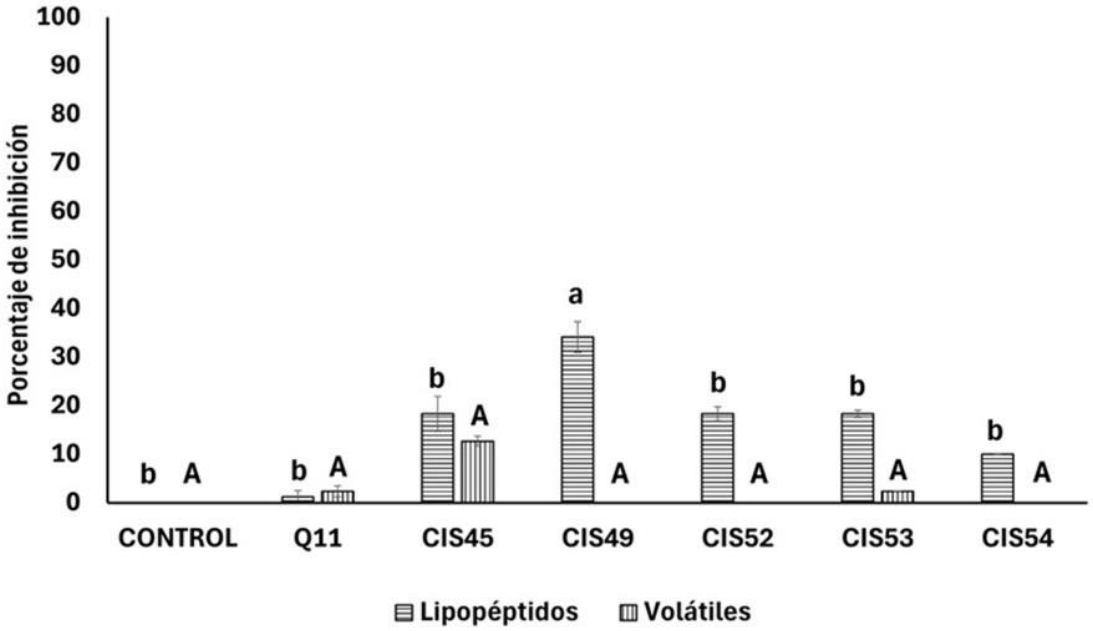


Figura 1. Efecto de lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles de *Bacillus* spp. contra *Fusarium verticillioides*. Nota: Letras distintas indican diferencia significativa p < 0.05.

Determinación del efecto de Bacillus spp. contra A. solani

Para determinar el efecto inhibitorio de los lipopéptidos sintetizados por *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 contra *A. solani*, se obtuvieron compuestos extracelulares producidos durante 120 h de fermentación en caldo LB. *A. solani* se cultivó en las placas envenenadas y se monitoreó el desarrollo en cada uno de los tratamientos con respecto al crecimiento en las placas control. Los resultados muestran desarrollo similar de *A. solani* en los tratamientos y en los controles, sugiriendo que los compuestos extracelulares producidos por los cinco aislados de *Bacillus* spp. carecen de efecto inhibitorio contra el hongo. El análisis estadístico muestra que el desarrollo de *A. solani* en los tratamientos es no significativo con respecto a los controles.

En lo que respecta al efecto de los compuestos orgánicos volátiles los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 se co-cultivaron con *A. solani* en placas con dos divisiones. Se observó inhibición del desarrollo de *A. solani* cuando se co-cultivó con los aislados y con la cepa *B. subtilis* Q11, con porcentajes de inhibición desde 48.75 ± 10.62% para *Bacillus* sp. CIS45, mientras que, para el resto de los aislados y la cepa *B. subtilis* Q11 se observaron porcentajes de inhibición mayores al 60%. El análisis estadístico muestra que todos los tratamientos son similares entre sí, pero diferentes al control negativo, lo cual indica que los compuestos orgánicos volátiles sintetizados por aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 inhiben el desarrollo de *A. solani* (Figura 2).

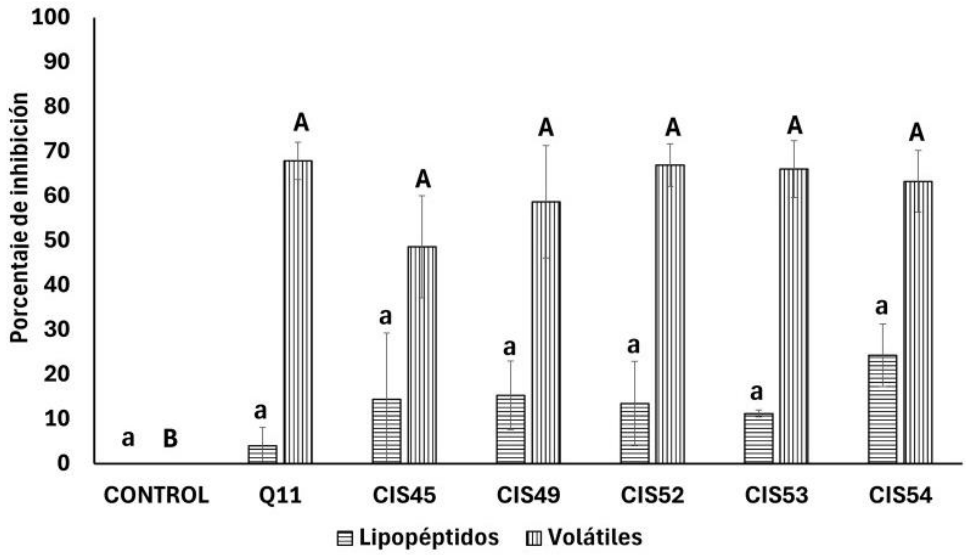


Figura 2. Efecto de lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles de *Bacillus* spp. contra *Alternaria solani*. Nota: Letras distintas indican diferencia significativa p < 0.05.

Identificación de los genes involucrados en la síntesis de lipopéptidos

Uno de los principales metabolitos que producen los *Bacillus* sp. son los lipopéptidos, los cuales han sido clasificados en tres familias iturinas, surfactinas y fengicinas. Para determinar si los *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54 poseen los genes para la síntesis de lipopéptidos se extrajo DNA y se amplificaron los genes involucrados en la síntesis lipopéptidos. Se amplificaron los genes *bamC* e *ituD*

involucrados en la síntesis de iturinas, *srfAB* para la síntesis de surfactinas y *fenB* para las fengicinas. En la reacción de PCR se obtuvieron productos de amplificación con los tamaños esperados *bamC*, 850 pb; *ituD*, 647 pb; *srfAB*, 308 pb y fenB, 767 pb. En *Bacillus* sp. CIS45 se identificaron los genes *ituD* y *srfAB*, mientras que en *Bacillus* sp. CIS49 se identificó el gen *fenB*. Para el resto de los aislados *Bacillus* sp. CIS52, CIS53 y CIS54 se amplificaron los cuatro genes *bamC*, *ituD*, *srfAB* y *fenB* (Tabla 1). Los resultados sugieren que los cinco aislados podrían producir al menos un tipo de lipopéptido. En cuanto a la cepa *B. subtilis* Q11 solo se identificó el gen *ituD*.

Tabla 1. Genes identificados en *Bacillus* spp.

Familia	Gen	Q11	CIS45	CIS49	CIS52	CIS53	CIS54
Iturinas	*bamC*	nd	nd	Nd	+	+	+
	ituD	+	+	Nd	+	+	+
Surfactinas	*srfAB*	nd	+	Nd	+	+	+
Fengicinas	*fenB*	nd	nd	+	+	+	+

Discusión

El género *Bacillus* comprende más de 60 especies ampliamente distribuidas en la naturaleza, se encuentran en el suelo, asociados a las raíces de las plantas y se propagan hacia el agua, plantas y animales (Villarreal et al., 2018). La colonización de las raíces por bacterias del género *Bacillus* es benéfica para la planta huésped. Las plantas proporcionan los nutrientes, mientras que *Bacillus* proporciona compuestos bacterianos y actividades que estimulan el crecimiento vegetal y brindan protección contra fitopatógenos (Hashem et al., 2019). La capacidad antagónica de los *Bacillus* está mediada por compuestos denominados lipopéptidos y compuestos orgánicos volátiles que inhiben el desarrollo de hongos fitopatógenos (Shafi *et al.*, 2017; Villarreal *et al.*, 2018; Valenzuela *et al.*, 2024). Los lipopéptidos se han clasificado en tres familias iturinas, surfactinas y fengicinas, son potentes disruptores de la integridad estructural, al digerir componentes de la envoltura celular, ya sea por lisis o inhibición de la biosíntesis de membrana. Los lipopéptidos pueden agregarse

de manera selectiva, formando poros que permiten el paso descontrolado de iones y otros solutos a través de los canales, conduciendo a la muerte celular.

Para determinar si los cinco aislados de *Bacillus* sintetizan lipopéptidos, se amplificaron los genes involucrados en la síntesis de iturinas, surfactinas y fengicinas. Los resultados obtenidos sugieren que *Bacillus* sp. CIS45 sintetiza iturinas y surfactinas, *Bacillus* sp. CIS49 fengicinas, mientras que *Bacillus* sp. CIS52, CIS53 y CIS54 los tres tipos de lipopéptidos iturinas, surfactinas y fengicinas. En lo que respecta al efecto antagónico se encontró efecto moderado de *Bacillus* sp. CIS49 contra *F. verticillioides*; mientras que el resto de los aislados y la cepa *B. subtilis* Q11 carecen de efecto inhibitorio. Respecto a *A. solani* ninguno de los cinco aislados ni la cepa *B. subtilis* Q11 mostraron efecto inhibitorio. Los resultados difieren de los reportados previamente por otros autores quienes reportaron una fuerte inhibición de *F. verticillioides* por lipopéptidos de *B. velezensis* sintetizados durante 72 h de fermentación (Dinitz *et al.*, 2024). Mientras que Zhang *et al.* (2022) reportaron la inhibición de *A. solani* por lipopéptidos de *B. subtilis* producidos durante 12 horas de fermentación. Por lo que es necesario reducir los tiempos de fermentación, analizar la expresión de los genes y comprobar la producción de los lipopéptidos por los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54.

En lo que respecta a la inhibición mediada por compuestos orgánicos volátiles se observó que los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53, CIS54 y la cepa *B. subtilis* Q11 inhiben el desarrollo de *A. solani*, mientras que en *F. verticillioides* no se observó inhibición. Se han reportado que *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y *B. cereus* producen compuestos orgánicos volátiles que inhiben el desarrollo de hongos fitopatógenos. En general los volátiles se clasifican en el grupo de alcoholes, cetonas y benzotiazoles (Grahovac et al., 2023). Si bien, en este estudio no se identificaron los compuestos orgánicos volátiles es probable que el efecto observado en *A. solani* se deba a metabolitos previamente reportados para el género *Bacillus* sp. Finalmente, es necesario identificar los compuestos orgánicos volátiles sintetizados por los aislados *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54.

Conclusión

Los bacilos estudiados inhiben el desarrollo de los hongos fitopatógenos, siendo *Bacillus* sp. CIS49 el aislado que muestra mayor efecto inhibitorio contra *F. verticillioides*, este efecto podría deberse a lipopéptidos de la familia de las fengicinas. Respecto a los volátiles, *A. solani* es inhibido por los compuestos orgánicos volátiles sintetizados por *Bacillus* sp. CIS45, CIS49, CIS52, CIS53 y CIS54. En general, los lipopéptidos inhiben el desarrollo de *F. verticillioides* y los compuestos orgánicos volátiles inhiben el desarrollo de *A. solani*.

Agradecimientos

El trabajo se realizó con el apoyo del Programa Presupuestario F003 CB2017-2018 (antes Fondo Sectorial de Investigación para la Educación CONACYT). Número de proyecto A1-S-40454. Lucina Hernández-Martínez agradece a CONAHCYT por la beca otorgada para los estudios de Maestría en Ciencias Bioquímicas con número de CVU 1230688.

Referencias

Cao, Y., Xu, Z., Ling, N., Yuan, Y., Yang, X., Chen, L., Shen, B., Shen, Q. (2012). Isolation and identification of lipopeptides produced by *B. subtilis* SQR 9 for suppressing *Fusarium* wilt of cucumber. *Scientia Horticulturae*, *135*. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.002

Chaerani, R., Voorrips, R.E. (2006). Tomato early blight (*Alternaria solani*): The pathogen, genetics, and breeding for resistance. In *Journal of General Plant Pathology, 72*(6). https://doi.org/10.1007/s10327-006-0299-3

Diniz, G. de F.D., Figueiredo, J.E.F., Canuto, K.M., Cota, L.V., Souza, A.S. de Q., Simeone, M.L.F., Tinoco, S.M. de S., Ribeiro, P.R.V., Ferreira, L.V.S., Marins, M.S., Oliveira, P.C.A., Dos Santos, V.L. (2024). Chemical and genetic characterization of lipopeptides from *Bacillus velezensis* and *Paenibacillus ottowii* with activity against *Fusarium verticillioides*. *Frontiers in Microbiology*, *15*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1443327

Einloft, T.C., Hartke, S., De Oliveira, P.B., Saraiva, P.S., Dionello, R.G. (2021). Selection of rhizobacteria for biocontrol of *Fusarium verticillioides* on non-

rhizospheric soil and maize seedlings roots. In *European Journal of Plant Pathology, 160*(3). https://doi.org/10.1007/s10658-021-02259-y

Erhonyota, C., Edo, G.I., Onoharigho, F.O. (2023). Comparison of poison plate and agar well diffusion method determining the antifungal activity of protein fractions. *Acta Ecologica Sinica*, *43*(4): 684-689. https://doi.org/10.1016/J.CHNAES.2022.08.006

Grahovac, J., Pajčin, I., Vlajkov, V. (2023). Bacillus VOCs in the Context of Biological Control. In *Antibiotics, 12*(3). https://doi.org/10.3390/antibiotics12030581

Harwood, C.R., Mouillon, J.M., Pohl, S., Arnau, J. (2018). Secondary metabolite production and the safety of industrially important members of the *Bacillus subtilis* group. In *FEMS Microbiology Reviews. 42*(6). https://doi.org/10.1093/femsre/fuy028

Hashem, A., Tabassum, B., Fathi Abd_Allah, E. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. In *Saudi Journal of Biological Sciences. 26*(6). https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004

Kong, W.L., Rui, L., Ni, H., Wu, X.Q. (2020). Antifungal Effects of Volatile Organic Compounds Produced by *Rahnella aquatilis* JZ-GX1 Against *Colletotrichum gloeosporioides* in *Liriodendron chinense* × tulipifera. *Frontiers in Microbiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01114

Liu, X., Fan, L., Yin, S., Chen, H., Hu, H. (2019). Molecular mechanisms of fumonisin B1-induced toxicities and its applications in the mechanism-based interventions. In *Toxicon, 167*. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.06.009

Muimba, K.A. (2018). Vegetable Production. *Food Crop Production by Smallholder Farmers in Southern Africa*, 205-274. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814383-4.00011-6

Peng, Y., Li, S.J., Yan, J., Tang, Y., Cheng, J.P., Gao, A.J., Yao, X., Ruan, J.J., Xu, B.L. (2021). Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents. In *Frontiers in Microbiology, 12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.670135

Shafi, J., Tian, H., Ji, M. (2017). *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. In *Biotechnology and Biotechnological Equipment, 31*(3). https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950

Valenzuela, R.V., Gándara, L.A., Villarreal, D.M.F., Villa, R.E.D., Parra, C.F.I., Santoyo, G., Gómez, G.L.J., Cira, C.L.A., De los Santos, V.S. (2024). Regulation, Biosynthesis, and Extraction of *Bacillus*-Derived Lipopeptides and Its Implications in

Biological Control of Phytopathogens. In *Stresses, 4*(1). https://doi.org/10.3390/stresses4010007

Villarreal, D.M.F., Villa, R.E.D., Cira, C.L.A., Estrada, A.M.I., Parra, C.F.I., De los Santos, V.S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, *36*(1). https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5

Zhang, D., Qiang, R., Zhou, Z., Pan, Y., Yu, S., Yuan, W., Cheng, J., Wang, J., Zhao, D., Zhu, J., Yang, Z. (2022). Biocontrol and Action Mechanism of *Bacillus subtilis* Lipopeptides' Fengycins Against *Alternaria solani* in Potato as Assessed by a Transcriptome Analysis. *Frontiers in Microbiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.861113

LA SEQUÍA: ¿UN FENÓMENO NATURAL O PRODUCTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

Gustavo Mercado-Mancera[1*], Luis Fernando Jurado-Badillo[2], Angel Adonai Camacho-Acosta[2], Manuel Alejandro Morón-Rangel[2] y David Pacheco-Guadarrama[2]

[1]Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.

[2]Licenciatura de Ingeniería Agrícola. FES-C, UNAM.

*gmercado@unam.mx

Resumen

La sequía que se identifica por una disminución de la precipitación respecto a su valor normal tiene implicaciones de índole climático, social, económico, político, técnico y sobre todo en la viabilidad de los sistemas agrícolas. El objetivo de este trabajo fue comparar el comportamiento de la temperatura, precipitación y evapotranspiración del 2019 al 2024, con respecto a sus valores normales, para detectar la presencia de las sequías en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se utilizaron los datos de precipitación y temperatura media mensual registrados en la estación meteorológica de la FES Cuautitlán, del periodo de 2019 a 2024, y el promedio mensual normal de 1987 a 2024. Durante el periodo de 2019-2024 se observó la presencia de anomalías positivas en la temperatura durante todo el año, que oscilaron entre 0.8 a 1.8 °C para septiembre y diciembre, y marzo, respectivamente; por lo que respecta a la precipitación se registraron en promedio 599.5 mm y 1,212.2 mm de precipitación y evapotranspiración, respectivamente, que refleja un desbalance de humedad muy importante; mientras que los valores normales son 644.7 mm y 1,132.1 mm de precipitación y evapotranspiración, respectivamente. Por lo tanto, se presentó una disminución importante de la precipitación y un incremento en la evapotranspiración; además, durante el año 2024 se registraron los valores más altos de la temperatura ambiental, con una máxima extrema de 35.6 °C, 1.6 °C más que la registrada en 1998. Estos resultados permiten concluir que, si bien la sequía es un fenómeno recurrente, el cambio climático ha exacerbado el impacto de esta en las condiciones ambientales

en el área de estudio y que se deben tomar medidas para mitigar sus efectos a la sociedad en su conjunto.

Palabras clave: Sequía, precipitación, temperatura ambiental.

Introducción

En la última década, el mundo ha visto cómo los eventos meteorológicos extremos se han presentado con mayor regularidad y la comunidad científica los atribuye a los efectos del cambio climático global, el cual se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos.

Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas (UN, 2024).

Desde hace 40 años, cada nueva década ha sido más cálida que la anterior. 2023 fue el año más cálido jamás registrado, con una temperatura media mundial en torno a 1.45 ºC por encima del promedio del período 1850-1900. Ello se debió, en gran medida, a la conjunción del cambio climático provocado por las actividades humanas y un episodio de El Niño, un fenómeno natural. El aumento de las temperaturas viene acompañado de olas de calor, crecidas, sequías, incendios forestales y ciclones tropicales que se intensifican rápidamente (OMM, 2024). Asimismo, a medida que el mundo se calienta a un ritmo más rápido que en ningún otro momento desde que hay registros, la salud humana está en primera línea, especialmente en las comunidades más vulnerables (OMM, 2023).

Las consecuencias del cambio climático incluyen, entre otras, sequías intensas, escasez de agua, incendios graves, aumento del nivel del mar, inundaciones, deshielo de los polos, tormentas catastróficas y disminución de la biodiversidad (UN, 2024).

Se ha documentado que el ritmo del cambio climático aumentó de forma alarmante entre 2011 y 2020, que fue la década más cálida registrada. Las concentraciones cada vez mayores de gases de efecto invernadero impulsaron temperaturas récord

en la tierra y los océanos y aceleraron drásticamente el derretimiento del hielo y el aumento del nivel del mar. El informe se basa en análisis de datos físicos y evaluaciones de impacto de decenas de expertos de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, los Centros Climáticos Regionales, las Oficinas Nacionales de Estadística y los asociados de las Naciones Unidas, y ofrece una perspectiva a más largo plazo y trasciende la variabilidad anual del clima (OMM, 2023a).

Así, desde comienzos del verano de 2023, una de las sequías más severas a las que México se ha enfrentado en más de una década comenzó a afectar al país. Durante el siguiente año, la sequía se intensificó y se extendió ampliamente. Una sequía clasificada como “extrema” y “excepcional”, según el Monitor de Sequía de América del Norte, afectó a los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa y Durango, en el norte de México, así como Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo (NASA, 2024).

Con este breve contexto de la variabilidad emitida por la OMM, las sequías, tema de esta investigación, son una parte normal del clima y pueden darse en todos los regímenes climáticos del mundo, incluso en desiertos y bosques lluviosos, las cuales se caracterizan por su gravedad, localización, duración y desarrollo cronológico. Pueden ser ocasionadas por varios procesos hidrometeorológicos que suprimen la precipitación o limitan la disponibilidad de agua superficial o subterránea, de manera que aparecen condiciones mucho más secas de lo normal o se limita de otra manera la humedad disponible hasta un punto potencialmente perjudicial (OMM, 2016).

Por lo tanto, la sequía no debe verse como un problema, sino, como una condición natural de muchas regiones del mundo entero, y se deben a una disminución o ausencia de precipitación e incremento de la evaporación.

Una definición específica no es precisa debido a los múltiples factores que la originan, sin embargo, los datos climáticos que se emplean para su cálculo son la precipitación, temperatura y humedad del aire, evaporación y evapotranspiración, velocidad del viento, entre otros (Bravo *et al.*, 2006).

Campos (2020) señaló que las sequías son eventos climáticos extremos recurrentes que acontecen en todas las localidades del mundo, caracterizados por una

precipitación menor que la normal y cuya duración abarca varios meses o algunos años. Son una de las principales causas naturales de daños en la agricultura, en las actividades económicas y en el medio ambiente. Es una condición temporal, que se asocia con alteraciones en los sistemas meteorológicos que controlan el clima a nivel macro, meso o microescala.

Con base a los efectos que genera se ha clasificado la sequía en: meteorológica, agrícola, hidrológica, económica, social; en todas ellas el déficit de agua es el factor que define la magnitud del impacto de orden antropocéntrico (Bravo *et al.*, 2006).

En el caso de las sequías meteorológicas de una zona, es el lapso de meses o años durante el cual la precipitación que ocurre es inferior a la que comúnmente acontece. Por su evolución lenta, es difícil precisar su inicio y final, así como estimar sus características de severidad y extensión territorial (Campos, 2020), y es preciso diferenciarla de la aridez, que es una condición permanente de déficit de agua, por lo que las sequías vuelven más vulnerables a las zonas semiáridas y áridas del país y del mundo entero (Bravo *et al.*, 2006).

Ahora bien, la sequía se presenta de forma temporal, al inicio de la primavera y termina regularmente a principios de junio, es recurrente, ocurre cada año por el comportamiento climático, a esta sequía se le denomina *sequía estacional* (OpEPA, 2023).

Mientras que, *sequía intraestival o veranillo*, es un caso particular de sequía que ocurre en una amplia región de Mesoamérica y el Caribe. Se trata de un fenómeno climático que constituye una amenaza regional, pues sus impactos pueden ser tan grandes que históricamente han provocado el desplazamiento de miles de personas, muerte de ganado y pérdidas de cultivos a gran escala. Llamada así porque hace muchos años el fenómeno coincidía con la aparición de la constelación *Canis Maior* en el firmamento, la *canícula* se origina regularmente en medio del verano porque es cuando las condiciones climáticas en la región propician la aparición de algunos anticiclones. Si los ciclones ocasionan lluvias torrenciales, los anticiclones hacen lo contrario, y es por eso que, en los llamados 40 días más calurosos del año, se

observan cielos muy despejados y disminuye drásticamente la precipitación a mitad del verano (Morales, 2022).

Pero estos dos tipos de sequía por su temporalidad de ocurrencia, su presencia está relacionada con los parámetros climáticos regionales, entre los más impactantes están la precipitación media anual (PMA) y la evapotranspiración potencial media anual (ETP) (Campos, 2020); de ahí, que la regularidad de los registros meteorológicos son clave para realizar un análisis preciso de la ocurrencia de este fenómeno climático.

Objetivo

Comparar el comportamiento de la temperatura, precipitación y evapotranspiración del 2019 al 2024, con respecto a sus valores normales, para detectar la presencia de las sequías en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Materiales y métodos

Se utilizaron los datos capturados en la estación meteorológica Almaraz de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FES-C), del periodo de enero de 2019 a agosto de 2024, y el promedio mensual normal de julio de 1987 a agosto de 2024; se consideraron los datos promedio mensual de precipitación (Pp), temperatura, evaporación (Ev), y se calculó la evapotranspiración (ETP) por el método del tanque (ETP = Ev * 0.5), con un valor del coeficiente C de 0.75, de acuerdo con Aguilera y Martínez (1996).

Resultados

En la Figura 1 se presentan los datos normales de la temperatura ambiental registrada desde julio de 1987 hasta agosto de 2024 (Figura 1A), asimismo, las anomalías presentes en la temperatura media mensual en el periodo 2019-2024 *vs* los datos normales (Figura 1B). Se observa que las mayores temperaturas máximas mensuales corresponden de febrero a mayo, periodo del año en que se presenta la sequía estival.

Mientras que la temperatura mínima promedio mensual aumenta en el periodo de verano.

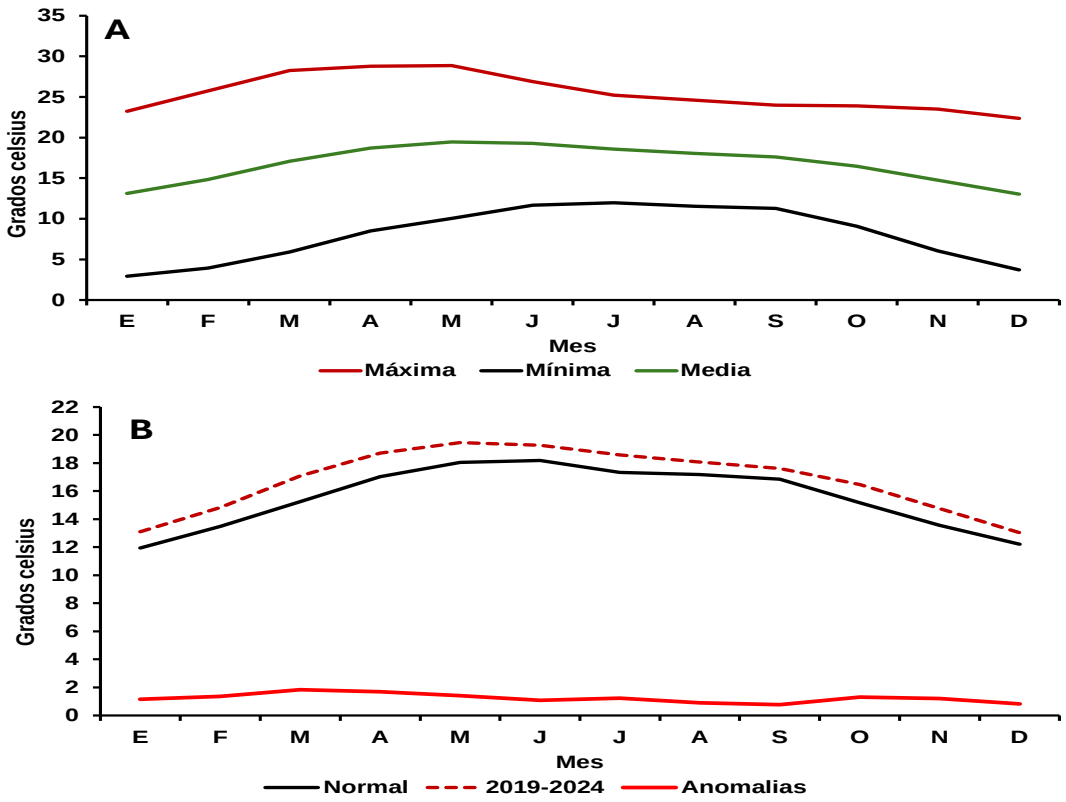


Figura 1. Temperatura ambiental. Estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

A) temperatura máxima, media y mínima promedio mensual 1987-2024.

B) anomalía de la temperatura media mensual normal *vs* media mensual 2019-2024.

Durante el periodo de 2019-2024 se observó la presencia de anomalías positivas en la temperatura durante todo el año, que oscilaron entre 0.8 a 1.8 °C para septiembre y diciembre, y marzo, respectivamente.

Con respecto a la ocurrencia de la precipitación, se presenta en la Figura 2 los datos promedio mensual del periodo de 2019-2024 respecto a sus valores normales, y la anomalía de precipitación presente durante este último periodo. El inicio del temporal de lluvias se ha retrasado en los últimos años, como se observa en la Figura 2.

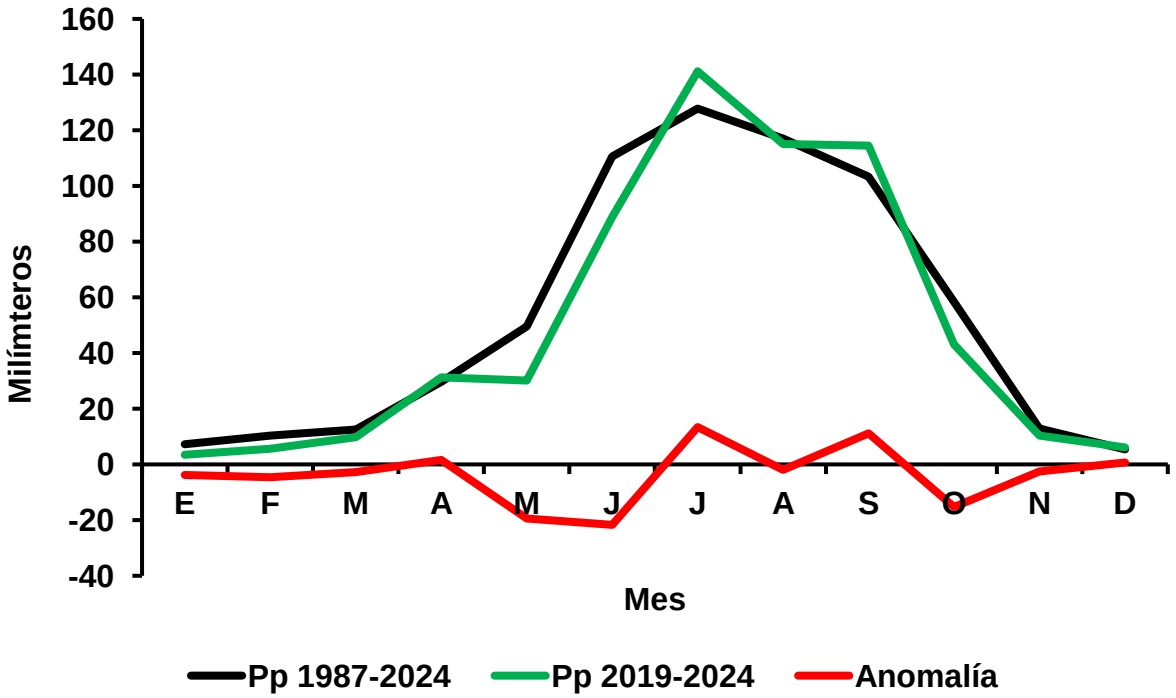


Figura 2. Precipitación promedio mensual de 1987-2024 y 2019-2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

En la Figura 3 se presentan los valores de precipitación y evapotranspiración promedio mensual ocurridos en este periodo de 2019-2024, y donde se observa que a la época de lluvias le antecede un periodo de sequía que abarca del mes de febrero a mayo; se nota que la precipitación sobrepasa el valor de evapotranspiración en el mes de julio y enseguida la precipitación disminuye, lo que indica la presencia de sequía intraestival, aunque la mayoría de los años esta presenta es casi imperceptible, sin embargo, en estos últimos años ha sido muy evidente su presencia y consecuencias en el sector agrícola, por ejemplo.

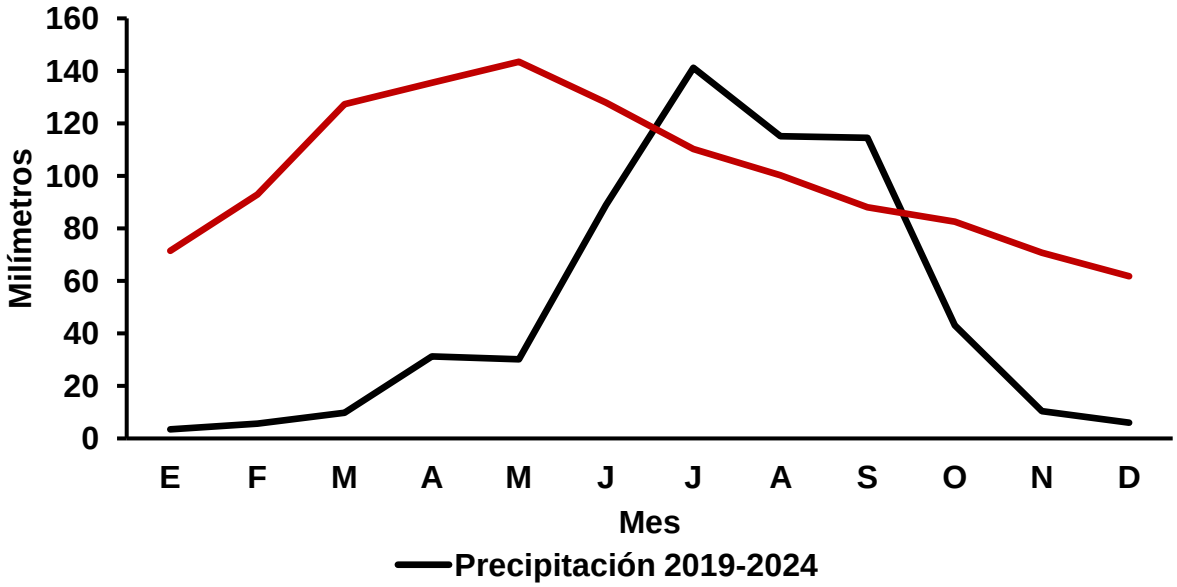


Figura 3. Precipitación y evapotranspiración promedio mensual de enero de 2019 a agosto de 2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

En la Tabla 1 se sintetizan los datos obtenidos para las variables climáticas que se analizan en esta investigación. En resumen, se observan valores mayores de temperatura en los últimos años que su valor normal, lo que deja evidencia de este calentamiento que la OMM ha venido advirtiendo a la comunidad en general. Asimismo, la precipitación disminuyó afectando la producción agropecuaria en la zona de estudio.

Tabla 1. Datos de precipitación (Pp), temperatura media y evapotranspiración (ETP). Estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx

Mes	Pp normal (mm)	Pp 2019-2024 (mm)	Anomalía de la pp (mm)	ETP (mm)	Temperatura media normal (°C)	Temperatura media 2019-2024 (°C)	Anomalía de la temperatura (°C)
Enero	7.3	3.5	-3.8	71.49	11.9	13.1	1.2
Febrero	10.3	5.7	-4.6	92.87	13.5	14.8	1.4
Marzo	12.5	9.8	-2.7	127.33	15.3	17.1	1.8
Abril	29.6	31.2	1.6	135.51	17.0	18.7	1.7
Mayo	49.6	30.1	-19.5	143.47	18.1	19.5	1.4
Junio	110.6	88.9	-21.7	127.87	18.2	19.3	1.1
Julio	127.8	141.2	13.4	110.21	17.3	18.6	1.2
Agosto	117.0	115.1	-1.9	100.20	17.2	18.1	0.9
Septiembre	103.4	114.5	11.1	88.09	16.8	17.6	0.8
Octubre	58.4	43.1	-15.3	82.60	15.2	16.5	1.3
Noviembre	12.9	10.4	-2.5	70.76	13.6	14.8	1.2
Diciembre	5.4	6.1	0.7	61.78	12.2	13.0	0.8

Discusión

Con base a los datos anteriormente expuestos, se observa que la ocurrencia de las sequías es un tema recurrente en la zona de estudio, que obedece, por un lado, a los patrones meteorológicos globales que les dan carácter natural y, por lo tanto, la sociedad en su conjunto vive año con año. No es una anomalía climática, sino parte del sistema climático global (Hernández *et al.*, 2007).

El incremento de la temperatura ambiental ha sido más frecuente en estos últimos años, ya la OMM (2023) consignaba que el año 2019 fue el más caliente a nivel global, 2023 vino con valores mayores de temperatura ambiental; sin embargo, con datos de la estación meteorológica de la FESC, en 2024 se presentaron 4 días por arriba de la máxima extrema que se tenía registrada, que era de 34.0 °C presente el 8 de mayo de 1998, y fue el 25 de mayo de 2024 que se tuvo un valor de 35.6 °C, después de cuatro días donde también se había superado aquella temperatura de mayo de 1998. El efecto de la sequía estival presente en la parte central del país se exacerbó por esas altas temperaturas, lo que afectó sensiblemente a la población en general.

Los sistemas de producción agrícola dependen de que las condiciones ambientales sean propicias para su buen desarrollo, esto es, dichas condiciones determinan la existencia del ciclo otoño-invierno, donde el abastecimiento de agua a los cultivos se

realiza por medio de aplicación de riegos a lo largo del ciclo del cultivo, y las épocas de siembra y cosecha dependen de la disponibilidad y ausencia de humedad, respectivamente. Y, por otro lado, el ciclo primavera-verano, donde la siembra de los cultivos depende de la disponibilidad de agua para la siembra (si se cuenta con riego de auxilio para la siembra estas se pueden adelantar), pero el desarrollo de los cultivos dependerá exclusivamente de la precipitación que ocurra durante todo su ciclo de crecimiento y desarrollo (Figura 4).

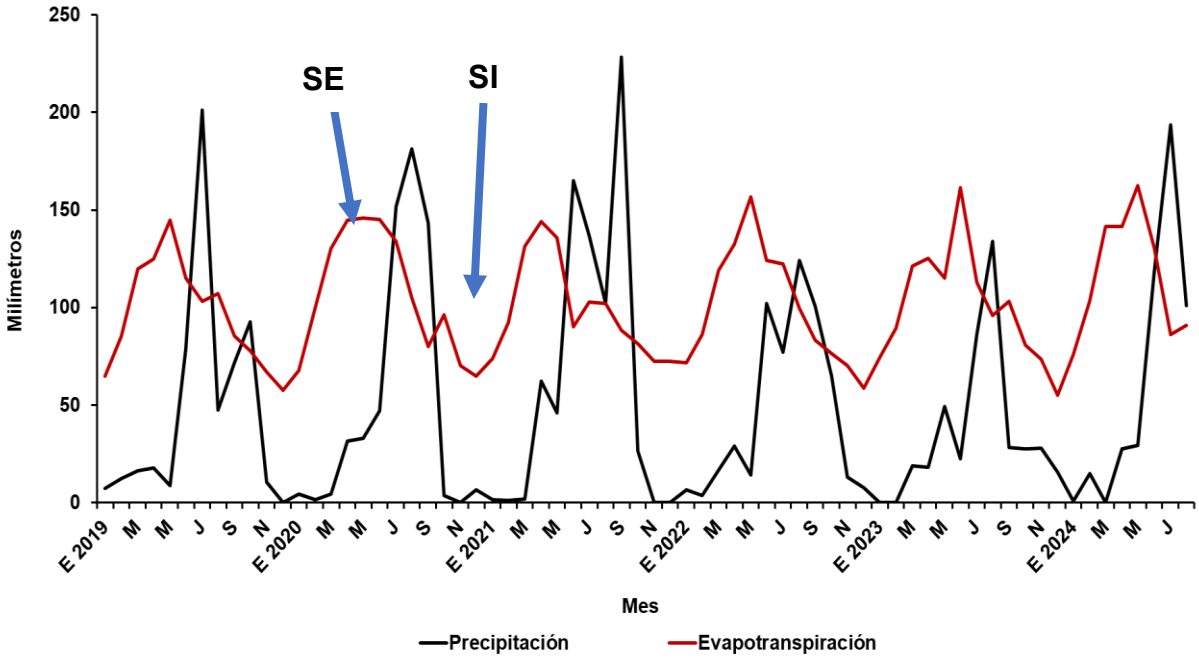


Figura 4. Ubicación de la sequía estival (SE) e intraestival (SI), de enero de 2019 a agosto de 2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

En este sentido, las sequías son fenómenos naturales como se señaló anteriormente y donde el efecto de la temperatura está presente, y en conjunto con la precipitación, determinan la existencia de determinados cultivos para cada ciclo agrícola.

Ahora bien, el análisis de los datos normales muestra la ausencia gráfica de la sequía intraestival (Figura 5) lo que permite establecer que el temporal en el área de estudio es excelente, tanto en cantidad y distribución, sin embargo, en el análisis de los últimos cinco años se observa la presencia de esta sequía, la cual ha generado importantes pérdidas de cultivos, lo que permite considerar que el efecto del cambio

climático está presente, como vienen advirtiéndolo los reportes de la OMM (2023) y la NASA (2024).

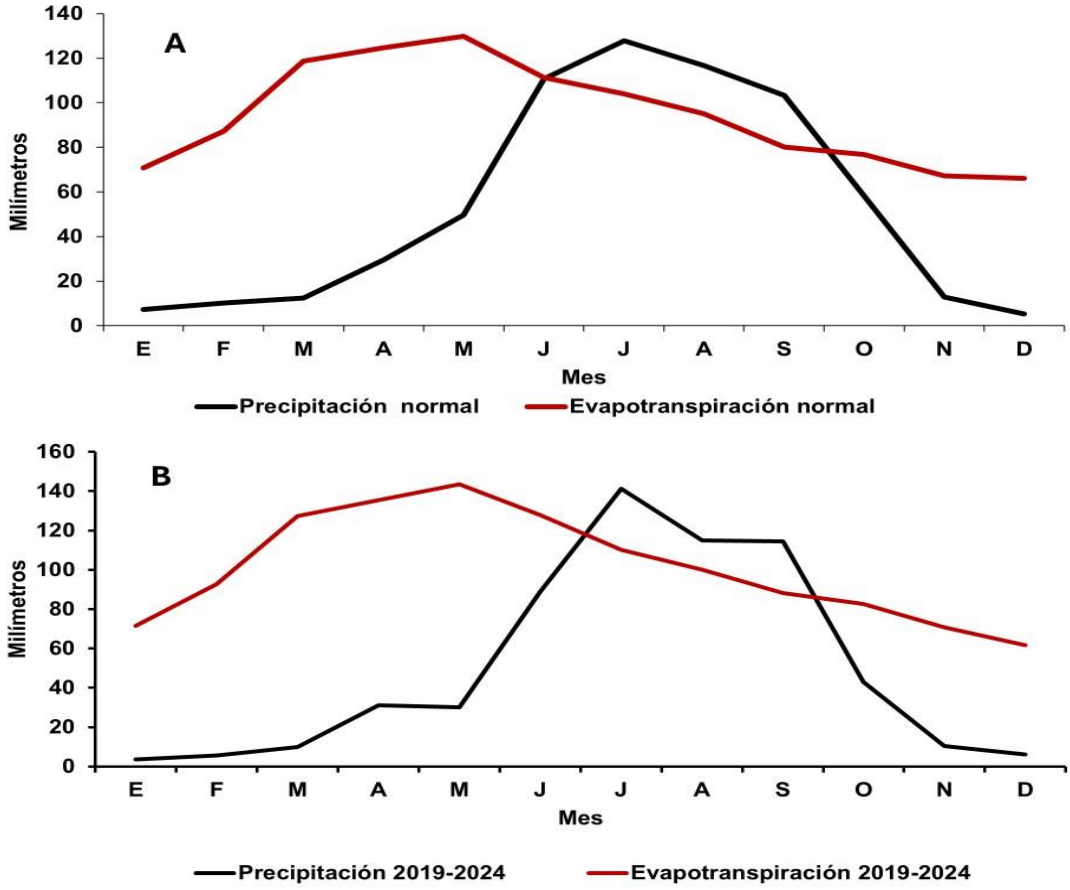


Figura 5. Ubicación de la sequía intraestival, A) datos normales; B) datos de 2019-2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

La precipitación normal es de 644.7 mm, pero en los últimos años este valor ha disminuido a un valor promedio de 599.5 mm, y es durante el año de 2023 cuando se tuvieron sólo 429.2 mm; asimismo, la ETP del periodo de 2019-2024 ha tenido un valor promedio mayor que el valor normal, esto es, 1,212.2 mm y 1,132.13 mm respectivamente, lo que representa mayor pérdida de agua para los cultivos y menor recarga para los acuíferos, en general. Por ello, deberá considerarse medidas para mejorar la captación, almacenamiento y conducción del agua, porque la seguridad hídrica es vital para la sociedad y la economía de los pueblos en general.

Conclusión

1. Se tiene presencia de sequía estival a principios del año, y esta se ha prolongado hasta mediados o finales del mes de junio, atrasando el inicio del temporal y las del ciclo P-V.
2. La presencia de la sequía intraestival ha limitado la productividad de los campos agrícolas, con lo cual las pérdidas económicas se incrementan con este fenómeno climático.
3. Las sequías son fenómenos naturales, asociadas con la disminución de las precipitaciones y el incremento de la evapotranspiración, y el incremento de la temperatura exacerba el efecto de estas en al ambiente en general.
4. Deben tomarse medidas para mitigar el efecto que el cambio climático genera en la presencia de las sequías, puesto que se presentan con mayor longitud en el tiempo y en el espacio, como se ha venido observando en los últimos años en la zona de influencia de la estación meteorológica de la FESC.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo al personal técnico de la estación meteorológica de la FES Cuautitlán, por los datos proporcionados para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

Aguilera, C.M., Martínez, E.R. (1996). *Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera*. 4ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.

Bravo, L.A.G., Salinas, G.H., Rumayor, R.A. (2006). *Sequia: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México*. Libro Técnico No. 4. 2ª edición. Centro de Investigación Regional Norte-Centro. Campo Experimental Zacatecas. INIFAP. México. 310 pp.

Campo, A.D.F. (2020). Evolución de los índices comunes de detección y seguimiento de sequías meteorológicas. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1): 375-409.

Hernández, C.M.E., Carrasco, A.G., Alfaro, S.G. (2007). *Mitos y realidades de la sequía en México.* I.6.3. Temas Selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Morales, G.F. (2022). *Canícula: qué es y cómo se pueden minimizar sus efectos*. En: https://www.cimmyt.org/es/noticias/canicula-que-es-y-como-se-pueden-minimizar-sus-efectos/. Consultado el 23 de agosto de 2024.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2024). *La sequía deja sediento a México*. En: https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/la-sequia-deja-sediento-a-mexico/. Consultado el 22 de agosto de 2024.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía* (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. Ginebra, Suiza. 54 pp.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2023). *El cambio climático es perjudicial para la salud, pero los servicios climáticos salvan vidas*. En: https://wmo.int/es/news/media-centre/el-cambio-climatico-es-perjudicial-para-la-salud-pero-los-servicios-climaticos-salvan-vidas. Consultado el 20 de agosto de 2024.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2023a). *The Global Climate 2011-2020: A decade of acceleration*. En: https://wmo.int/publication-series/global-climate-2011-2020-decade-of-acceleration. Consultado el 20 de agosto de 2024.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2024). *Estado del clima*. En: https://wmo.int/es/site/frontline-of-climate-action/state-of-climate. Consultado el 21 de agosto de 2024.

OpEPA (Organización para la Educación y Protección Ambiental). (2023). *ABC de las sequías: qué son y cómo afectan nuestra vida*. En: https://opepa.org/camino-hacia-carbono-neutral/noticias/abc-de-las-sequias-que-son-y-como-afectan-nuestra-vida/. Consultado el 18 de agosto de 2024.

UN (Naciones Unidas). (s/f). *Acción por el clima*. En: https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change. Consultado el 15 de agosto de 2024.

SECADO DE RODAJAS DE CALABAZA (*Cucurbita pepo* L.), EN DIFERENTES EQUIPOS

Donovan Misael Arévalo-Alcalá[1], Julieta González-Sánchez[1] y María Elena Vargas-Ugalde[1]*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

*mevargasu@gmail.com

Resumen

Se estudió el efecto del pretratamiento (sin escaldado, con escaldado natural y con escaldado con bicarbonato de sodio al 3%) y espesor (3, 4 y 5 mm) en rodajas de calabaza italiana utilizando tres tipos de secadores (charolas convectivo, transversal y microondas). En los secadores de charolas y transversal las calabazas se secaron 2 horas a 70 °C y una velocidad de aire de 0.57 m/s y 0.22 m/s respectivamente. En el horno de microondas se secaron 22 min a 400W. Las muestras escaldadas mostraron mayor velocidad de secado utilizando el horno de microondas y secador transversal. El tiempo de secado con escaldado disminuyó hasta un 45% en microondas y de 30% en el secador transversal, en ambos equipos el secado trascurrió en periodo decreciente, sin embargo, el secador transversal tuvo una humedad final más alta comparado con el secador de flujo paralelo. Las muestras con pretratamiento y espesor de 3 mm mostraron menor diferencia de color y mayor coeficiente de difusión. En horno de microondas el tiempo de secado fue muy corto, hubo mayor daño estructural y un secado heterogéneo. La humedad final fue mayor en comparación con los otros equipos.

Palabras clave: Deshidratación, horno de microondas, escaldado, eficiencia térmica.

Introducción

La calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) es un producto de alto consumo, bajo costo, fácil procesamiento y almacenamiento. Su composición química está conformada por agua 96.5%, proteínas 0.6%, grasas 0.2%, carbohidratos 2.2% y fibra 0.05% (Moreiras *et al.*, 2013). Dado que el contenido de humedad es alto, es susceptible de

una rápida degradación y pérdida de calidad. El secado por convección convencional es uno de los métodos de conservación más comunes, ayuda a prolongar la vida útil del producto, conserva sus nutrimentos y características organolépticas, facilita su manejo y transporte. Algunas propiedades físicas importantes de los productos se modifican mediante esta técnica de secado, como la pérdida de color, el cambio de textura, los cambios químicos que afectan al sabor los nutrimentos y la contracción (Orsat *et al.*, 2006). El procesamiento por microondas es una tecnología alternativa que ha sido utilizada con éxito en diferentes aplicaciones en la industria química y más recientemente en diversos procesos unitarios en la industria alimentaria, como la descongelación, el secado, la cocción, el escaldado, el horneado, entre otras (Contreras *et al.*, 2017). El secado por microondas utiliza energía eléctrica en el intervalo de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz, siendo 2450 MHz la frecuencia más utilizada; presenta numerosas ventajas como un calentamiento volumétrico rápido, mayor velocidad de secado, tiempos cortos de secado, mejora de la calidad del producto, requiere un consumo de energía reducido y los costos operativos son bajos, sin embargo, presenta limitaciones como costos iniciales elevados en secadores industriales, pérdida parcial del aroma y cambios sensoriales negativos, la textura del producto puede verse afectada, se requiere de un tamaño y una forma de muestra específicos para un secado eficaz (Orsat *et al.*, 2006). La principal causa de aplicación de microondas en el secado es la aceleración de los procesos, que (sin el uso de microondas) están limitados en los secadores convencionales por su baja conductividad térmica, especialmente en productos con bajo contenido de humedad. La combinación de tecnologías puede evitar los daños sensoriales y nutrimentales causados por tiempos de secado prolongados y altas temperaturas (Saheen *et al.*, 2012).

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue calcular la diferencia de color (ΔE) y tamaño del producto, los coeficientes de transferencia de masa y difusión, y el gasto energético del proceso, a través de colorimetría, determinación del porcentaje de reducción de

tamaño, curvas de secado y balances de materia y energía para evaluar el efecto del pretratamiento y el espesor de rodajas de calabaza italiana en el secado en tres diferentes equipos (secador de charolas convectivo, secador de flujo transversal y horno de microondas) y encontrar las mejores condiciones de proceso.

Materiales y métodos

Se utilizaron calabazas italianas (*Cucurbita pepo* L.), adquiridas en el mercado de Santa María de Guadalupe las Torres, Cuautitlán Izcalli, bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$), (Droguería Cosmopolita, S.A. de C.V.), y agua purificada de marca comercial. Las calabazas fueron lavadas con agua corriente eliminando cualquier residuo que tuviera adherido, se secaron y fueron cortadas en rodajas con espesores de 3, 4 y 5 mm, se utilizó una rebanadora (Torrey, RB-250) para obtener un espesor más homogéneo. Se realizó el pretratamiento por inmersión: escaldado natural, escaldado con una solución de $NaHCO_3$ al 3%, ambos pretratamientos a 85 °C durante 5 minutos además de las muestras control (sin escaldado). Las muestras con escaldado se dejaron escurrir durante 5 min. Los diámetros y espesores fueron medidos con un vernier digital (Extech Instruments HD500).

Humedad

Para obtener la humedad inicial y final se empleó un analizador de humedad (OHAUS, MB27) de acuerdo con la norma NMX-F-428-1982 (SECOFI-DGN, 1982); para conocer la pérdida de peso durante el secado se empleó una balanza digital (OHAUS, TROOPER COUTN; PRECISA).

Curvas de secado y coeficiente de difusión

Las curvas de secado se obtuvieron mediante la determinación de la humedad en base seca empleando las siguientes ecuaciones.

$$X = \frac{w - w_s}{w_s}\left[\frac{kg\ totales\ de\ agua}{kg\ sólidos\ secos}\right] \qquad R = \frac{L_s}{A}\left(\frac{\Delta X}{\Delta t}\right)\left[\frac{Kgagua}{hm^2}\right]$$

Donde: X= humedad en base seca [kg_{agua}/kg_{ss}]

W_s= Peso del sólido seco [kg]

W_a= Peso total de sólidos húmedos [kg]

L_s= Sólidos secos [kg]

A= área total de secado [m^2]

ΔX= Diferencia de humedades [kg_{agua}/kg_{ss}]

Δt= Diferencia de tiempo (h)

Coeficiente de difusión efectiva (Deff)

El coeficiente de difusión efectiva describe las características de secado de alimentos en función a la temperatura y contenido de humedad, se consideraron láminas infinitas y se aplicó la segunda ley de Fick. Al representar gráficamente los valores en una escala logarítmica se obtiene el coeficiente de difusión aplicando la ecuación lineal (Senadeera *et al.*, 2003).

$$\ln(MR) = \frac{8}{\pi} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{L^2}$$

Donde: MR = relación de humedades

D_{eff} = Coeficiente de difusión efectiva [m^2/s)

L = espesor de la placa infinita (m)

Color

Para la medición del color, se empleó un colorímetro (Konica Minolta, CR300), la diferencia entre dos muestras de color (ΔE) se obtuvo a través de los valores de L, a, b del sistema CIE (Mathias y Ah-Hen, 2014).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Reducción de tamaño

El porcentaje de reducción de tamaño se calculó midiendo las dimensiones iniciales y finales del secado y durante el proceso, se controló que las rodajas siempre fueran las mismas.

$$\%Reducción\ de\ tamaño = \frac{Diámetro\ inicial - Diámetro\ final}{Diámetro\ inicial} * 100$$

Gasto energético

El gasto energético en el secador con flujo transversal y horno de microondas se obtuvo midiendo la potencia en función del tiempo, pues ambos secadores emplean energía eléctrica para su calentamiento.

$$Gasto\ energético = potencia\ promedio\ [kW] * tiempo\ total\ de\ secado\ (h)$$

En el secador de charolas (flujo paralelo), se aplicó un balance de energía:

$$Q_s + SS(h_1 - h_2) = G_s(H_1 - H_2) + Q_p$$

Donde: Q_s = Calor suministrado [kJ/h]

SS = kg de sólidos secos [kg de sólidos secos/h]

h_1, h_2 = Entalpía del alimento a la entrada y salida, respectivamente [kJ]

G_s = Flujo de aire seco [kg de aire seco/h]

H_1, H_2 = Entalpía del aire a la entrada y salida respectivamente [kJ/kg]

Q_p = Calor perdido [kJ/kg]

Resultados

Humedad

La humedad inicial de las rodajas de calabaza italiana sin tratamiento fue en promedio de 87.25%, para escaldado natural y escaldado con $NaHCO_3$ fue de 91.6%. En la Tabla 1 se observa que el porcentaje de humedad final en las muestras de 4 mm de

espesor con pretratamiento fue menor en todos los secadores, mientras que en el horno de microondas las humedades finales fueron las más altas.

Tabla 1. Humedad final (%) en rodajas de calabaza italiana (Elaboración propia).

	Secador								
	Flujo Paralelo			Flujo Transversal			Horno microondas		
Espesor (mm)	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Pretratamiento									
Sin escaldado	17.05	5.06	44.44	9.20	50.48	68.32	17.02	10.23	55.64
Con escaldado en agua	7.34	5.54	18.46	9.51	14.12	15.26	39.12	25.95	60.27
Con escaldado con $NaHCO_3$ al 3% en agua	8.93	5.36	29.10	11.88	11.11	29.81	11.88	8.71	46.67

Curvas de secado

En la Figura 1, se observa que la rapidez del secado de las rodajas de 4 mm de calabaza italiana fue mayor con el secado con flujo paralelo que con el transversal. Se puede observar en la Figura 1a que el equipo influyó significativamente en el secado, mientras que el pretratamiento no mostró diferencia significativa. En la Figura 1b, se observa que el secado fue más rápido en el horno de microondas, sin embargo, el porcentaje de humedad final fue mayor, al incrementarse el tiempo de exposición al secado las muestras presentaron daño en su estructura.

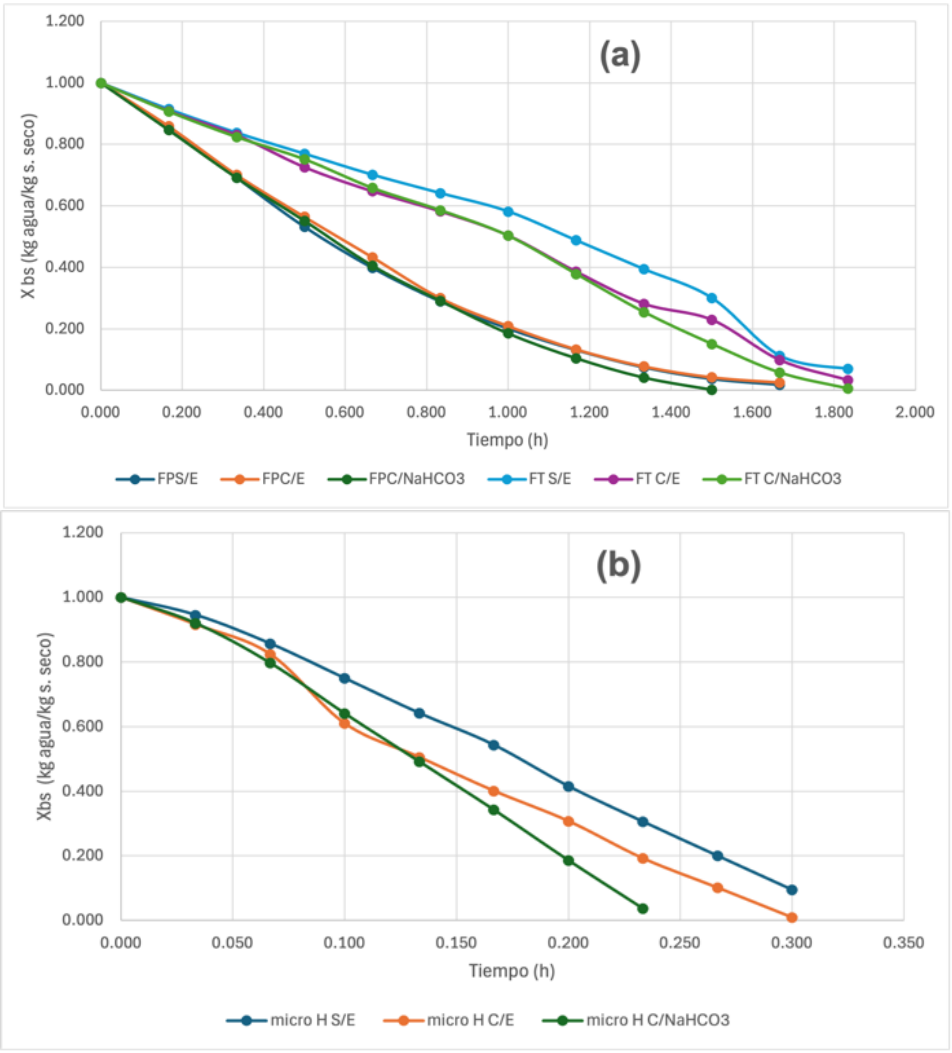


Figura 1. Humedad normalizada de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana (a) secador de flujo paralelo (FP) y flujo transversal (FT) y (b) secado con horno de microondas (micro H); ambos: sin escaldado (S/E), con escaldado natural (C/E) y con escaldado $NaHCO_3$. (Elaboración propia)

Curvas de velocidad de secado

En la Figura 2 se observa que la velocidad de secado (R) en rodajas de 4mm de espesor en el secador de charolas con flujo paralelo con diferente pretratamiento, fue mayor con escaldado natural y con $NaHCO_3$ que sin pretratamiento.

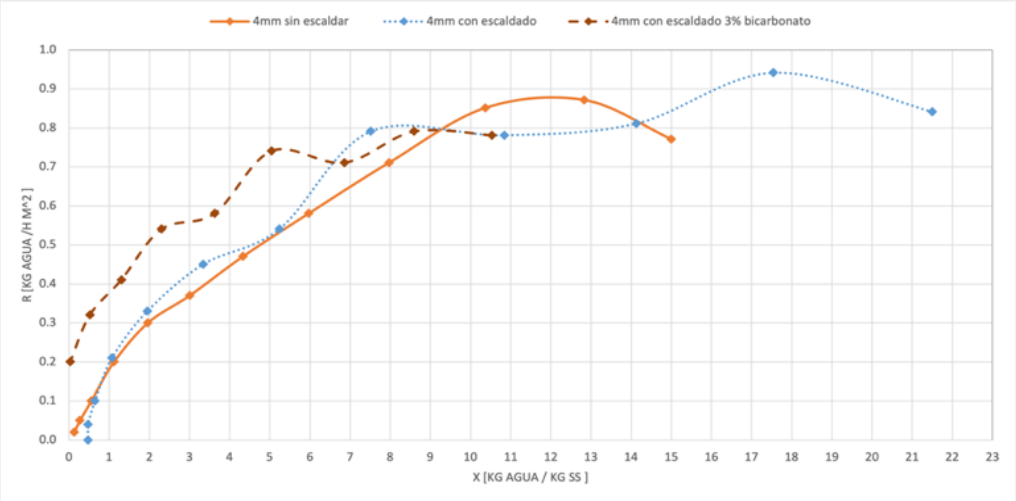


Figura 2. Velocidad de secado de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana con pretratamiento en el secador de flujo paralelo (Elaboración propia).

En la Figura 3, se observa que las muestras con pretratamiento tuvieron una velocidad de secado similar, a diferencia de la muestra sin pretratamiento donde la velocidad de secado fue mayor al inicio del secado. Con el transcurso del tiempo, ésta fue menor que las que tuvieron pretratamiento.

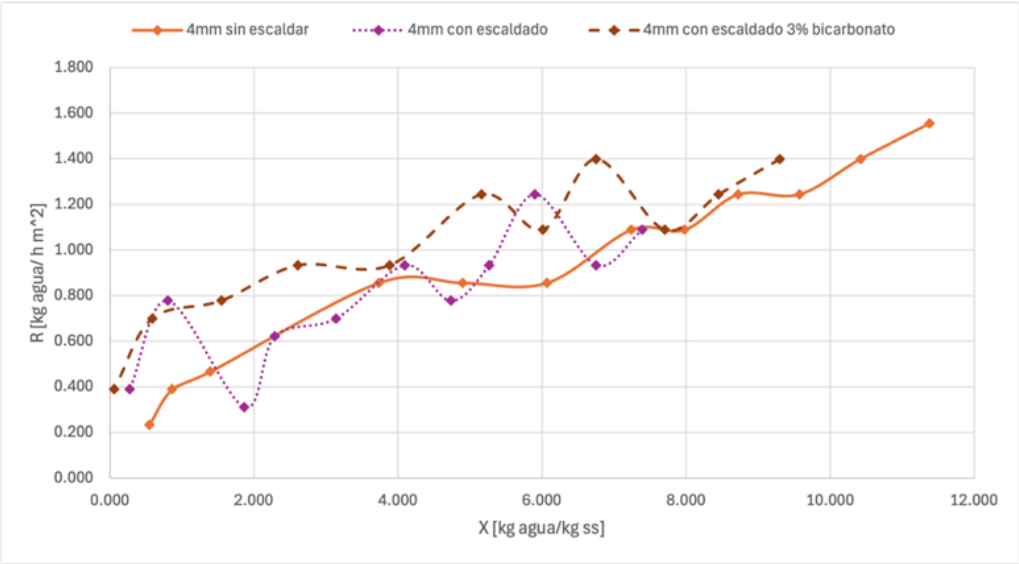


Figura 3. Velocidad de secado de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana con pretratamiento en el secador de flujo transversal (Elaboración propia).

En la Figura 4 se observa que el secado por microondas presentó las mayores velocidades de secado en comparación con los otros secadores y el pretratamiento no tuvo influencia. El método de secado más rápido fue por microondas comparado con los secadores convectivos, sin embargo, la humedad final obtenida fue más alta en casi todos los casos, por lo que se considera que no fueron las mejores condiciones del secado.

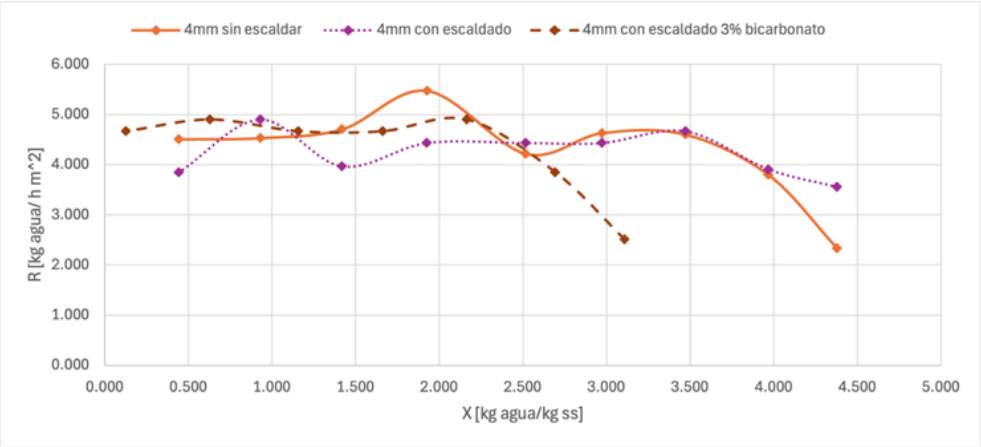


Figura 4. Velocidad de secado de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana con pretratamiento en el horno de microondas (Elaboración propia).

Coeficientes de difusión

Ya que la mayor parte del secado se llevó a cabo durante el período decreciente en los tres equipos, se calcularon los coeficientes de difusión, los cuales se presentan en la Tabla 2. Los coeficientes de difusión en horno de microondas fueron mayores en casi todos los casos, en promedio, de 2.282 E^{-9} m^2/s, mientras que, para las muestras con secado transversal y flujo paralelo, los coeficientes de difusión fueron menores. Los más bajos coeficientes de difusión fueron $4.66E^{-10}$ y 5.15 E^{-10} m^2/s en el secador de charolas con un espesor de 3 mm y en el transversal con un espesor de 4 mm, respectivamente.

Tabla 2. Coeficientes de difusión de rodajas de calabaza italiana (Elaboración propia).

Pretratamiento	Espesor (mm)	Secador		
		Flujo transversal	Flujo paralelo	Horno microondas
		Coeficiente de difusión m^2/s x10^{10}		
Sin escaldar	3	9.26	4.66	8.21
	4	5.27	8.77	21.7
	5	6.32	8.62	19.6
Escaldado con agua	3	7.88	5.95	16.6
	4	7.36	5.67	31.9
	5	9.94	6.69	15.6
Escaldado con $NaHCO_3$ al 3%	3	9.08	7.59	19.5
	4	5.15	5.79	20.0
	5	6.44	9.26	37.7

Diferencia de color

La Figura 5 muestra la diferencia de color (ΔE) con los secadores y pretratamientos empleados. Las muestras que sufrieron mayor cambio fueron las que se sometieron al secado con horno de microondas con escaldado natural y escaldado con $NaHCO_3$ al 3% en los tres espesores. El menor cambio de color se presentó en las muestras procesadas en el secador de charolas (flujo paralelo) con y sin pretratamiento.

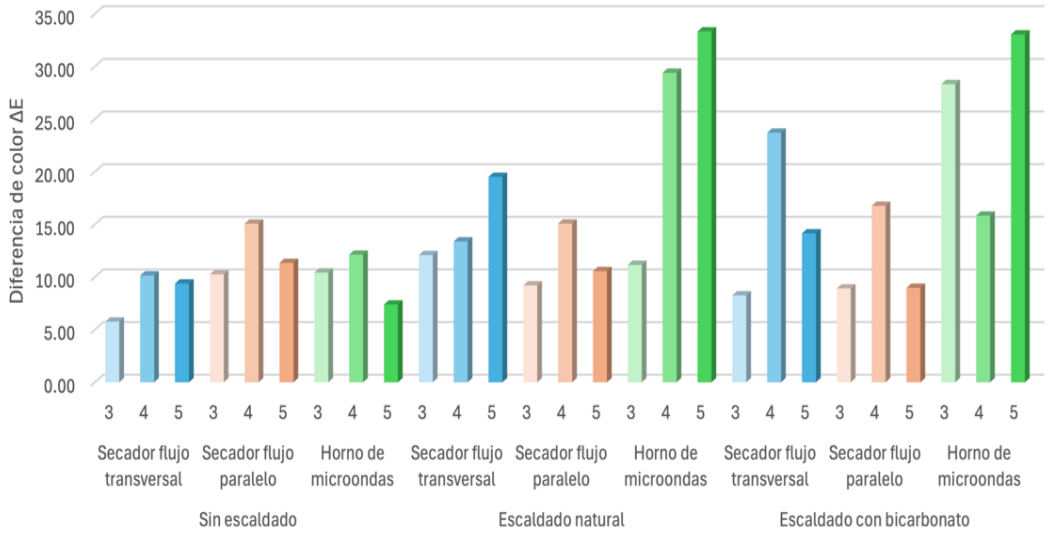


Figura 5. Diferencia de color (ΔE) en calabaza italiana (Elaboración propia).

En la Tabla 3 se muestra el porcentaje total de reducción de tamaño y se observa que en el horno de microondas se tiene el menor porcentaje de reducción de tamaño. Esto es debido al menor tiempo de secado expuesto. La reducción de tamaño fue muy similar entre el secador transversal y el secador de charolas por lo que no se considera dependiente del tipo de flujo.

Tabla 3 Reducción de tamaño al terminar el secado (Elaboración propia).

		Secador		
Pretratamiento	**Espesor (mm)**	**Flujo transversal**	**Flujo paralelo**	**Horno microondas**
		Porcentaje de reducción de tamaño al tiempo final de secado (%)		
Sin escaldar	3	44.9	42.2	30.0
	4	42.8	33.3	26.8
	5	35.5	31.7	22.2
Escaldado con agua	3	43.9	31.2	26.3
	4	33.3	37.2	25.7
	5	48.8	28.0	22.9
Escaldado con $NaHCO_3$	3	36.4	22.3	20.6
	4	31.9	31.2	23.2
	5	28.0	28.6	23.4

Gasto Energético

El gasto energético de los secadores se presenta en la Tabla 4. El secador de flujo transversal, y el horno de microondas con escaldado con $NaHCO_3$ al 3% y espesor de 3 mm tuvieron el menor consumo energético: 1.14 kW/h y 1.67 kW/h, respectivamente, esto se debe a que los tiempos de secado fueron menores que en las muestras con espesor de 5 mm donde el tiempo de secado fue mayor.

Tabla 4. Gasto energético del secador transversal y horno de microondas (Elaboración propia).

Pretratamiento	Espesor (mm)	Gasto energético (kWh)	
		Flujo transversal	Horno de microondas
Sin escaldar	3	2.75	2.72
	4	2.46	3.28
	5	2.39	3.31
Escaldado con agua	3	1.98	2.19
	4	2.41	3.18
	5	2.36	3.13
Escaldado con $NaHCO_3$ al 3%	3	1.14	1.67
	4	1.98	2.12
	5	2.48	3.14

Discusión

Humedad

El contenido de humedad inicial de las rodajas de calabaza fue similar al valor reportado en tablas de composición de alimentos (Moreiras *et al.*, 2013). Los tratamientos de escaldado incrementaron ese valor. El tiempo de secado empleado fue corto (2 h) en comparación con el utilizado por otros autores (Yañez, 2009; Castilla, 2022), quienes obtuvieron de 4.42 a 6.78 % en promedio de humedad final en un secador convectivo, después de secar calabacita a 70^0C durante 3 a 10 h. Valores dentro de este intervalo se obtuvieron sólo con el secador de flujo paralelo para las rodajas de 3 y 4 mm de espesor, lo cual se atribuye a la diferencia de tiempos de proceso utilizados.

Curvas de secado y de velocidad de secado.

Se obtuvieron curvas similares a las reportadas por otros autores empleando secadores convectivos (Yañez, 2009; Castilla, 2022).

Coeficientes de difusión

El orden de magnitud de los coeficientes de difusión para secado convectivo fue similar al reportado por otros autores (Gallardo *et al.*, 2020). Para secado en horno de

microondas, se obtuvieron órdenes de magnitud semejantes a los obtenidos por Gamboa y Campañone (2018).

Diferencia de color

Los valores de diferencia de color en los productos secados por convección fueron menores (el máximo alrededor de 22.5 para secado en flujo transversal con 4 mm de espesor) a los obtenidos por otros autores, aunque éstos no la consideran como significativa (39-41 a 70 °C) (Castilla, 2022). Esto pudo deberse a que el tiempo de procesamiento empleado en el presente trabajo fue menor.

Reducción de tamaño

Se tuvo una reducción de tamaño de 20.6 a 30% en el horno de microondas, similar a la obtenida para fresa (20%) por Gamboa y Campañone (2018), aunque debe considerarse que el método utilizado por estas autoras fue el análisis de imágenes que tiene una mayor precisión que la medición con vernier, y que el producto analizado es distinto a la calabacita italiana en composición y estructura. En el secado convectivo de uvas por lecho fluidizado, Santacruz *et al.* (2010), obtuvieron valores de encogimiento de 30 a 40% utilizando como referencia la disminución de área, empleando análisis fractal de imágenes. En el presente trabajo se obtuvieron valores de 22 a 48%. Las diferencias pueden atribuirse a que se trata de productos distintos en geometría y estructura, a la forma de contacto aire-producto o a la precisión del método empleado. Sin embargo, puede considerarse un porcentaje de reducción de tamaño del producto semejante en ambas investigaciones. Las muestras con escaldado con $NaHCO_3$ de 5 mm de espesor presentaron el menor porcentaje de reducción, independientemente del tipo de secador. Esto se puede atribuir al aumento de la porosidad y permeabilidad inducido por el tratamiento con $NaHCO_3$ (Doymaz y Pala, 2002).

Conclusión

Las muestras con pretratamiento con agua y con $NaHCO_3$ presentaron una mayor velocidad de secado en comparación con las muestras sin pretratamiento en el secado con flujo transversal y el horno de microondas. El coeficiente de difusión en el

secado por microondas es mayor que en los otros secadores, pero sus atributos de calidad, como el color se vieron seriamente afectados teniendo el mayor cambio de color en muestras secadas con los dos pretratamientos en horno de microondas. La reducción del tamaño total en las rodajas de calabaza italiana dependió del tipo de secador y fue independiente del pretratamiento y del espesor. Por las características sensoriales se prefiere secar las rodajas de calabaza escaldadas con $NaHCO_3$ en el secador de flujo paralelo.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó con el apoyo financiero de los proyectos DGAPA PAPIME PE208923 y PIAPI FESC CI2423.

Referencias

Castilla, R.P. (2022)**.** *Evaluación tecno-económica y sensorial del deshidratado convectivo de calabacita (Cucurbita pepo) por charola y lecho fluidizado*. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma de Querétaro. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3800

Contreras, C., Benlloch, T.M., Rodrigo, D., Martínez, N.N. (2017). *Impact of microwave processing on nutritional, sensory, and other quality attributes*. En Regier, Knoerzer & Schubert (Eds.) The Microwave Processing of Food*.* 2ed, (pp 65-69) Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00004-8

Doymaz, I., Pala, M. (2002). The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. *Journal of Food Engineering, 52*(4): 413-417. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00133-9

Gallardo, A.C.M., Gómez, S.J.A., Sosa, M.M.E. (2020). *Cinética de deshidratación de rebanadas de zanahoria (Daucus carota) y calabaza (Curcubita pepo) con aire caliente*. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *5*: 180-183.

Gamboa, S.J., Campañone, L. (2018). Análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 5*(2): 33-51. http://dx.doi.org/10.23850/24220582.1594

Mathias, R.K., Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agros Sur, 42*(2): 57-66. *DOI:10.4206/agrosur.2014.v42n2-07*

Moreiras, T.O., Carbajal, A., Cabrera, F.L., Cuadrado, V.C. (2013). *Tablas de Composición de Alimentos*. Ediciones Pirámide.

Orsat, V., Changrue, V., Raghavan, G.S.V. (2006). Microwave Drying of fruit and vegetables. Stewart Postharvest Review. *International Journal for reviews in postharvest biology and technology*. *doi: 10.2212/spr.2006.6.4*

Saheen, M.S., El-Massry, K.F., El-Ghorab, A.H., Anjum, F.M. (2012). *Microwave applications in thermal food processing*. En Cao, W. (Ed.). The Development and Application of Microwave Heating. InTech. doi: 10.5772/2619. http://dx.doi.org/10.5772/48716

Santacruz, V.V., Santacruz, V.C., Huerta, E.V.M., Laguna, C.J.O. (2010). Evaluación del encogimiento y deformación de uvas durante su deshidratación por fluidización usando el análisis fractal. *Superficies y Vacío,* 23(S): 61-66.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas (1982). *NMX-F-428-1982. Alimentos- Determinación de humedad* (Método rápido de la termobalanza).

Senadeera, W., Bhandarii, B., Gordon, Wihesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. Journal of Food Engineering 58, 277-283. *doi:10.1016/S0260-8774(02)00386-2*

Yañez, F.G., (2009). *Deshidratación de berenjena, betabel, calabacita y zanahoria para su consumo como botana.* Tesis de licenciatura Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Repositorio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/handle/231104/4169

ESQUEMAS EFICIENTES EN PRESENTACIONES ORALES

Lilián Camacho-Morfín[1*] y Deneb Camacho-Morfín[2]

[1]*UNAM Facultad de Filosofía y Letras. Colegio de Letras Hispanicas,* [2]*UNAM Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Departamento de Ciencias Pecuarias*

*licamachom@gmail.com

Resumen

Uno de los grandes problemas de las presentaciones orales se encuentra en la forma como se emplean las diapositivas como apoyo; a menudo éstas se encuentran sobrecargadas de información, de tal forma que, más que constituir un medio que facilite la comunicación, se convierten en un obstáculo. Con el objeto de agilizar las presentaciones, los académicos y estudiantes emplean diversos programas, no obstante el reto para el investigador o el estudiante radica en aprender a utilizar con eficiencia el medio, lo cual puede convertirse en un motivo de distracción y evita que tanto el ponente como quien atiende a la presentación se concentren en el contenido, lo anterior se debe a que idealmente deberían trabajar en equipo diseñadores gráficos especializados en comunicación académica y, como es natural, los propios académicos; dado que lo anterior suele ser imposible, se realizó una investigación cualitativo-descriptiva de carácter observacional y de estudio de casos; con base en ella en esta presentación respondemos con la propuesta de uso de esquemas gramaticales de pensamiento desarrollados en el Manual estructura y redacción del pensamiento complejo, los que, además de constituir una estrategia para ordenar las ideas, permiten su comunicación eficiente con un mínimo de palabras y se ejemplifica su empleo y ventajas con trabajos profesionales.

Palabras clave: Escritura académica, Diapositivas, Pensamiento crítico

Introducción

En el campo de la comunicación académica, tanto en el ámbito escolar como en el de la difusión y divulgación, se realizan presentaciones orales. A veces, estas se realizan

como lectura de un texto ante un auditorio; otras veces con apoyo de diapositivas, un recurso común en la presentación de exposiciones orales en el aula, en exámenes profesionales, y en la exposición de ponencias y conferencias. Un problema recurrente es la sobrecarga de información en las diapositivas. Según Tufte (2003), el uso excesivo de texto y datos en las diapositivas puede llevar a lo que él denomina el "estilo cognitivo de PowerPoint", donde la presentación visual no solo deja de ser un apoyo, sino que corrompe el contenido y la claridad del mensaje. Por ello, está a favor de no emplearlas en las presentaciones; en contraste, Doumont (2005) planteó que el objetivo es saber emplearlas de acuerdo con el propósito.

Considerando que el cerebro humano tiene una capacidad limitada para procesar la información visual (Kosslyn, 2007), si se emplean diapositivas saturadas con texto o gráficos, el efecto es contraproducente (Ferrin y Saverio, s/f.), lo cual provoca la distracción de los asistentes y obstaculiza la comprensión en contextos donde la precisión y la claridad son esenciales. No debe olvidarse que el uso de materiales visuales debe constituir un auxiliar, no una repetición de lo dicho por el expositor (Alley, 2003).

En este contexto, la colaboración ideal entre diseñadores gráficos y académicos podría mejorar la calidad de las presentaciones, pero esta colaboración rara vez se lleva a cabo. Cairo (2016) enfatizó que el diseño de la información no es solo estético, sino que también tiene un impacto directo en cómo se interpreta y comprende el contenido. En ese sentido, Lupton (2010) subraya la importancia de la tipografía y la disposición del texto en la creación de material visualmente atractivo y fácilmente digerible. Flores y Villamar (2012), en su artículo “Elementos para el desarrollo de presentaciones académicas en PowerPoint”, van más allá al ofrecer una descripción sintética de los elementos fundamentales para realizar diapositivas con un diseño adecuado y una presentación eficiente.

Actualmente, PowerPoint no es la única alternativa para crear presentaciones; existen aplicaciones y programas para ofrecer contenidos de forma atractiva, tales como Prezi, PowToon, Canva, Google Slides, Knovio, Visme, Genially, entre muchos otros. No obstante, existe un problema adicional: el personal académico debería centrarse

sobre todo en los contenidos que expone y no tanto en aspectos de diseño gráfico. Todos estos programas y aplicaciones, dado que son muy atractivos, podrían convertirse en un motivo de entretenimiento en lugar de ser una herramienta para fortalecer el desarrollo del pensamiento del especialista en un área. Por ello, las instituciones deberían contar con departamentos de diseño destinados a apoyar la presentación de los miembros académicos; como ello no es posible a corto plazo, proponemos que los expositores se centren en su especialidad para organizar sus ideas y exponerlas con claridad. Es indispensable partir de la premisa de que el acto de escribir no corresponde solo a un acto comunicativo unidireccional. La escritura es un proceso de pensamiento multidireccional en el que plasmar una idea implica una serie de decisiones y reflexiones que acompañan al discurso escrito. Por ello, Acosta *et al.* (2020) sustentan en el carácter de la escritura como proceso-producto y como acto epistémico de transformación sociocognitiva en su propuesta de enseñanza de la escritura.

Objetivo

Mediante una prueba piloto, se demostrará que el uso de esquemas gramaticales de pensamiento beneficia a los expositores al facilitarles una estrategia que favorece una presentación centrada en el contenido y no en la forma.

Materiales y métodos

Para realizar la propuesta que se presenta, se trabajó con muestras de trabajos para presentación oral realizadas por estudiantes y colegas de la UNAM, FES-Cuautitlán y la Facultad de Filosofía y Letras. Se realizó una investigación cualitativo descriptiva de carácter observacional y de estudio de casos (Bisquerra, 1980). Con las muestras obtenidas, se seleccionaron algunas para realizar una prueba piloto. Para ello, se presenta un ejemplo en la Figura 1. Posteriormente, se capacitó a los ponentes en el uso de esquemas gramaticales de pensamiento desarrollados en el *Manual estructura y redacción del pensamiento complejo* (Camacho, 2017), los cuales, además de constituir una estrategia para ordenar las ideas, permiten su comunicación

eficiente con un mínimo de palabras. Luego de lo anterior, se comparó el trabajo realizado antes del uso de estos esquemas con el realizado después de su implementación.

Figura 1. Descripción del objeto de estudio (Archivo personal).

Resultados

El uso de esquemas gramaticales de pensamiento constituye una valiosa herramienta para, en el marco de la disciplina, organizar y presentar las ideas en exposiciones orales. Esto puede contrastarse con la descripción del objeto de estudio tal como se presenta en la Figura 1, en comparación con la descripción presentada en la Figura 2.

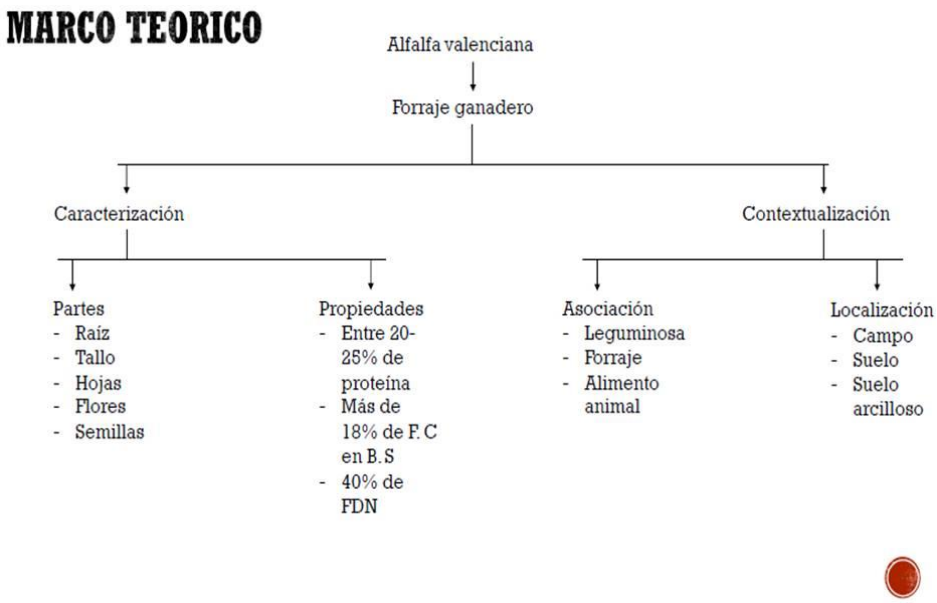


Figura 2. Descripción del objeto de estudio (Elaboración personal).

Es notorio que la información que presenta la Figura 2 constituye un recurso mnemotécnico que permite al ponente describir su objeto de estudio sin distraer al público con elementos ajenos. No obstante, es preciso hacer comprender al usuario de estos esquemas la necesidad de realizar síntesis; de lo contrario, cometerán el error de sobrecargar el esquema con información innecesaria, tal como lo muestra la Figura 3.

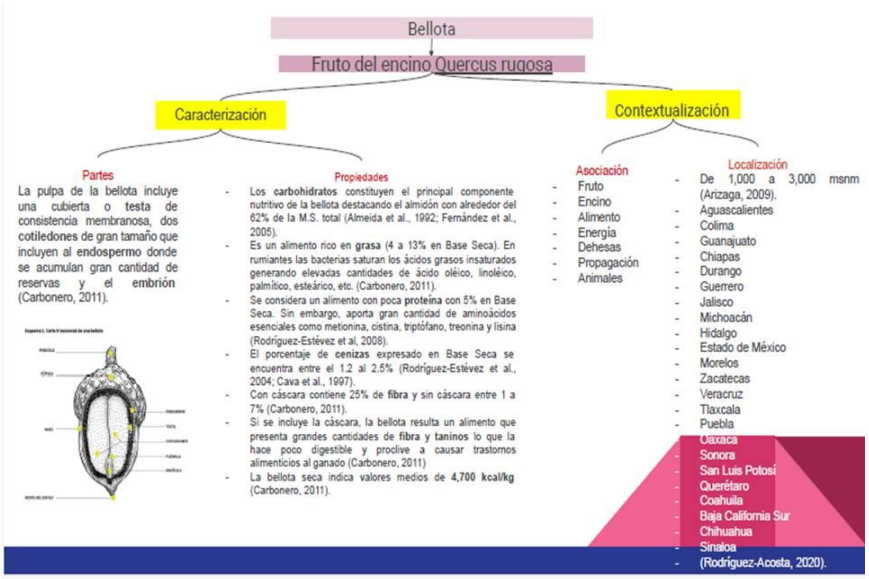


Figura 3. Descripción del objeto de estudio (Elaboración personal).

Cuando el ponente entiende el nivel de síntesis que se requiere para describir el objeto de estudio, logra encontrar los términos precisos para emplear de forma eficiente los esquemas, tal como lo muestra la Figura 4.

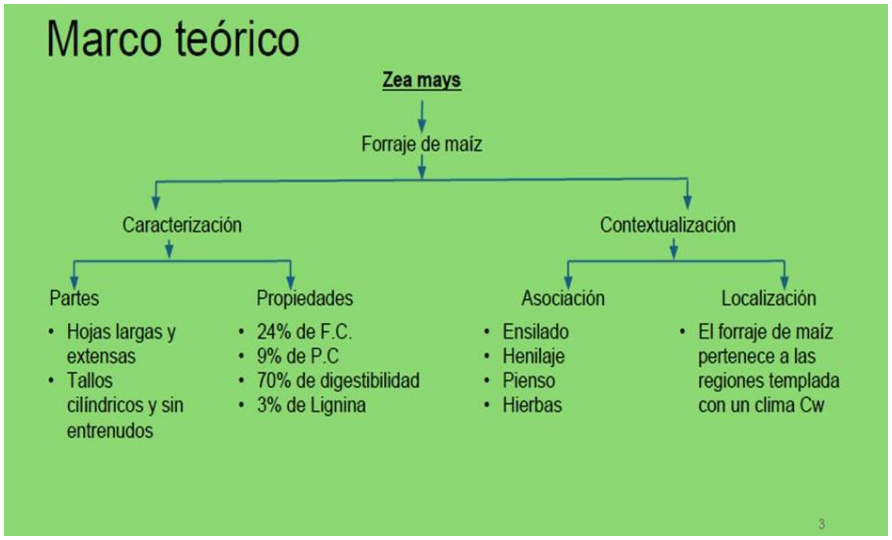


Figura 4. Descripción del objeto de estudio (Elaboración personal).

Conclusión

Esquematizar el pensamiento no es una operación mental fácil, pues requiere un grado de abstracción importante, además de capacitación en el uso de esquemas gramaticales, los cuales, pese a corresponder a la estructura de organización de la lengua propia de los hablantes, ofrecen un grado de dificultad en cuanto implican la transición del lenguaje oral al escrito. En un inicio se piensa que bastaría capacitar a los ponentes en el uso del esquema de descripción; no obstante, los errores cometidos llevan a plantear la necesidad de trabajar con modelos, lo cual se realizará en una siguiente etapa de este trabajo.

Referencias

Acosta, G.I., Cubillas, Q.F., Águila C.M.E. (2020). Producción de textos escritos. Lo epistémico y lo desarrollador. *Revista Ciencia e Interculturalidad, 13*(27). ISSN 1997-9231 (Print). ISSN 2223-6260 (Online). DOI: https://doi.org/10.5377/rci.v27i0

Alley, M. (2003). *The Craft of Scientific Presentations: Critical Steps to Succeed and Critical Errors to Avoid*. Springer.

Bisquerra, R. (1980). *Métodos de investigación educativa*. Ediciones CEAC.

Cairo, A. (2016). *The Truthful Art: Data, Charts, and Maps for Communication*. New Riders.

Camacho, E,A. (2017). *Manual estructura y redacción del pensamiento complejo*. UNAM-Facultad de Filosofía y Letras. Latín

Ferrin, M., Saverio, A. (s/f). *Cómo influye el diseño de las diapositivas en la atención y entendimiento por parte del estudiante*. Escuela Superior Politécnica del Litoral

Flores, M., Villamar, R. (2012). Elementos para el desarrollo de presentaciones académicas en PowerPoint. *Revista de Comunicación Académica, 10*(3): 45-58.

Kosslyn, S.M. (2007). *Clear and to the Point: 8 Psychological Principles for Compelling PowerPoint Presentations*. Oxford University Press.

Lupton, E. (2010). *Thinking with Type: A Critical Guide for Designers, Writers, Editors, & Students*. Princeton Architectural Press.

Tufte, E.R. (2003). *The Cognitive Style of PowerPoint: Pitching Out Corrupts Within*. Graphics Press.

EL IMPACTO DE LA INCLUSIÓN FINANCIERA A TRAVÉS DE SOFOMES EN MIPYMES MEXICANAS

Jerónimo Martínez-Flores[1] y Sinuhé Carlos Guardado-López[1*]

[1]*UNAM, FESC*

*alfjeromf@hotmail.com

Resumen

El propósito del presente proyecto de investigación es conocer el impacto de la Inclusión Financiera de las MIPYMES en México a través de las Sociedades Financieras de Objeto Múltiple (SOFOM), desde la creación de estas en 2006, hasta el año 2023. La metodología de esta investigación es documental, descriptiva y no experimental. Por tanto, se realizó una revisión bibliográfica de las principales bases de datos como Google Académico, Scielo, Dialnet, Redalyc. Además, se consultaron fuentes gubernamentales y de instituciones de consultoría en materia de SOFOM, financiamiento y MIPYMES.

Palabras clave: Crecimiento, financiamiento, entidades financieras.

Introducción

En países donde el desempleo y el empleo mal remunerado bajo condiciones desiguales para el trabajador, son una constante para la mayoría de sus habitantes, es necesario crear fuentes de ingreso que garanticen el crecimiento y más aún, el desarrollo de este sector de la población, y por consecuencia del país, este es el caso de México, donde la mayor parte del sector empresarial está formado por micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes), las cuales enfrentan el gran problema de que al no contar con capital de trabajo suficiente para ser competitivas frente al mercado global, tienden a desaparecer en su mayoría.

Como una estrategia para el fortalecimiento de este sector, el gobierno de México a través de la Secretaría de Economía (SE) creo organizaciones de gestión y apoyo

que se concretan en la constitución de Sociedades Financieras de Objeto Múltiple, (Sofomes). Por tal motivo surge el interés del presente trabajo en conocer cuál ha sido el impacto que han tenido las Sofomes en la inclusión financiera en las MiPymes.

Objetivo

Conocer cuál ha sido el impacto de la inclusión financiera en las MiPymes Mexicanas a través de las Sofomes, por medio de una revisión documental, se conocerá la frecuencia de uso de los servicios de crédito, arrendamiento financiero, o factoraje financiero que estas ofrecen.

Desarrollo del tema

Según la Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF) una Sofom es una entidad financiera que obtiene recursos mediante el fondeo en Instituciones Financieras o emisión públicas de deuda, otorgan créditos, arrendamiento y factoraje financieros, principalmente a emprendedores y MiPymes. Las Sofom solo puede prestar dinero, pero no pueden recibir recursos de sus usuarios. No necesitan la autorización de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) para constituirse, pero para operar requieren una opinión favorable de la CONDUSEF).

Las Sofomes son Instituciones Financieras que tienen su origen en el año 2006, su finalidad fue la de incrementar la inclusión financiera en el país. El acceso a una Sociedad Financiera de Objeto Múltiple, puede formar parte importante de un plan estratégico empresarial para las MiPymes porque contribuye en su desarrollo, además de promover y generar vínculos comerciales, tanto en el mercado local como en el regional.

Por tal motivo al hacer esta revisión según la CONDUSEF en el 2024 hay 1,500 Sofomes que se encuentran operando en México, las cuales en conjunto cuentan con una cartera de crédito de 570 mil millones de pesos, los cuales están dirigidos principalmente a MiPymes o empresarios independientes.

En 2023 había cerca de 2,000 Sofom, en este año aumenta del 60% al 65% de MiPymes que consiguen su primera línea de crédito con estas entidades financieras.

En el 2021 había alrededor de 1,700 Sofomes en México, con presencia en todas las entidades. alrededor del 57% eran Sofom, y seguían con el 60% de MiPymes que conseguían su primera línea de crédito con estas.

En el 2019 el 40% de las empresas medianas tenían acceso a productos financieros, las pequeñas empresas menos del 30% podían acceder a estos productos, y las micro menos del 10%. En ese año el 55% de las entidades Financieras de México eran Sofomes. En ese año había 708, 000 millones de pesos en créditos para MiPymes.

Las MiPymes representan el 99.8% de las empresas en México, por tal motivo el gobierno ha generado programas como el de inclusión financiera a través de las Sofom para incentivar su nacimiento y desarrollo, según datos que presenta el Instituto de Estadística y Geografía (INEGI), en México hoy en día hay alrededor de 4.7 millones de MiPymes en el país, en el 2021 nacieron 1.2 millones, siendo el estado de Hidalgo donde se registraron un mayor crecimiento, en el 2019 el Estado de Tlaxcala fue donde más MiPymes nacieron.

El Estudio sobre la Demográfica de los Negocios (EDN) 2023, mencionó que 1.7 millones de establecimientos nacieron, de los cuales 1.4 millones de estos murieron entre el periodo del 2019 al 2023.

Desarrollo/análisis/resultado

Actualmente uno de los problemas más frecuentes con los que se enfrenta el sector de las micro, pequeñas y medianas empresas en México para su crecimiento y desarrollo es la falta de liquidez. Para financiarse existe la opción de los créditos, pero su costo es muy alto lo que genera una carga muy pesada para la estructura de este tipo de empresas, esto puede ser determinante en su crecimiento, por lo que es de vital importancia buscar nuevas opciones que apoyen la obtención de flujos de efectivo a una tasa de interés baja y que, además, en algunos casos, brinden la opción de generar ingresos generando cadenas de valor dentro de las organizaciones.

Al analizar los datos el gobierno logró incrementar la inclusión financiera con la creación de las Sofomes, las cuales se observa que hay un creciendo año tras año, y más del 60% de las MiPymes obtienen su primer crédito con una Sofom.

Conclusión

Desarrollar la cultura financiera de las MiPymes, sería una herramienta útil para la evolución y consolidación de este sector empresarial, indispensable en el futuro económico del país; mediante la promoción de los programas oficiales especializados y enfocados al asesoramiento de los nuevos empresarios, así como a la gestión de los créditos que la SE brinda a través de las Sofomes.

El pequeño y mediano empresario es el principal empleador del país, tomando en cuenta que las PYMES en México representan el 72% en el rubro de ocupación de la fuerza laboral, es de vital importancia la difusión de programas para la canalización de recursos financieros por parte de la SE a este sector empresarial, mediante las Sofomes.

Referencias

Asofom. (2023). *La importancia del sector sofom en México; impulsando el crecimiento financiero*. En: https://asofom.mx/business/la-importancia-del-sector-sofom-en-mexico-impulsando-el-crecimiento-financiero/

CONDUSEF (Comisión nacional para la protección y defensa de los usuarios de servicios financieros). (s/f). *SOFOMES: ¡Una alternativa más de servicios financieros!* En: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/463953/sofomes.pdf

Dávila, A. (2024). Las sofomes más grande de méxico. Disponible en: https://www.margin.mx/p/las-sofomes-mas-grandes-de-mexico

Docusign, (2023). *¿Cuántas mipymes hay en México y qué datos relevantes sobre estas debemos considerar?* En: https://www.docusign.com/es-mx/blog/cuantas-pymes-hay-en-mexico

Padilla, F. (2019). *La evolución del crédito, SOFOM y Crowdfunding*. En: https://capitalez.net/2019/03/20/la-evolucion-del-credito-sofom-y-crowdfunding/

SE (Secretaría de Economía). (2024). *MiPymes Mexicanas*. En: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/923851/20240626_Dosier_MIPYMES_SALIDA_Interactivo_5_.pdf

HONGOS Y BIOCHAR: SINÉRGIA PARA LA CALIDAD DE SUELOS EN CULTIVOS DE YERBA MATE

María Cecilia Itatí Fasano [1,2*], Mikel Goicochea [1], Marcela Paola Barengo [1,2], Natalia Soledad Amerio [1,2], Luis Alejandro Mancini [3], Julio Litniczuk [3], Carlos Konanchuk [3], Guillermo Carlos Reutemann[3], Pedro Darío Zapata[1,2], Gustavo Ángel Bich [1,2] y María Lorena Castrillo [1,2]

[1] UNaM, Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Instituto de Biotecnología Misiones. Laboratorio de Biotecnología Molecular.

[2] CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

[3] CAIYaL, Cooperativa Agrícola e Industrial de Yapeyú Limitada.

mcifasano@gmail.com

Resumen

La adición de biochar o biocarbón puede mejorar la fertilidad de los suelos y la composición de las comunidades microbianas en agrosistemas forestales tropicales. Esta propuesta aporta a la exploración de los efectos del biochar en la resiliencia de suelos de plantaciones de yerba mate en la provincia de Misiones debido a que se observa escaso conocimiento al respecto en la región. Cuando se inocula biochar con hongos beneficiosos multifuncionales y se lo aplica en el suelo, la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas puede verse aumentada. En este tipo de sustrato (biochar) los hongos inoculados pueden colonizar las raíces de las plantas más fácilmente, promoviendo un microbioma rizosférico favorable. El uso de biochar inoculado con hongos beneficiosos multifuncionales en cultivos de yerba mate podría presentar ventajas potenciales, como la mejora de la fertilidad del suelo, el control de enfermedades, la sustentabilidad ambiental y la reducción de insumos químicos.

Se espera que esta práctica contribuya a la resiliencia del recurso suelo, como una estrategia efectiva hacia una agricultura más sostenible y respetuosa con el bioma natural en el que se desarrolla.

Palabras clave: Hongos Edáficos Multifuncionales, Argentina, Salud del suelo, Resiliencia.

Introducción

La yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) es una planta originaria de la región de clima subtropical de América del Sur, presente en el sur de Brasil, el norte de Argentina, Paraguay y Uruguay. Era colectada de la selva atlántica y consumida por los indígenas sudamericanos cuando los europeos descubrieron el Nuevo Mundo y aislaron las plantas realizando cultivos monotípicos (Mazzafera, 1997). El producto primario de estas plantaciones se denomina hoja verde que, luego de industrializada, los consumidores la preparan en cuatro tipos diferentes de bebidas: el chimarrão y el mate cocido, consumidos en el sur de Brasil, Uruguay, Argentina y Paraguay; el tereré, consumido en el centro-oeste de Brasil y Paraguay; y el mate té, consumido en el sureste de Brasil, Argentina y Uruguay (Bastos *et al.*, 2007; INYM, 2021; Ministerio de Economía, 2023).

La cultura del mate tiene una gran importancia económica y social, ya que es llevada a cabo por un gran número de pequeños productores y cooperativas en Brasil, Argentina y Paraguay. El principal productor sudamericano de yerba mate es Argentina (aproximadamente 1 millón de toneladas). Las mejoras en la producción de este cultivo se han enfocado principalmente en la adaptación de tecnologías a campo para aumentar el producto primario (hoja verde) y la resistencia a plagas y enfermedades (Anino, 2018; Resende *et al.*, 2000; Ministerio de Economía, 2023).

*En los cultivos de yerba mate el tipo de manejo tradicional está conduciendo a una disminución de la fertilidad de los suelos con una consecuente merma en la producción de hojas de yerba mate. Este panorama está conduciendo la producción y las investigaciones a una búsqueda de alternativas de manejo agroforestal más ambientalmente correcto y económicamente viable. Entre estas alternativas, la adición de enmiendas al suelo con la finalidad de mantener su calidad y fertilidad como por ejemplo el biochar surge como una posibilidad factible. Sin embargo, el conocimiento sobre cómo esta adición impacta a las comunidades microbianas del

suelo en agrosistemas forestales yerbateros tropicales (ASFYTs) y su contribución a la sustentabilidad de sistemas yerbateros en Argentina es aún escaso.

El componente de carbono en el biochar es relativamente estable; por lo tanto, se propuso originalmente como una enmienda del suelo para almacenar carbono en él. El biochar tiene valores multifuncionales que incluyen los siguientes usos: enmienda del suelo para mejorar la salud del suelo, portador de nutrientes y microorganismos, agente inmovilizador para la remediación de metales tóxicos y contaminantes orgánicos en el suelo y el agua, catalizador para aplicaciones industriales, material poroso para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y compuestos odoríferos, y suplemento alimenticio para mejorar la salud animal y la eficiencia de la ingesta de nutrientes y, por lo tanto, la productividad en sistemas agropecuarios (Bowen, 1975; Francou, 2004; Masebinu *et al.*, 2019; Hossain, 2020; Lal, 2021; Bolan *et al.*, 2022; Cardoso Júnior *et al.*, 2022).

Los estudios sobre la manera en que el biochar actúa como enmienda del suelo, mejorando su estructura y aumentando la capacidad de retención de agua y nutrientes son numerosos, al igual que aquellos que evalúan su impacto en el aumento de la resistencia de las plantas a enfermedades (Wiedner y Glaser, 2013). Ciertos hongos pueden aumentar la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes para las plantas y proporcionar un hábitat adecuado para los microorganismos beneficiosos del suelo (Giri *et al.*, 2005; Dominchin *et al.*, 2019).

Los hongos multifuncionales que podrían ser inoculados en el biochar, se establecerían más fácilmente y colonizarían las raíces de las plantas, mejorando la interacción planta-microorganismo y promoviendo un microbioma rhizosférico favorable para la fertilidad de la planta de yerba mate. Los hongos multifuncionales pueden aumentar la resistencia de las plantas al estrés abiótico, como la sequía y la salinidad, mientras mejoran la fertilidad del suelo al disponibilizar nutrientes. El biochar, además de mejorar la estructura del suelo y la retención de agua, trabaja en sinergia con estos hongos para proporcionar un ambiente más favorable para las plantas, aumentando su tolerancia a condiciones adversas (Wiedner y Glaser, 2013).

Trichoderma sp. por ejemplo, tiene propiedades antagonistas contra patógenos del suelo. El biochar inoculado con estos hongos podría ayudar a reducir la incidencia de enfermedades radiculares en los cultivos de yerba mate, actuando como un agente de biocontrol efectivo (Ralebitso *et al.*, 2016; Dvořáčková, 2021).

Experiencias diseñadas en SAFYTs con diferentes aplicaciones de biochar, servirían de método exploratorio para el registro y análisis preliminar de los diversos impactos de la aplicación del biochar en condiciones propias del cultivo de plantaciones de yerba mate.

De acuerdo con lo expuesto, la aplicación de biochar embebido con hongos multifuncionales con potencial bioestimulante y biocontrolador como vehículo de las mismas hacia suelos oxisólicos lateríticos subtropicales degradados, y aplicados a la superficie edáfica donde se desarrollan las plantas de yerba mate ante diferentes manejos agronómicos, promoverá la resiliencia edáfica en ASFYT de plantaciones de yerba mate.

Objetivo

Evaluar la aplicación del biochar como vehículo de hongos multifuncionales en ASFYT para la resiliencia de suelos de yerba mate.

Desarrollo del tema

La propuesta de evaluación de uso del biochar adicionado con hongos multifuncionales como enmienda se relaciona con la mejora de la estructura y capacidad de retención de agua y nutrientes en suelos agrícolas con especial énfasis en cultivos de yerba mate.

El biochar o biocarbón es un material carbonoso que se obtiene a través de la pirólisis de biomasa, un proceso de calentamiento en ausencia de oxígeno. Se utiliza en la agricultura debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo, aumentar la retención de agua y nutrientes, y reducir la lixiviación de compuestos perjudiciales. El biochar de yerba mate, se obtiene como subproducto de la biomasa (pequeñas ramas

descartadas) de esta planta a partir de la pirólisis lenta realizada en los secaderos de yerba mate (Milesi Quan *et al.*, 2016; Masebinu *et al.*, 2019; Delaye and Ullé, 2020; Cardoso Júnior *et al.*, 2022).

Este biochar está compuesto por carbono fijo, carbono lábil, compuestos volátiles, humedad y ceniza. La superficie de este solido es heterogénea debido a las fracciones carbonizadas y no carbonizadas que coexisten, permitiendo varios mecanismos de sorción. Existen tres rutas de sorción (absorción y adsorción) posibles: quimisorción, fisisorción e intercambio iónico (Pignatello, 2011). Gracias a estas propiedades, se conoce desde tiempos prehistóricos que el biocarbón produce aumento en las propiedades relacionadas a la fertilidad y, por tanto, al fortalecimiento de la salud del sistema en el que los cultivos se desarrollan (Glaser y Birk, 2012; Schulz y Glaser, 2012; Pachón, 2013; Schaefer, 2023).

Los pocos estudios existentes demostraron que el biochar tiene el potencial de reducir o prevenir el brote de enfermedades fúngicas de las plantas (Duku *et al.*, 2011; Wiedner y Glaser, 2013; Nguyen *et al.,* 2016; Zhang *et al.*, 2023).

La reducción de la aplicación de pesticidas dañinos en los agroecosistemas mediante la adición de biochar parece posible, pero se necesita más investigación sobre los factores que dinamizan la adsorción (Rosales *et al.*, 2017).

Por otra parte, la interacción entre la superficie de biochar y los microorganismos presentes en los suelos podría formar pellets como vehículo fertilizante. La formación de estos pellets inoculados con cepas de hongos multifuncionales con potencial bioestimulante y biocontrolador involucra la adhesión física de los hongos a la superficie de biochar por medio de estructuras como micelios y esporas que puede involucrar procesos de adsorción (Sung-inthara *et al.*, 2024).

Al aplicar los pellets mencionados en el párrafo anterior, la superficie del suelo potencia su capacidad enriqueciendo la microbiota de hongos benéficos para los cultivos. Con las sucesivas aplicaciones, se produciría el establecimiento y colonización de hongos beneficiosos multifuncionales en los suelos donde se desarrollan las raíces de la yerba mate mediante biochar. De esta manera se crearía un microbioma rizosférica favorable para la fertilidad de las plantas y reducción de

enfermedades radiculares mediante el biochar inoculado con hongos como agentes de biocontrol.

Asimismo, son necesarios estudios que indaguen cómo el biochar podría mejorar suelos oxisólicos tropicales degradados por plantaciones intensivas, ayudando a restaurar la productividad y biodiversidad en sistemas agrícolas que se aproximan a prácticas ancestrales adaptadas a las condiciones del bioma tropical.

Este estudio permitiría comenzar a explorar las condiciones básicas en que el biochar actúa en suelos oxisólicos lateríticos tropicales históricamente degradados en la región por plantaciones intensivas y que actualmente no poseen agregado de agroquímicos ni manejo de remoción de suelo aproximando las prácticas a aquellas ancestrales adaptadas a las condiciones naturales del bioma (Schulz y Glaser, 2012; Schaefer, 2023).

En este trabajo se realiza la divulgación del inicio de un proyecto de investigación para la aplicación de biochar como vehículo de esporas con cepas fúngicas multifuncionales en un ASFYT yerbatero en las plantaciones de la Cooperativa Agrícola e Industrial de Yapeyú Limitada (CAIYaL), en el municipio de Guaraní (Misiones, Argentina).

El uso alternativo del biochar producido por secaderos de yerba de la Provincia de Misiones promete ser una estrategia innovadora y eficaz para una agricultura más sostenible y respetuosa con el bioma del cultivo de yerba mate en la provincia.

Conclusión

El uso de biochar como vehículo para hongos beneficiosos en cultivos de yerba mate ofrecería numerosas ventajas para los agrosistemas y los productores, desde la mejora de la fertilidad del suelo y el control de enfermedades, hasta el fomento de la sostenibilidad ambiental y la reducción del uso de insumos químicos, lo que disminuiría los costos productivos. Esta práctica innovadora en los ASFYT de la región tendría el potencial de incrementar la productividad y la salud de los suelos y cultivos, promoviendo así una agricultura respetuosa con el ambiente característico del bioma en el que se aplica.

Agradecimientos

Luis Alejandro Mancini, es Presidente de la Cooperativa Agrícola e Industrial de Yapeyú Limitada (CAIYaL) y junto a Julio Litniczuk y Carlos Konanchuk son productores yerbateros que contribuyen con su producción a dicha cooperativa.

María Cecilia Itatí Fasano, Marcela Paola Barengo, Natalia Soledad Amerio tienen beca de CONICET (República Argentina) para desarrollar el presente estudio como parte de su entrenamiento en la Universidad Nacional de Misiones (República Argentina).

María Lorena Castrillo, Gustavo Angel Bich y Pedro Darío Zapata son investigadores de CONICET (República Argentina).

Referencias

Anino, P. (2018). *Informes de cadenas de valor*. Yerba mate. 1–28. En: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_fruta_de_carozo.pdf

Bolan, N., Hoang, S.A., Beiyuan, J., Gupta, S., Hou, D., Karakoti, A., Joseph, S., Jung, S., Kim, K.H., Kirkham, M.B., Kua, H.W., Kumar, M., Kwon, E.E., Ok, Y.S., Perera, V., Rinklebe, J., Shaheen, S.M., Sarkar, B., Sarmah, A.K., Van Zwieten, L. (2022). Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, *67*(2), 150–200. https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1922047

Bowen, H.J.M. (1975). Soil pollution. In Educ.Chem. 12(3). https://doi.org/10.5124/jkma.1998.41.10.1032

Cardoso, J.C.D., Pimenta, A.S., Souza, E.C., de Pereira, A.K.S., Días, J.A.F. (2022). Uso agrícola e florestal do biochar: estado da arte e futuras pesquisas. *Research, Society and Development*, *11*(2), e55711225999. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25999

Dominchin, M.F., Verdenelli, R.A., Vargas, G.S., Aoki, A.M., Marin, R.H., Meriles, J.M. (2019). Efecto de la aplicación de biochar avícola sobre las propiedades químicas y microbiológicas de un suelo Haplustol típico con diferentes intensidades de uso. *Ciencia Del Suelo*, *37*(2): 315–327.

Duku, M.H., Gu, S., Hagan, E.B. (2011). Biochar production potential in Ghana - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(8): 3539–3551.

https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.010

Dvořáčková, H. (2021). Potencial de biocarbón después de su activación biológica por microflora nativa del suelo. *Revista MVZ Cordoba, 26*(3). https://doi.org/10.21897/rmvz.2219

Francou, C. (2004). *Stabilisation de la matière organqiue au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage* - Recherche d'indicateurs pertinents [Institut National Agronomique Paris-Grignon]. In Ecole Doctorale ABIES: Vol. Doctorat. https://pastel.hal.science/file/index/docid/503349/filename/These-Cedric_Francou.pdf

Giri, B., Giang, P.H., Kumari, R., Prasad, R., Varma, A. (2005). *Microbial Diversity in Soils.* In: Buscot, F. and A. Varma. 2005. Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions. In Soil Biology (Vol. 3). Sringer.

Glaser, B., Birk, J.J. (2012). State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta, 82*: 39-51.

Hossain, M.B. (2020). Agricultural Land Use and Management Practice Influence on Efflux and Influx of Carbon between Soil and the Atmosphere: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, *32*(6), 31–48. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2020/v32i630290

INYM. (2021). *Bien nuestro*. In Desarrollo Yerbatero.

Lal, R. (2021). Soil management for carbon sequestration. *South African Journal of Plant and Soil*, *38*(3): 231-237. https://doi.org/10.1080/02571862.2021.1891474

Maia, C.M.B.F., Madari, B.E., Novotny, E.H. (2011). Advances in Biochar Research in Brazil BT - Dynamic Soil, Dynamic Plant. Dynamic Soil, Dynamic Plant, *4:* 53-58.

Masebinu, S.O., Akinlabi, E.T., Muzenda, E., Aboyade, A.O. (2019). A review of biochar properties and their roles in mitigating challenges with anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *103*(January): 291-307. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.048

Mazzafera, P. (1997). *Maté drinking: caffeine and phenolic acid intake*. Food Chemistry.

Milesi, D.A.L., Ullé, J.Á. (2020). Biochar application in a degraded soil under sweet-potato production. Effect on edaphic properties. *Argentina, 38*(1): 162-173.

Ministerio de Economía. (2023). *Informe productivo provincial*. Misiones. En: https://www.argentina.gob.ar/economia/politicaeconomica/informes-productivos-0/informes-provinciales/caracterizacion-productiva

Nguyen, D.H., Scheer, C., Rowlings, D.W., Grace, P.R. (2016). Rice husk biochar and crop residue amendment in subtropical cropping soils: effect on biomass production, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions. *Biology and Fertility of Soils*, *52*(2): 261-270. https://doi.org/10.1007/s00374-015-1074-4

Pachón, L. (2013). *Análisis Económico en el Uso del Conocimiento Tradicional en los Suelos Antropogénicos Amazónicos*: Biochar. 75.

Pignatello, J.J. (2011). *Interactions of anthropogenic organicchemicals with natural organic matterand black carbon in environmental particles*. In P. M. H. Baoshan Xing, Nicola Senesi (Ed.), Biophysico-Chemical Processes in Environmental Systems (pp. 1–50). Copyright © 2011 John Wiley & Sons, Inc. https://doi.org/10.1002/9780470944479

Quan, C., Gao, N., Song, Q. (2016). Pyrolysis of biomass components in a TGA and a fixed-bed reactor: Thermochemical behaviors, kinetics, and product characterization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *121*: 84-92. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.07.005

Ralebitso, S.K.T., Orr, C.H. (2016). *Microbial Ecology Analysis of Biochar-Augmented Soils: Setting the Scene*. Essential Soil Microbial Ecology, Biochar Ap, 1-40. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803433-0.00001-1

Resende, M., Sturion, J., Carvalh, A. (2000). *Programa de melhoramento da erva-mate coordenado pela Embrapa: resultados da avaliação genética de populações, progênies, indivíduos e clones*.

Rosales, E., Meijide, J., Pazos, M., Sanromán, M.A. (2017). Challenges and recent advances in biochar as low-cost biosorbent: From batch assays to continuous-flow systems. *Bioresource Technology*, *246*: 176-192. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.084

Schaefer, C. (2023). *The Soils of Brazil*. In World Soils Book Series. Sringer Nature Switzerland (1st ed.). Springer Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3

Schulz, H., Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *175*(3): 410-422. https://doi.org/10.1002/jpln.201100143

Sung-inthara, T., Juntahum, S., Senawong, K., Katekaew, S., Laloon, K. (2024). Pelletization of soil amendment: Optimizing the production and quality of soil amendment pellets from compost with water and biochar mixtures and their impact on soil properties. *Environmental Technology and Innovation*, *33*(December 2023). 103505. https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103505

Wiedner, K., Glaser, B. (2013*).* Biochar Impact on Plant Resistance to Disease. *Biochar and Soil Biota*, 49-76. https://doi.org/10.1201/b14585-4

Zhang, S., Fang, Y., Kawasaki, A., Tavakkoli, E., Cai, Y., Wang, H., Ge, T., Zhou, J., Yu, B., Li, Y. (2023). Biochar significantly reduced nutrient-induced positive priming in a subtropical forest soil. *Biology and Fertility of Soils*, *59*(6): 589-607. https://doi.org/10.1007/s00374-023-01723-7

ELABORACIÓN DE MODELOS 3D DE LOS HUESOS DE LOS MIEMBROS TORÁCICO Y PELVIANO DE EQUINO

Stephanie González[1*], Andrea Nieves-Osorio[1], Ma. Reyes Pichardo-Molinero [1]
Samantha Jardon-Xicotencatl [1] y Carlos Gerardo García-Tovar [1]
[1] *Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*
*stef.gonzalez8368@gmail.com

Resumen

La Anatomía Veterinaria Básica es una asignatura básica en la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia en la que el estudiante debe ser capaz de comprender los componentes anatómicos e integrarlos al ejercicio profesional en los diferentes campos de la profesión. El estudio de la anatomía se basa en la disección y a lo largo del tiempo se han utilizado distintos materiales de apoyo didáctico como son los atlas en donde se muestran disecciones de cadáveres y piezas anatómicas preservadas. La realidad educativa que generó la pandemia estuvo determinada por la necesidad de incorporar las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) a la impartición de las clases teóricas y prácticas a distancia. Los avances tecnológicos han contribuido al desarrollo de los diferentes campos de la educación y las diversas formas de aprender de los jóvenes, así como explorar y buscar otras nuevas que faciliten y mejoren sus estrategias didácticas, tanto en la impartición de la docencia teórica y práctica. El escaneo 3D es uno de los métodos más utilizados hoy en día para la digitalización de objetos que en el área de la anatomía ha sido aprovechado como complemento al estudio en piezas reales. En este trabajo se elaboraron modelos en 3D a partir de huesos de los miembros torácico y pelviano del equino. Permiten a los estudiantes trabajar en un ambiente virtual, de fácil acceso, con especímenes reales digitalizados, con la gran facilidad de poder consultarlos en cualquier lugar con un dispositivo móvil, computadora o tableta con acceso a internet, sin la necesidad de asistir al laboratorio para estudiar las piezas reales. Asimismo, poder magnificarlos, rotarlos, leer contenido adicional que puedan tener para complementar el estudio o

reproducir una animación. Con esto es posible una visualización detallada y precisa de las partes que conforman a cada pieza ósea.

Palabras clave: anatomía veterinaria, osteología, miembros locomotores y TIC.

Introducción

En los últimos años, la enseñanza de los cursos de anatomía ha sido gravemente afectada por la limitada disponibilidad de material cadavérico. Esta circunstancia ha obligado tanto a los anatomistas de todo el mundo como a los docentes a adaptar sus programas de una manera diferente, y ha llevado a los estudiantes a reconsiderar sus métodos de estudio. Como resultado, en la mayoría de los cursos de anatomía, la disección tradicional ha sido sustituida por la prospección de material cadavérico y el uso de preparaciones de órganos tratados con diversos métodos de preservación. (Inzunza, 2015). Sin embargo, estas formas de enseñanza también han tenido dificultades, tales como la disponibilidad a las piezas anatómicas de buena calidad para que puedan ser preservadas, el costo de los insumos con los que se realizan las preparaciones y en un menor porcentaje la incorporación de las tecnologías que permiten explorar no sólo la anatomía si no otras disciplinas dentro de la medicina. (Araujo, 2017). Otro gran cambio significativo es la realidad educativa que generó la pandemia en sus distintas fases ya que estuvo determinada por la necesidad de incorporar las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) a la impartición de las clases teóricas y prácticas a distancia. Gracias a la utilización de diferentes herramientas TIC se pudieron sobrellevar muchas de las situaciones generadas por la pandemia de COVID-19, que afectaron a la docencia presencial. Para muchos docentes la pandemia fue la invitación forzada al mundo de las nuevas tecnologías y algunos han comprendido el beneficio que supone la utilización de estas herramientas docentes y han decidido seguir utilizando diferentes herramientas TIC. En este trabajo se implementó una de las tantas nuevas tecnologías que apoyan a la educación, la creación de modelos en tercera dimensión a partir de huesos de equino preservados y esto gracias a la utilización de un escáner portátil fácil de usar y que genera imágenes de alta calidad, sabemos que este tipo de tecnología es cara por lo tanto no

es fácil de adquirir, pero la realización de este tipo de trabajos es un paso para abrir camino a la posibilidad de poder obtener equipos como estos mediante el apoyo de la universidad teniendo en cuenta que si son de utilidad para el aprendizaje continuo tanto de los alumnos como de los profesores. El escaneo 3D es uno de los métodos más utilizados hoy en día para la digitalización de objetos y aunque todos estos métodos no se crearon con el fin del estudio anatómico los académicos de esta área que es la medicina han sabido aprovecharlos y han ido de la mano con la tecnología para apoyar el surgimiento de nuevas formas de estudio. Cao (2023) y Saorín *et al.* (2015) afirmaron lo siguiente:

> A través de la técnica de escaneo basada en la utilización de láser o luz infrarroja para crear un modelo digital de un objeto, midiendo la distancia al mismo y la variación de la luz al recorrer la superficie del objeto produce modelos con un gran nivel de detalle, por lo que es ideal para obtener información de geometrías complejas.

Esto tal y como lo puede llegar a ser un hueso de un animal y que en este caso es la técnica por utilizar para que los modelos creados tengan el mejor detalle posible, además, estos modelos pueden ser impresos en 3D, creando réplicas físicas exactas lo cual puede ser el siguiente paso de la educación implementando nuevas tecnologías, el poder tener en las manos un modelo con el cual interactuar y se pueda tener una comprensión más profunda de las imágenes planas de un libro. Entonces, ¿La incorporación de este tipo de tecnologías permitirá a los alumnos adquirir nuevas capacidades a la hora del estudio de la anatomía veterinaria? López (2018) señaló que a través de estas tecnologías los alumnos adquirirán la capacidad de “dominar, retener y generalizar” el saber a través del aprendizaje basado en la experiencia y que al ser una formación continua se mantendrán al día con la información que necesitan o desean adquirir. González *et al.* (2022) mencionaron que “por otro lado, se evitan algunas limitaciones que se presentan en entornos educativos convencionales, ya sean económicas, físicas, de seguridad, entre otras, logrando que más de un estudiante a la vez pueda observar e interactuar con un escenario como estos”. En resumen, en este trabajo se explora el modelado en 3D proporcionando herramientas

a los estudiantes de la carrera MVZ inscritos en la materia de Anatomía Veterinaria Básica de la FES Cuautitlán UNAM y se discute el impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Objetivo

Elaboración de un atlas digital 3D de huesos de miembro torácico y pelviano de equino mediante el escaneo de piezas preservadas para que los modelos generados sirvan como material didáctico a cualquier estudiante de la carrera MVZ inscritos en la materia de Anatomía Veterinaria Básica de la FES Cuautitlán UNAM.

Desarrollo del tema

El material didáctico producido consta de un atlas digital 3D de huesos de los miembros torácico y pelviano de equino a partir de piezas seleccionadas en el Laboratorio de Apoyo Técnico de Anatomía (LATA) de la FES Cuautitlán UNAM. Estos huesos se obtuvieron de un cadáver de equino adulto que fue donado por el Hospital de Equinos de la FES Cuautitlán, posteriormente se realizó la limpieza del espécimen para solo obtener y preservar las piezas óseas mediante la osteotécnica.

Para poder elaborar el material didáctico se utilizó un escáner 3D portátil (SHINING 3D EINSTAR) y una computadora (DELL G15) con Windows 11, Intel Core i7 con tarjeta NVIDIA GeForce Graphics (Figura 1), este último fue de mayor importancia ya que el escáner lo requiere para su uso.

Figura 1. Se muestra la imagen del escáner 3D portátil (Elaboración propia).

Una que vez que se obtuvieron los huesos ya mencionados se realizó el escaneo de cada uno de ellos con el equipo SHINING 3D EINSTAR. Para iniciar con el escaneo se utiliza el software EXStar. Es necesario una calibración y balance de blancos de dicho equipo y se realiza cada vez que el software lo indique. El escaneo se realiza con mayor facilidad en objetos mayores a los 10 cm y en nuestro caso no fue necesario algún tipo de preparación como el que recomiendan al utilizar el equipo. En la Figura 2 se anotan los botones y los indicadores para el escaneo.

Figura 2. Botones de funcionamiento del escáner.

1- Indicador de distancia de trabajo, 2- Indicador de estado del escáner, 3- Acercar/más brillante, 4- Vista previa/escanear/pausar, 5- Alejar/más oscuro. Tomada del Manual de Usuario: https://doc-asset.shining3d.com/exstar/e10-appearance.png

Cuando se inicia el escaneo la información es transmitida hacia la computadora, sin embargo, puede que se tome más información de la que se necesita como objetos no deseados, fondos o duplicado de la pieza, si esto pasa se realiza edición de las imágenes (Figura 3).

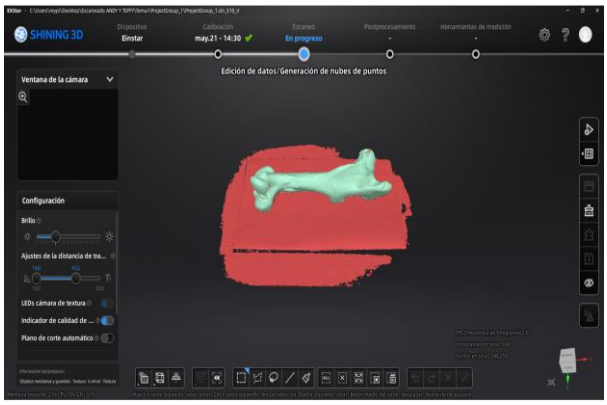


Figura 3. Edición de los modelos 3D (Elaboración propia).

Cuando se requiere realizar más de una vista de escaneo se pueden crear más proyectos para escanear la vista contraria y alinearlos para crear la imagen en 3D como se ejemplifica en la Figura 4.

Figura 4. Alineación de los escaneos (Elaboración propia).

Al término del escaneo y edición de las imágenes en EXStar las imágenes generadas se pueden importar en archivos OBJ, STL, ASC, PLY y 3MF. El tipo de archivo que se necesitó para su posterior carga en línea fueron OBJ, JPG y MTL.

Algunos de los modelos fueron editados en una aplicación externa al software antes de su carga en línea con el objetivo de señalar ciertas estructuras que abarcan una porción considerable del hueso como lo fueron: cuello, bordes, depresiones amplias y salientes grandes (Figura 5).

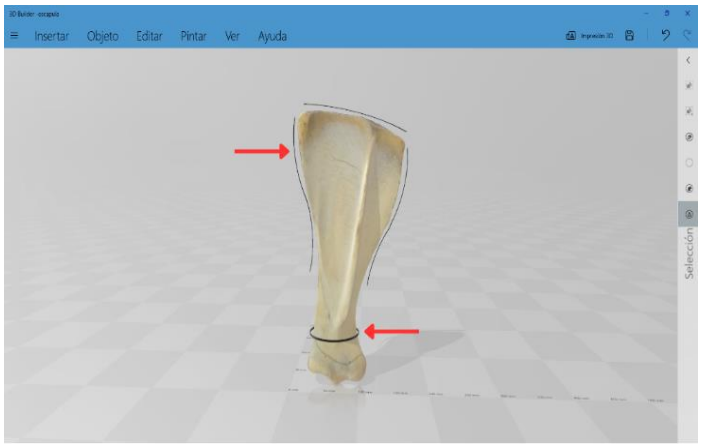


Figura 5. Edición final de los modelos (Elaboración propia).

Una vez que todas las piezas fueron escaneadas y editadas se procedió a realizar la carga de los modelos en la aplicación Sketchfab. Este sitio web permite realizar la carga directa de los archivos que se guardaron al momento de terminar el escaneo (MTL, OBJ y JPG).

Sketchfab permite realizar la edición de los modelos y agregar algunas propiedades a la imagen como lo fue la colocación y señalización de cada una de las estructuras óseas de cada hueso con su descripción correspondiente (Figura 6), de esta forma se complementó el estudio de la información ofrecida. Fue también importante agregar una identificación de nuestro trabajo ya que este sitio web es público por lo cual se colocó a cada modelo un fondo de imagen que incluyera los datos del proyecto, así como los autores y asesores.

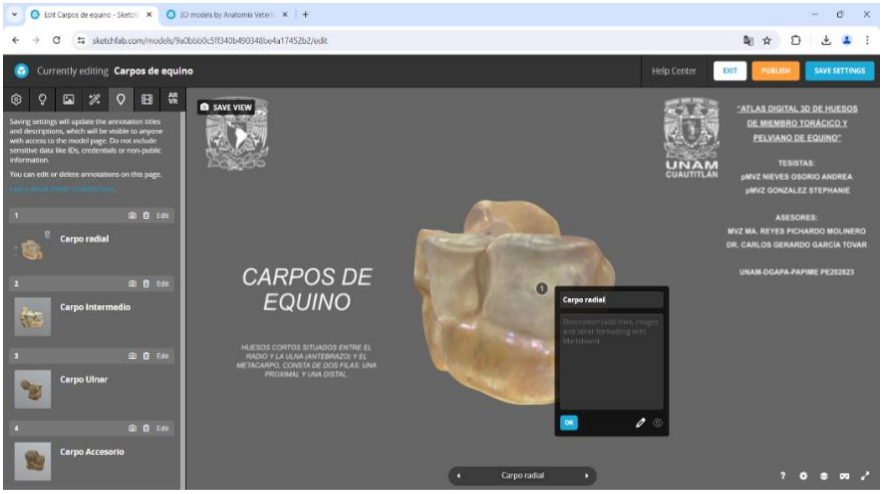


Figura 6. Colocación de textos y descripción complementaria en los modelos (Elaboración propia).

De esta forma se concluye el trabajo que se realiza sobre el modelo y queda listo para que los alumnos puedan ingresar para estudiar con el modelo 3D.

El número total de modelos disponibles en línea son 21 y se pueden consultar en el siguiente enlace: https://skfb.ly/pq7xH

En cada modelo se presentan los huesos, sus porciones y una descripción de cada una de ellas de acuerdo con lo descrito en la literatura (Getty, 1982; Bernal *et al.*, 2013; Singh, 2017; Bernal *et al.*, 2020; Bernal *et al.*, 2021)

La nomenclatura utilizada está acorde a la Nómina Anatómica Veterinaria (Gasse, 2017).

Los modelos se proporcionaron a estudiantes que cursan la asignatura de Anatomía Veterinaria Básica y mediante una encuesta se evidenció la utilidad de este trabajo en el proceso enseñanza-aprendizaje, comprobándose que las imágenes digitales 3D tienen un gran impacto en el aprendizaje de los estudiantes de la Anatomía Veterinaria, la cual es una materia básica que apoya fuertemente a áreas aplicativas de la Medicina Veterinaria y Zootecnia como por ejemplo; la cirugía, la clínica y el diagnóstico por imagen, entre otras.

Conclusiones

Hablando estrictamente sobre la educación en Medicina Veterinaria, se sabe que la forma de estudio de los veterinarios ha evolucionado constantemente para satisfacer las demandas cambiantes del mercado laboral, la sociedad y los avances en la ciencia y la tecnología y se ha observado un aumento en el interés por los métodos de enseñanza basados en tecnología, como el aprendizaje en línea y la realidad virtual, todo esto puede mejorar la participación de los estudiantes si se sabe aprovechar y utilizar correctamente, sin embargo, la implementación de estas tecnologías también presenta desafíos, incluyendo la necesidad de entrenamiento docente adecuado y la accesibilidad para los estudiantes. Para las sesiones prácticas de la asignatura de Anatomía Veterinaria Básica de la FES Cuautitlán el método de enseñanza más frecuente son las disecciones que se realizan en el laboratorio con los cadáveres de caninos. Este método ayuda a los estudiantes a la ubicación e identificación de las diferentes partes corporales y les ayuda a tener una visión completa de las estructuras y órganos que conforman el organismo, otra forma de aprendizaje es por medio de la preservación de piezas anatómicas con la utilización de diferentes técnicas como son las osteotécnicas y esplacnotécnicas (insuflado, repletado, glicerinados, alglifen y alcohol propilenglicol) (Nieto *et al.*, 2014). Sin embargo, no siempre se cuenta con cadáveres suficientes, ni órganos o piezas anatómicas para la cantidad de alumnos inscritos en la materia, además de que en caso de los especímenes de canino no suelen durar el mismo tiempo que el curso por diferentes factores como la preparación, el cuidado o la contaminación de este. La utilización del material electrónico que se elaboró fue con fines didácticos, y por lo tanto se esperó que los alumnos pudieran adquirir los conocimientos de una forma sencilla y clara y que también desarrollaran capacidades, habilidades y destrezas, a través del uso de material de apoyo, además de que es de acceso fácil y gratuito para la comunidad en general. Este trabajo brindó al usuario la habilidad de identificar cada estructura de los huesos de los miembros torácico y pelviano del equino con la ventaja de que estos modelos se encuentran en tercera dimensión siendo así más fácil la visualización ya que se logra una integración anatómica más completa al relacionar las diferentes estructuras,

se buscó que este material se pueda usar ya sea durante las clases prácticas o teóricas por parte del docente o que los alumnos al estudiar y repasar lo puedan hacer desde cualquier dispositivo electrónico informático (teléfono celular, computadora, tableta, etc.) con acceso a internet ya que hacerlo directamente en la escuela en algunas ocasiones puede ser difícil para los estudiantes, de esta forma se superó la barrera del tiempo y el espacio para estudiar e incluso hacerlo de forma colaborativa con sus compañeros. Este atlas digital en 3D es un paso grande hacia la implementación de las TIC especialmente en el estudio de la Anatomía ya que se puede implementar no solo con estructuras óseas sino también en el estudio de órganos, además de que debido a la poca disponibilidad de especímenes ya sea caninos, bovinos, equinos, etc. los pocos que se tienen a la mano en los laboratorios pueden ser digitalizados y de esta forma el material se encuentre siempre existente en línea con una durabilidad infinita.

Referencia

Araujo, C.J. (2017). Del cadáver a la realidad virtual en el aprendizaje de la anatomía humana en la Escuela de Medicina de la Universidad del Zulia. *Rev Argentina Anatomía Online, 8*(3):98-101.

Bernal, Z.H., Carmona, O.A., Carrillo, M.F., Flores, O.G., García, T.C.G., González, L.C.J., Hernández, H.R., Oliver, G.M.R., Ortiz, B.T., Pichardo, M.M.R., Reyes, S.A.L., Soto, Z.C.I., Waldo, T.S. (2013). *Manual de prácticas y antología de Imágenes de Anatomía Veterinaria Básica.* México. FES Cuautitlán UNAM.

Bernal, Z.H., García, T.C.G., Oliver, G.M.R., Pichardo, M.M.R., Soto, Z.C.I. (eds.) (2020). Bernal, Z.H., Carmona, O.A., Carrillo, M.F., Castillo, H.G., Cerero, G.G.D., Chávez, G.J.I., Espinosa, O.F., Flores, O.G., García, T.C.G., González, L.C.J., Hernández, H.R., Jardon, X.S., Miranda, H.E., Torres, P.S., Nieto, B.J.L., Oliver, G.M.R., Ortiz, B.T., Pichardo, M.M.R., Reyes, S.A.L., Soto, Z.C.I., Tovar, B.N., Waldo, T.S. *Atlas Digital de Anatomía de los Animales Domésticos*. FES Cuautitlán UNAM.

Bernal, Z.H., García, T.C.G., Oliver, G.M.R., Pichardo, M.M.R., Soto Z.C.I. (eds.) (2021). Bernal, Z.H., Carmona, O.A., Carrillo, M.F., Cerero, G.G.D., Chávez, E.A., Chávez, G.J.I., Espinosa, O.F., Flores, O.G., García, T.C.G., González, L.C.J., Hernández H.R., Jardon, X.S., Miranda, H.E., Nieto, B.J.L., Oliver, G.M.R., Ortiz, B.T., Pichardo, M.M.R., Reyes S.A.L., Soto, Z.C.I., Torres, P.S., Tovar, B.N., Waldo, T.S. *Apuntes de Anatomía Veterinaria Básica*. México. FES Cuautitlán UNAM.

Cao, A., Dapoto, S.H., Thomas, P.J., Pesado, P.M. (2024). *Digitalización 3D para aplicaciones móviles con realidad virtual y realidad aumentada*. In XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC), pp 428-438.

Gasse, H. (2017). *Nomina Anatómica Veterinaria*. International Committee on Veterinary Gross Anatomic Nomenclature. Hannover Germany. Chairman Editorial Commitee 6th. ed.

Getty, R., Sisson, G. (1982). *Anatomía Veterinaria de los Animales Domésticos*. Salvat, Ed., 5ª ed. España.

González, T., Ibeas, C., Gravert, I., León, A., Rojas, M. (2022). Características de un escenario de Realidad Virtual para el aprendizaje de anatomía: Una revisión bibliográfica. *Revista Española de Educación Médica, 3*: 81-92; http://doi.org/10.6018/edumed.542861

Inzunza, O., Caro, I., Mondragón, G., Baeza, F., Burdiles, Á., Salgado, G. (2015). Impresiones 3D, nueva tecnología que apoya la docencia anatómica. *International Journal of Morphology*, *33*(3): 1176-1182.

López, M.V.M. (2018). *La Realidad Virtual como Recurso Educativo en las Ciencias Experimentales*. Tesis de grado. Universidad de Valladolid.

Nieto, J.L., García, T.C.G., Pichardo, M.M.R., Reyes, S.A.L., Soto, Z.C.I. (2014) *Técnicas para preservar piezas anatómicas*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM.

Saorín, P.J., Meier, C., De la Torre, C.J., Melián, D.D., Drago, D.A.M. (2015*).* Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad*, 427-444.

Singh, B. (2017), *Dyce, Sack and Wensing´s Textbook of Veterinary Anatomy*. Elsevier Ed, 5th ed. U.S.A.

APLICACIÓN DE MEB EN LA CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS PROTEICAS DE HÍGADO LIOFILIZADO DE CONEJO

Gyna Karen Oreo-Mota[1], Sofía González-Gallardo[2], Jorely Palma-Clemente[3] y Adriana Llorente-Bousquets[4*]

[1-4] *Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán* UNAM

*llorente@unam.mx

Resumen

El hígado es una buena fuente de proteínas de alta calidad que proporciona una gran cantidad de aminoácidos esenciales, grasa y vitaminas. Existe un creciente interés por desarrollar alimentos para mascotas, a base de esta materia prima cárnica, con objeto de disminuir costos y aumentar su valor nutrimental. Como método de conservación, las vísceras pueden ser ultracongeladas para evitar los daños estructurales, al formarse cristales de hielo de menor tamaño y preservar las características texturales. Tras la ultracongelación, se aplica la liofilización, método que ha demostrado preservar el valor nutrimental y las propiedades organolépticas de los alimentos, deteniendo así, la mayoría de las reacciones de deterioro y un producto final de excelente calidad. La propuesta de este proyecto surge del interés de ampliar la aplicación de la liofilización a materias primas consideradas desperdicio, dentro de la industria alimentaria, para mercados en crecimiento, como el de alimentos para mascotas. El objetivo de este trabajo fue fundamentar el efecto de la liofilización en diferentes geometrías (cubo y placa) de hígado liofilizado de conejo, sobre los cambios estructurales del mismo, además de utilizar la liofilización como estrategia de secado para su posterior observación al microscopio electrónico de barrido. Se utilizaron muestras de hígado en geometrías de cubo y placa de conejos de la raza Chinchilla, ultracongeladas a -50 °C y liofilizadas a 0.160 mbar a -50 °C durante 24 horas. Las muestras así obtenidas, fueron cubiertas con oro, para realizar el análisis de las estructuras mediante el microscopio electrónico de barrido modelo JSM-6010LA, JEOL USA para la descripción de los cambios estructurales.

Palabras clave: Hígado de conejo, liofilización, estructuras, Microscopía Electrónica de Barrido.

Introducción

En la actualidad, las vísceras de conejo son consideradas un desperdicio por lo que representan una pérdida económica. Por su parte, el hígado es un órgano que presenta cuatro lóbulos (lóbulo medial derecho, lóbulo lateral derecho, lóbulo medial izquierdo y lóbulo lateral izquierdo) divididos por una hendidura central y en la parte inferior se encuentra la vesícula biliar (Kelly, 2002). Es una buena fuente de proteínas de alta calidad que proporciona una gran cantidad de aminoácidos esenciales, grasa y vitaminas (Cabana, 2018). Actualmente, existe un creciente interés por desarrollar productos a base de desperdicios de la industria cárnica, para disminuir costos y aumentar el porcentaje de proteínas presentes en dichos alimentos, así como, aprovechar su alto valor nutrimental. Un método de conservación que puede ser utilizado para preservar las vísceras, es la ultracongelación, proceso en el cual se somete al alimento a un enfriamiento que favorezca la formación de cristales de hielo de menor tamaño, evitando así, los daños celulares debidos al rompimiento de estructuras, esto ayuda a preservar las características organolépticas del alimento principalmente las texturales, (Park y Kim, 2023). La liofilización es un método que ha demostrado preservar el valor nutrimental y las propiedades organolépticas de los alimentos. Se basa en la deshidratación por sublimación de un producto ultracongelado. La liofilización es considerada una operación de conservación de alimentos debido a que reduce significativamente la actividad de agua (a_ω), el agua libre del alimento que permite que los microorganismos la utilicen para llevar a cabo sus rutas metabólicas. Debido a la ausencia de agua líquida y a las bajas temperaturas requeridas para el proceso, se controlan la mayoría de las reacciones de deterioro químico y microbiológico lo que da un producto final de excelente calidad (Ratti, 2001).

La geometría del alimento influye significativamente en el proceso de liofilización debido a que entre mayor sea el área de contacto, habrá mayor eficiencia en la eliminación del

agua durante la sublimación. El espesor también presenta gran influencia en el proceso debido a que entre menor sea permite que el agua migre más fácilmente a la superficie del alimento y por lo tanto se llevará a cabo más rápido la sublimación. Por otra parte, la forma y la densidad del alimento también pueden influir en que la liofilización se dé uniformemente y que la calidad final del alimento sea óptima (Oyinloye, 2020). Se resalta que en este proyecto se utiliza la liofilización como estrategia de preparación de las muestras secadas a punto crítico, para su observación al MEB.

Objetivo

Determinar el efecto de la liofilización en el hígado de conejo en geometrías de cubo y placa, mediante el análisis estructural con microscopía electrónica de barrido.

Materiales y Métodos

Se utilizaron muestras de hígado en geometrías de cubo y placa de conejos de la raza Chinchilla, obtenidos en el Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) de la FESC-UNAM, ultracongeladas a -50±2°C durante 24 horas y liofilizadas a una presión de 0.160 mbar a -50±1 °C durante 24 horas. Las muestras así obtenidas se almacenaron en refrigeración a 4 °C.

Las muestras de placas y cubos liofilizados se colocaron en los portamuestras del MEB modelo JSM-6010LA, JEOL USA a 10KV para cubrirse con oro en el cobertor iónico Cobertor iónico Fine Coat Ion Sputter de JEOL. Tras lo cual, se realizaron observaciones a diferentes aumentos: 50X, 100X y 500X (González y Noguez, 2023).

Resultados

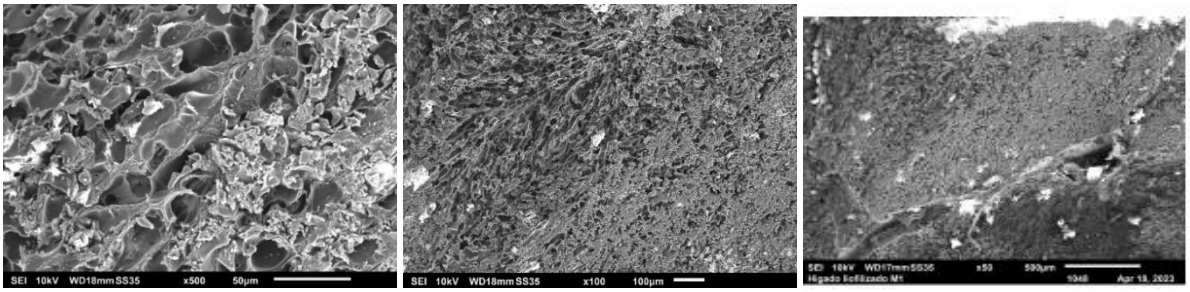


Figura 1: hígado liofilizado, geometría de placa: (*izq.*) 500X, (*centro*) 100X (*derecha*) 50X. Se observan las estructuras bien delimitadas y sin daños.

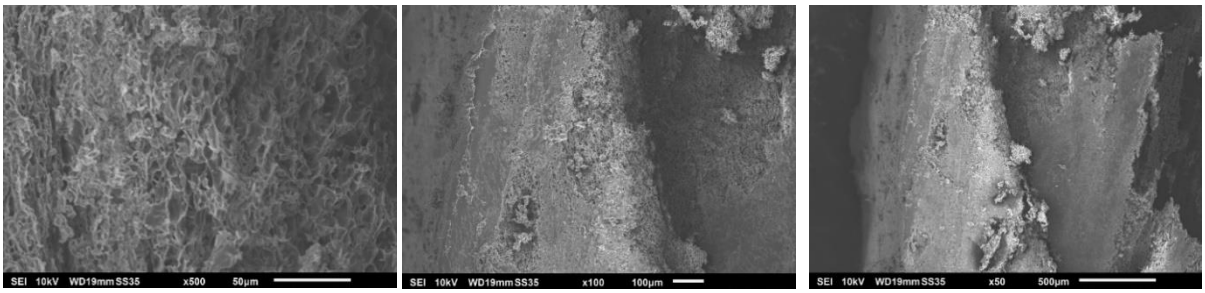


Figura 2: hígado liofilizado, geometría de cubo: (izq.) 500X, (centro) 100X (derecha) 50X. Se observan las estructuras sin daños.

Discusión

En la Figura 1 se presenta la estructura interna del hígado en geometría de placas liofilizadas. En la Figura 2, geometría de cubos. En ambas imágenes, se puede apreciar claramente la superficie porosa causada por la liofilización de la muestra y no se identifican cavidades de gran tamaño en la estructura por lo que se sugiere que el procesamiento no ocasionó daños estructurales. Las cavidades formadas, por los cristales de hielo durante el proceso de ultracongelación y posterior liofilización, se encuentran bien delimitadas, sin daño a la estructura de la matriz. En cuanto a la disposición de estas cavidades, se observa que se encuentran dispersas en toda el área de estudio, sin embargo, existe una zona donde se aprecian algunos conglomerados que

pueden ser de sales, lípidos u otros compuestos, formados durante la ultracongelación y posterior liofilización debido a la concentración de solutos. La Liofilización de muestras de hígado en ambas geometrías, en sustitución de secado a punto crítico, permitió explorar una alternativa de preparación y menor manipulación de estas muestras, para su observación y análisis posterior con Microscopía electrónica de barrido.

Agradecimientos: Dra. Elisa Gutiérrez Hernández del Módulo de conejos del CEA-FESC-UNAM. QFB Alejandra Sánchez Herrera del Laboratorio de Microscopía Electrónica L5 Planta Baja, Campo 1 FESC-UNAM.

Bibliografía

Cabana, N.J., Rojas, S.J.P.V., Abanto, M.M.R., Paz F.J.R. (2018). *Snack líquido para perros*.

González, M.G., Noguez, A.M E. (2023). *Principios de Microscopia Electrónica de barrido y microanálisis por rayos X características*. Primera edición, Facultad de Química (UNAM) ISBN: 97860730866.

Kelly, W.R. (2002). *Enfermedad del hígado en grandes y pequeños rumiantes*. XXX Jornadas Uruguayas de Buiatría.

Oyinloye, T.M., y Yoon, WB (2020). Efecto de la liofilización sobre la calidad y el proceso de molienda de productos alimenticios: una revisión. *Procesos, 8*(3), 354.

Park, S.Y., Kim, H.Y. (2023). Physicochemical property analysis of lyophilized fresh, wet-, and dry-aged beef powders: Application of dry-aged beef crust as a food additive. *Meat Science, 195*, 109014.

Ratti, C. (2001). Aire caliente y liofilización de alimentos de alto valor: una revisión. *Revista de ingeniería de alimentos*, *49*(4): 311-319.

CALIDAD SANITARIA DE GRANOS DE MAÍZ, FRIJOL Y GARBANZO

Brenda Ramírez-Tapia[1], Gabriela Sánchez-Hernández[2], Sergio Jiménez-Ambriz[2] y María Cristina Julia Pérez-Reyes[2*]

[1]*Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.,* [2]*Unidad de Investigación en Granos y Semillas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.*

*crisp28@yahoo.com.mx

Resumen

El maíz, frijol y garbanzo constituyen una fuente importante de nutrimentos para la alimentación mexicana, ricos en carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales; empleados como materia prima en la industria agroalimentaria. Durante su desarrollo en campo, almacenamiento y procesamiento, pueden ser contaminados con hongos y bacterias, causantes de deterioro. El objetivo de este trabajo fue analizar la microbiota presente en granos de maíz, frijol y garbanzo por el método de placa agar y determinación de aflatoxinas totales por columnas de anticuerpos monoclonales. El maíz se adquirió a granel, del frijol se obtuvieron dos muestras envasadas (marca 1 y marca 2) y del garbanzo una, procedentes de Ecatepec, Estado de México. Se sembraron 100 granos de cada muestra en placas de papa dextrosa agar (PDA) y malta sal agar (MSA). Para el análisis de aflatoxinas totales se siguió el método de inmunoafinidad con columnas de anticuerpos monoclonales (Aflatest®). Los resultados de la microbiota del maíz en PDA mostraron una alta incidencia de *Fusarium* spp. (21 UFC) y en MSA *Eurotium* spp. y *Fusarium* spp. (12.3 UFC para ambos géneros); en la marca 1 de frijol en PDA la incidencia mayor fue en *Alternaria* spp. (7 UFC) y para *Fusarium* (6 UFC), en MSA *Alternaria* spp. (15.7 UFC). Para la marca 2 se identificaron *Alternaria* spp. en PDA (7.7 UFC) y una alta incidencia de *Eurotium* spp. en MSA (18.7 UFC); en ambas muestras se aislaron, *Aspergillus flavus*, otros hongos de almacén y de deterioro avanzado con menor presencia. El grano de garbanzo mostró una alta incidencia de bacterias mesófilas en PDA (32 UFC) y MSA (48.3 UFC). En el análisis de las aflatoxinas totales se determinaron trazas de éstas. Las condiciones que prevalecen durante las buenas prácticas agrícolas

y manufactura son fundamentales para conservar la calidad y asegurar la inocuidad en la cadena agroalimentaria.

Palabras clave:

Cereales, leguminosas, micotoxinas, hongos, bacterias.

Introducción

El cultivo del maíz en México es un pilar económico importante, además, de un legado cultural, alimenticio y agrícola, para las comunidades y su producción a lo largo de la historia mexicana. Se caracteriza por ser uno de los cultivos de temporal y riego que tiene presencia en toda la república. A nivel mundial México, ocupó el séptimo lugar como productor de maíz, con más de 26.5 millones de toneladas en el 2022. Se han descrito 64 razas, 59 de ellas nativas, siendo centro de origen y con la mayor diversidad genética del grano. Su participación en la producción nacional de granos es del 88.2%, siendo Sinaloa el principal productor de maíz en México con más de 5 millones de toneladas anuales (SADER, 2024). El maíz es un cereal del que se obtienen diversos productos para la industria agroalimentaria como el jarabe, utilizado como endulzante, aceite comestible, harina nixtamalizada empleada para elaboración de tortillas, tostadas y tamales, entre otros, harina de fécula de maíz, para hacer atoles, dulces y sopas (SEMARNAT, 2023; SIAP, 2024;). Además, se usa en la industria cosmética, farmacéutica y la producción de bioetanol. El grano de maíz es una fuente importante de carbohidratos (65%), fibra dietética (9.8%), proteínas (8.8%), lípidos (3.8%) y minerales (1.3%) (Urango, 2018). El frijol común es una leguminosa originaria de América, su cultivo en Mesoamérica data desde hace ocho mil años y se integró a la alimentación básica de las culturas indígenas. Es un cultivo tradicional en México y se le encuentra en todas las regiones agrícolas del país, incluye diversas clases que han sido agrupadas de acuerdo con su color en negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados. Forma parte importante de la gastronomía mexicana. Los frijoles son una fuente importante de carbohidratos complejos, vitaminas del complejo B, antioxidantes y minerales (SADER,

2022b). Las propiedades nutricionales del frijol están relacionadas con su alto contenido en proteína (14-33%), carbohidratos (52-76%), fibra (14-19%), lípidos (1.5-6.2%), vitaminas y minerales (Ulloa *et al.*, 2017). En año 2021 la producción nacional fue de 1 millón 200 mil toneladas, Zacatecas produce el 35% con más de 451 mil toneladas; México ocupó el noveno lugar en exportación a nivel mundial (SADER, 2022a). El garbanzo es una leguminosa originaria de Turquía y de ahí se extendió a otras regiones como Asia, Europa América Central y del Sur. En México se empezó a consumir tras la llegada de los españoles. Actualmente, la mayor parte se cultiva en la India, con aproximadamente más de 11 millones de toneladas anuales. A nivel mundial México, ocupa el octavo lugar con más de 171 mil toneladas en 2021, siendo los principales estados productores son Sinaloa, Sonora y Michoacán (SADER, 2023). El garbanzo es una fuente importante de proteínas (20.4%), carbohidratos (55%), lípidos (5%), fibra dietética total (15%) y otros minerales (Vargas y Cárdenas, 2021). Los granos durante su formación en campo, transporte y almacenamiento pueden estar expuestos a diversos microorganismos como hongos y bacterias, los cuales producen diferentes efectos: deterioro, pérdida de germinación y vigor en las semillas y plántulas, cambios bioquímicos, manchado, hedor, calentamiento, además, de la producción de micotoxinas en los granos, materias primas y productos procesados, las cuales pueden producir efectos nocivos a la salud humana y animal (Sanchis, 2021).

Objetivo

Analizar la microbiota presente en granos de maíz, frijol y garbanzo por el método de placa agar y determinación de aflatoxinas totales por columnas de anticuerpos monoclonales.

Materiales y métodos

Determinación de la microbiota en granos enteros

Las muestras de granos (maíz, frijol y garbanzo) se homogenizaron, tomando una submuestra de 300 granos para determinar la microbiota por el método directo de placa

agar en dos medios de cultivo: Papa Dextrosa Agar (PDA) y Malta Sal Agar (MSA), se realizaron 3 repeticiones de 100 granos para cada uno. Los granos se desinfectaron superficialmente con una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 3/1 v/v por un minuto. El exceso de NaOCl se eliminó con agua destilada estéril. La siembra de los granos se realizó bajo condiciones estériles en una campana de flujo laminar marca ESCO®. Se sembraron 100 granos repartidos en cuatro cajas de Petri para cada medio de cultivo. Las placas de agar fueron incubadas a 25 °C durante siete días. Posteriormente se cuantificaron e identificaron el número de colonias presentes. La identificación se realizó morfológicamente empleando claves especializadas para nivel de género (Warham *et al.*, 1996; Mathur y Kongsdal 2003;), para las especies de *Aspergillus* aisladas se siguieron las claves de Klich (2002).

Análisis de datos

La densidad relativa de aislamientos de las colonias de hongos se calculó de acuerdo con González *et al.*, (1997). Los resultados de la prueba de calidad sanitaria en PDA y MSA se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a una comparación de medias de LSD ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analisis System) para Windows v 9.0.

Análisis de aflatoxinas

La determinación de aflatoxinas totales se realizó por el método de columnas de anticuerpos monoclonales de inmunoafinidad Afla-test® marca Vicam® aprobado por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC) y el Servicio Federal de Inspección de Granos de Estados Unidos (FGIS). Para cada una de las muestras de granos se realizaron tres repeticiones.

Resultados

En los resultados de la microbiota de maíz se observó que en el medio de cultivo PDA el género *Fusarium* fue el que presentó un mayor número de aislados (21 UFC) con una densidad relativa del 83% (Tabla 1); en MSA *Eurotium* y *Fusarium* en ambos géneros se

aislaron 12.3 UFC, correspondiendo a una densidad relativa del 49.4 % (Tabla 2) y con una menor densidad relativa Alternaria de 1.2%. En la marca de frijol I en PDA la mayor incidencia fue *Alternaria* (7 UFC) con 41.2 % de densidad relativa, seguido de *Fusarium* (6 UFC) con una densidad relativa de 35.3 % y con menor presencia de otros hongos como *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* y *Rhizopus,* además, de bacterias mesófilas (Tabla 1); en el medio de cultivo de MSA también se aisló *Alternaria* (15.7 UFC) mostrando una densidad relativa mayor que en PDA del 53.4%, seguido por *Eurotium*, *Cladosporium*, *Aspergillus niger*, *A. flavus, Aspergillus ochraceus* y *Rhizopus* (Tabla 2).

Tabla 1. Determinación de la microbiota y densidad relativa en granos de maíz, frijol y garbanzo en papa dextrosa agar (PDA).

Hongos	Género/ especie	Maíz		Frijol I		Frijol II		Garbanzo	
		UFC	ρ (%)*	UFC	ρ (%)	UFC	ρ (%)	UFC	ρ (%)
Campo	*Alternaria*	0.0	0.0	7.0	41.2	7.7	72.0	0	0.0
	Cladosporium	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Fusarium	21.0	83.0	6.0	35.3	0	0.0	0	0.0
	Papulaspora	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
Almacén	*A. flavus*	0.0	0.0	1.0	5.9	2.7	25.2	0.3	0.9
	A. ochraceus	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Eurotium	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Penicillium	4.3	17.0	0.0	0.0	0.3	2.8	0	0.0
Deterioro	*A. niger*	0.0	0.0	1.0	5.9	0	0.0	0.3	0.9
	Chaetomium	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Rhizopus	0.0	0.0	1.0	5.9	0	0.0	0	0.0
Bacterias		0.0	0.0	1.0	5.9	0	0.0	32	98.2
	Total	25.3		17		10.7		32.6	

ρ* = densidad relativa

Para la marca de frijol II del género *Alternaria* en PDA se obtuvieron 7.7 UFC, con una densidad relativa de 72 %, seguida de *A. flavus* y *Penicillium* (Tabla 1); en MSA hubo una alta incidencia de *Eurotium* (18.7 UFC) presentando una densidad relativa de 83.5%, seguido por *Alternaria*, *A. flavus*, *Penicillium* y *A. niger* (Tabla 2). En el grano de garbanzo se observó una alta presencia de bacterias mesófilas en PDA (32 UFC) con densidad

relativa de 98.2 % (Tabla 1), estos mismos resultados fueron en MSA (48.3 UFC) con una densidad relativa ligeramente mayor de 99.4 % y con baja presencia *Chaetomium* (Tabla 2).

Tabla 2. Determinación de la microbiota y densidad relativa en granos de maíz, frijol y garbanzo en malta sal agar (MSA).

Hongos	Género/especie	Maíz		Frijol I		Frijol II		Garbanzo	
		UFC	ρ(%)*	UFC	ρ(%)	UFC	ρ(%)	UFC	ρ(%)
Campo	*Alternaria*	0.3	1.2	15.7	53.4	2	8.9	0	0.0
	Cladosporium	0	0.0	1.7	5.8	0	0.0	0	0.0
	Fusarium	12.3	49.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	Papulaspora	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Almacén	*A. flavus*	0	0.0	1	3.4	0.7	3.1	0	0.0
	A. ochraceus	0	0.0	1	3.4	0	0.0	0	0.0
	Eurotium	12.3	49.4	4	13.6	18.7	83.5	0	0.0
	Penicillium	0	0.0	0.7	2.4	0.7	3.1	0	0.0
Deterioro	*A. niger*	0	0.0	2	6.8	0.3	1.3	0	0.0
	Chaetomium	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.3	0.6
	Rhizopus	0	0.0	0.3	1.0	0	0.0	0	0.0
Bacterias		0	0.0	3	10.2	0	0.0	48.3	99.4
	Total	24.9		29.4		22.4		48.6	

ρ* = densidad relativa

El análisis de la microbiota total de hongos y bacterias en granos de maíz, frijol y garbanzo se encontró que para los hongos de campo no se observaron diferencia significativa entre el maíz y frijol I, los cuales presentaron 34 y 31 UFC respectivamente, seguidos por el frijol II con 14 UFC (Cuadro 3). Para el caso de los hongos de almacén el frijol II fue el que tuvo una mayor incidencia (23 UFC), seguido del maíz (17 UFC) en comparación con los otros granos. Con respecto a los hongos de deterioro avanzado su presencia fue baja para todos los granos analizados, siendo la muestra de frijol I el que tuvo mayor número de colonias aisladas (4 UFC). El grano de garbanzo mostró una alta incidencia de bacterias mesófilas (80 UFC) en comparación con los otros granos analizados.

Tabla 3. Microbiota de maíz, frijol y garbanzo (UFC).

Grano	Hongos campo	Hongos almacén	Hongos deterioro	Bacterias
Maíz	34 a*	17 ab	0 b	0 b
Garbanzo	0 c	0.3 b	1 b	80 a
Frijol I	31 a	8 ab	4 a	4 b
Frijol II	14 b	23 a	0.3 b	0b

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas (LSD, $p< 0.05$).

En el análisis de las aflatoxinas totales en tres de los granos se determinaron trazas, para el maíz fueron 0.7 µg kg^{-1} en el garbanzo 0.1 µg kg^{-1} y en frijol II 0.4 µg kg^{-1}, estando por debajo de los límites máximos permitidos de 20 µg kg^{-1} de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002.

Discusión

Los hongos aislados e identificados en el grano de maíz corresponden a hongos de campo como *Fusarium*, *Alternaria* y de almacén principalmente especies de los géneros *Eurotium* (estado teleomorfo de *Aspergillus*) y *Penicillium*. Susca *et al.*, (2020) encontraron que *Fusarium, Aspergillus* y *Penicillium* son los géneros más frecuentes en maíz y algunas especies representan riesgo para la salud humana y animal por ser productoras de diversas micotoxinas como: fumonisinas, tricotecenos, zearalenona, aflatoxinas y ocratoxina A. La presencia de *Eurotium* y *Penicillium* nos indica que este grano no es de reciente cosecha. En el grano de frijol I se determinó a *Fusarium*, el cual se ha identificado en la producción de diversas enfermedades de importancia económica, afectando la calidad e inocuidad del grano ya que algunas especies son productoras de micotoxinas. En un trabajo realizado por Castillo *et al.*, (2004) reportaron especies del género *Fusarium* y sus micotoxinas asociadas en granos de frijol negro y de *Alternaria alternata* también productora de diversas micotoxinas, como el ácido tenuazónico (Logrieco *et al.*, 2003). En el frijol II, *Eurotium* fue el género con una mayor densidad relativa, el cual es un hongo de almacén que se desarrolla en contenidos de humedad de 14.0-15.0%, mostrando que este grano no es de recién cosecha. Las especies de este género provocan ennegrecimiento del embrión, pérdida de germinación y olores

desagradables (Moreno, 1988). El garbanzo presentó una alta densidad relativa de bacterias mesófilas y un aislado del género *Chaetomium*, microorganismos que requieren una alta actividad de agua para su desarrollo de 0.95-1.0, lo cual demuestra que se trata de un grano, en estado avanzado de deterioro.

Conclusión

El análisis de la microbiota en los granos, mostraron que algunos hongos identificados como *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium* y especies de *Aspergillus* pueden causar deterioro y la producción potencial de otras micotoxinas que no fueron determinadas en este trabajo, por lo que se considera importante analizarlas. Las condiciones que prevalecen durante las buenas prácticas agrícolas y de manufactura son fundamentales para conservar la calidad y asegurar la inocuidad de estos granos en la cadena agroalimentaria.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de UNAM-DGAPA-PAPIME con el Proyecto PE-202323.

Referencias

Castillo, M. D. González, H.H.L., Martínez, E.J., Pacin, A.M., Resnik, S. L. (2004). Mycoflora and potential for mycotoxin production of freshly harvested black bean from the Argentinean main production area. *Mycopathologia, 158*(1): 107-112.

Klich, A.M. 2002. *Identification of Common Aspergillus Species.* American Society for Microbiology. Centraalbureau voor Schimmelcultures. The Netherlands. 116 p.

Logrieco, A., Bottalico, A., Mule, G. Moretii, A. and Perrone, G. (2003). Epidemiology of toxigenic fungi and their associated micotoxins for some Mediterranean crops. *J. Plant Pathol., 109. 645-667.*

SEMARNNAT (Secretaría del Medio Ambiente Y Recursos Naturales). (2023). *Día nacional del maíz 2023.* En: https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/dia-nacional-del-maiz-2023?idiom=es

Mathur, S.B. & Kongsdal, O. (2003). *Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi*. International Seed Testing Association (ISTA). Kandrups Bogdrups Bogtrkkeri Publication, 415 p.

Moreno, M. (1988). *Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados.* Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 109 p.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2022a). *Estima Agricultura crecimiento de 11.4% de la producción de frijol en 2021; mantiene tendencia al alza.* En: https://www.gob.mx/agricultura/prensa/estima-agricultura-crecimiento-de-11-4-de-la-produccion-de-frijol-en-2021-mantiene-tendencia-al-alza#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural%20inform%C3%B3%20que%20la,071%20toneladas%20cosechadas%20en%202020

SADER (Agricultura y Desarrollo Rural). (2022b). *La importancia de la producción de frijol en México.* En: https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-de-la-produccion-de-frijol-en-mexico#:~:text=En%202021%2C%20su%20cosecha%20en,producci%C3%B3n%20y%20Durango%20con%2010%25.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2023). *¡Celebremos a las legumbres!* En: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/celebremos-a-las-legumbres?idiom=es#:~:text=Producci%C3%B3n%202021:%20+1%20mill%C3%B3n%20de,:%20Zacatecas%2C%20Sinaloa%20y%20Durango.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2024). *Maíz, el corazón de la agricultura.* En: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/maiz-el-corazon-de-la-agricultura

Sanchis, V. (2021). Cambio climático y micotoxinas ¿Sabemos lo suficiente? *ACTA/CL. Asociación de Científicos y Tecnólogos de Alimentos de Castilla y León, 75*, 10-15.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Usos de maíz-SIAP. En: http://infosiap.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/2/03-maiz/contexto-5.html

Susca, A., Villani, A., Moretti, A. Stea, G., Logrieco, A. (2020*).* Identification of toxigenic fungal species associated with maize ear rot: Calmodulin as single informative gene. *International Journal of Food Microbiology, 319*:108491. 12. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108491

Ulloa, J.A., Rosas, P., Ramírez, J.C., Ulloa, B.E. (2011). El frijol *(Phaseolus vulgaris):* su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos.
En: http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/1.pdf

Urango, L.A. (2018). *Componentes del maíz en la nutrición humana*. Recuperado el 30 de agosto de 2024, de https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/336208/20791740

Vargas, B.D., Cárdenas, T.R.M. (2021). Chickpea cultivation, a possible solution to climate change. *Cultivos Tropicales. 42(1): e09.*

Warham, E.J., Butler, L.D., Sutton, R.C. 1996. *Ensayos para la Semilla de maíz y trigo. Manual de laboratorio.* CIMMYT. México.

LOS ACUERDOS TRANSFORMATIVOS (ATP) SIGNADOS POR LA UNAM: UN BASTIÓN PARA LOS ACADÉMICOS

Cristel Ximena Cortés-Valadez[1*], Rosa Guadalupe Valadez-Olguín[1] y María Teresa Mosqueda-Moreno[1]

[1]*UNAM FES Cuautitlán,*

*ximena.cortes@cuautitlan.unam.mx

Resumen

Una de las disyuntivas para profesores e investigadores la constituye la publicación de sus investigaciones en revistas científicas reconocidas por los organismos evaluadores. Lo anterior con relación a los altos costos que cobran las grandes editoriales, que representan una seria problemática para los profesores que no cuentan con apoyos financieros. Ante esta situación, la Dirección General de Bibliotecas y Servicios de Información, ha establecido convenios de colaboración con las editoriales científicas y sociedades académicas de mayor representación para los núcleos académicos, a través de los llamados Acuerdos Transformativos (ATP). Estos acuerdos están sustentados en que los autores con contrato laboral vigente en la Institución puedan publicar en revistas de acceso abierto de forma gratuita. Los ATP establecen que la UNAM debe mantener el pago a las suscripciones vigentes, con las editoriales convenidas para que se permita la publicación sin costo adicional a las revistas híbridas y de Acceso Abierto.

Palabras clave: Acuerdos transformativos, revistas científicas, DGBSDI UNAM, publicaciones gratuitas.

Introducción

Desde 2023 la UNAM firmó 13 Acuerdos Transformativos**,** también conocidos como *Read and Publish*, con las siguientes editoriales científicas: Cambridge University Press, De Gruyter, International Water Association, John Wiley & Sons, Microbiology

Society, y Association for Computing Machinery, AIP Publishing, PLOS, Mathematical Sciences Publishers, IOP Publishing, Springer Nature y Rockefeller University Press y The Company of Biologists, estos acuerdos permiten tres cosas: tener el derecho al acceso de los contenidos (lectura), a una suscripción y a publicar en acceso abierto.

Para 2024, se suman a estos acuerdos otras nueve editoriales: American Chemical Society, American Institute of Mathematical Sciences, Elsevier, Karger, Oxford University Press, Portland Press, Royal Society of Chemistry (RSC) y The Royal Society. (Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información-UNAM Subdirección de Servicios de Información Especializada (DGBSDI-UNAM, 2024).

Lo anterior, es un bastión para los docentes-investigadores de la UNAM, ya que permite dos cosas: una, que sus publicaciones puedan integrarse a alguna de estas revistas de forma gratuita y abierta, y la otra, que puedan generar un mayor número de publicaciones e investigaciones en revistas arbitradas contribuyendo así a la producción académica y científica de la UNAM.

Objetivo

Identificar las nuevas revistas de acceso abierto que la UNAM pone a disposición de la planta docente para publicar sus investigaciones a partir de ciertos lineamientos.

Desarrollo del tema

En el Primer Encuentro Iberoamericano de Acuerdos Transformativos, el subdirector de Servicios de Información Especializada de la DGBSDI, doctor Antonio Sánchez Pereyra, en la charla titulada “México: avances y motivaciones para la firma de Acuerdos Transformativos”, comento que, en el caso de la UNAM se han suscrito aproximadamente diez acuerdos transformativos con diversas editoriales científicas internacionales, los cuales engloban un promedio de 4, mil 738 revistas que ya tienen el APC1 incluido, mientras que en algunas otras la cantidad de artículos con el APC incluido sigue siendo

[1] Article Processing Charge (APC). Tarifa que recaudan las editoriales para publicar dichos materiales con acceso abierto.

ilimitado el acceso anual. Además, puntualizó que, sí se hace el comparativo de las revistas científicas suscritas por la UNAM, las cuales suman 12,000, entonces la cantidad de 4,738 en las que ya se cuenta con suscripción y además se tiene derecho a publicar, en conjunto representan un porcentaje que asciende al 40% del total de las suscritas para el llamado Read (Rodríguez, 2023).

Con este bastión, Sánchez Pereyra, comentó en entrevista para Gaceta UNAM que:

> "esto representa el servicio al dos por uno; es decir, son dos conceptos por el pago de uno, para que la comunidad científica universitaria no sólo pueda acceder a la lectura de los artículos científicos, sino que además pueda publicar los propios sin costo" (Frías, 2023, 01 de junio).

Ahora bien, ¿cuáles son los requisitos que deben cumplir el investigador-docente para la exención del APC? Con base en la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información-UNAM. Subdirección de Servicios de Información Especializada, DGBSDI-UNAM (s/f) se consideran los siguientes:

1. El autor/la autora de correspondencia, deberá ser miembro vigente en la UNAM.
2. El autor/la autora deberá asentar en el documento la afiliación: Universidad Nacional Autónoma de México.
3. El autor/la autora deberá incluir en el manuscrito el correo institucional de la UNAM, terminación @unam.mx, como, por ejemplo: @comunidad.unam.mx

Además de los requisitos mencionados, se debe cumplir lo concerniente a:

- Se consideran autores a los alumnos (as) y académicos (as) vigentes en la UNAM al momento de enviar el manuscrito a la editorial.
- Los términos y condiciones para publicar en acceso abierto son establecidos por cada editorial.
- La solicitud de aprobación será atendida en el orden de llegada, hasta agotarse los APC, para el caso de las editoriales en las que existe un límite para publicar bajo esta modalidad.

- Los Acuerdos tienen vigencia de enero a diciembre, sin embargo, en el momento de que se *agoten los cargos por procesamiento de artículos (APC),* si se elige publicar en una revista totalmente open access, los autores deberán cubrir la factura o si publican en revistas híbridas, podrán elegir publicar bajo la modalidad de suscripción, en donde no se genera costo alguno (DGBSDI-UNAM, s/f).

Cumpliendo debidamente los requisitos anteriores se puede iniciar el proceso para la exención de pago de APC. En la siguiente Figura 1, se presentan algunas de las editoriales con las que se tienen los Acuerdos Transformativos vigentes al 2024.

Figura. 1. Editoriales con convenio UNAM.

Para identificar las revistas en las que se pueden hacer las publicaciones, es necesario ingresar al buscador de la página de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información-UNAM (DGBSDI-UNAM) (https://digitalab-ssie.unam.mx/acuerdos), posteriormente, en dicha pestaña se encontrarán las 7,195 revistas elegibles de las 22 editoriales con las que la UNAM ha suscrito algún acuerdo para publicar en acceso abierto con la exoneración del pago de la tarifa de cargos por procesamiento de artículos (APC), ahí mismo se explica la forma de realizar la búsqueda que puede ser por medio de cuatro campos: el título de la revista, ISSN

electrónico, tipo de revista (híbrida o gold), Editorial, Categoría y Subcategoría (DGBSBI-UNAM, s/f).

Para tener un panorama de los alcances de la firma de estos acuerdos es importante mencionar cómo es la composición de los costos de publicación de manera general, y de esta forma identificar el alcance que se ha logrado con la firma de estos Acuerdos Transformativos (ATP).

Nassi (2021), señaló que los costos de publicación se forman de dos componentes, uno se refiere a los costos directos (o variables), que comprenden tres etapas principales de publicación y el otro componente se refiere a los costos indirectos (o fijos) tales como el costo de personal, bienes y raíces, energía, seguros, etc.

Etapas principales de publicación:

1. “Adquisición de contenido: sistema de presentación en línea; búsqueda y asignación de revisores; comunicación con revisores; comunicación con los autores; gestión del proceso de reenvío; detección de plagio; detección de similitudes (*Crossref*); asignación de DOI al artículo (*Crossref*); asignación de DOI para dos o más opiniones (*Crossref*); Carga APC.
2. Preparación de contenido: Sistema de seguimiento de manuscritos; registro del sistema de producción; verificación técnica del manuscrito; edición de texto; publicación; formatear figuras y gráficos; sello de *Altmetric*; marcado XML y metadatos; procesar las correcciones del autor.
3. Difusión de contenido: plataforma y alojamiento en AA; preservación a largo plazo (CLOCKSS/*Portico*); distribución para servicios de indexación (*Scopus*, PMC, DOAJ etc.)”. (Nassi, 2021 s/p).

Continuando con Nassi (2021), en su artículo refiere el siguiente ejemplo sobre la publicación de un artículo en acceso abierto:

- “Un artículo STM (*Science, Technology, Medicine* – ciencia, tecnología y medicina) tiene un promedio de 18,000 palabras y 10 ilustraciones;

- Una tasa de rechazo promedio del 50% después de la revisión por pares previa a la publicación, con al menos dos revisiones y diez intentos de contactar a los revisores para obtener un revisor dispuesto a revisar el manuscrito;
- Tasa de rechazo de la revisión documental del 10% después de la evaluación por parte del Editor Jefe/Consejo Editorial;
- Carga de trabajo del equipo editorial de 7.5 horas-persona por manuscrito enviado; y
- Revisión por pares realizada por académicos voluntarios" (s/p).

Con la idea de los costos directos e indirectos, así como el ejemplo del artículo de medicina que se señaló, refirió Nassi (2021), que los autores establecieron un rango de precios por artículo e idearon, posibles escenarios para la publicación de revistas de acceso abierto, cada uno con una subcategoría, las cuales se presentan a continuación:
Preparación de contenido: Sistema de seguimiento de manuscritos; registro del sistema de producción; verificación técnica del manuscrito; edición de texto; publicación; formatear figuras y gráficos; sello de Altmetric; marcado XML y metadatos; procesar las correcciones del autor.
Difusión de contenido: plataforma y alojamiento en AA; preservación a largo plazo (CLOCKSS/Portico); distribución para servicios de indexación (Scopus, PMC, DOAJ etc.).
Con estas subcategorías y para calcular el costo promedio de publicar un artículo en acceso abierto, se supuso lo siguiente:
Caso expuesto por Nassi (2021): Para un artículo STM (Science, Technology, Medicine – ciencia, tecnología y medicina) se presentaron los siguientes escenarios:

> "Los escenarios A y B se refieren a revistas administradas profesionalmente por personal asalariado que administra los manuscritos y se ofrece como voluntario solo en la etapa de revisión por pares. El escenario A se diferencia del escenario B en que la mayoría de los servicios editoriales en A son prestados por el mismo servicio especializado en publicación científica, desde la recepción del manuscrito a través del sistema de envío en línea hasta la publicación en la plataforma de acceso abierto, su difusión, indexación y conservación.

En B, cada etapa de adquisición, preparación y difusión de contenidos se presupuesta en los proveedores de servicios genéricos y se ejecuta de acuerdo con la mejor oferta.

El escenario A es más conveniente y requiere menos experiencia, pero generalmente es más caro que el escenario B, y corresponde, por ejemplo, a revistas de universidades o sociedades científicas con editores asalariados a tiempo completo, mientras que el escenario B ocurre, por ejemplo, con editoriales corporativas.

Finalmente, el escenario C considera las revistas científicas que operan con presupuestos restringidos, editores voluntarios, utilizan servidores institucionales y optan por sistemas gratuitos de envío en línea como el Open Journal Systems (OJS) para gestionar envíos y revisión por pares.

Pocos tienen algún sistema de preservación o indexación. De esta forma, los costes operativos se reducen considerablemente.

En resumen, tenemos una situación en la que los costos son descendentes de A> B> C.

Los autores calcularon los costos para dos extremos de la cantidad de artículos por año, 100 y 1.000, ya que, en cada caso, los costos fijos se diluyen en unos pocos (100) o muchos (1.000) artículos y se cambia el costo.

La Tabla 1 enumera los totales (suma de los componentes de los costos directos e indirectos) informados por los autores en la publicación F1000Research.” (s/p).

Tabla 1. Costes de publicación por artículo en función del número de artículos publicados por año y el escenario de gestión de la publicación.

Escenarios	Costo publicación/artículo – US$	
	1.000 artículos/año	100 artículos/año
Escenario A	669,90	723,16
Escenario A pos-publicación*	519,00	597,74
Escenario B	565,15	643,61
Escenario B pos-publicación*	390,86	469,32
Escenario C	194,89	237,35
Escenario C con servicios especializados	412,16	454,63
* evaluación por pares pos-publicación		

Conclusión

Con lo recuperado y presentado se puede reconocer la relevancia que tuvo la firma de dichos acuerdos y sobre todo que se siguen haciendo enlaces con diversas editoriales que posibilitan la publicación abierta de las investigaciones de los colaboradores de la UNAM, haciendo viable la difusión de la investigación científica, social, administrativa y de la Cultura, lo cual corresponde a los principios de la Universidad y da pie a motivar cada vez más a los investigadores a continuar con su producción científica. Asimismo, la difusión de esta información resulta relevante, ya que el hecho de que los docentes-investigadores puedan compartir su conocimiento a través de la publicación en las diversas revistas subsidiadas por la UNAM, contribuye a superación. Lo anterior denota el gran compromiso que tiene la Administración Central respecto al cumplimiento de los pilares de la Universidad que son la docencia, la investigación y la cultura, respondiendo de forma puntual a aplicarlas y cumplirlas cabalmente. El hecho de que los docentes investigadores tengan la posibilidad de difundir el conocimiento resulta fundamental, pues

son estas producciones científicas y académicas las que abren puertas para hacer colaboraciones con otras Universidades e Institutos a nivel nacional e internacional.

El desarrollo e investigación de forma colaborativa se ve enriquecido por las diversas visiones y experiencias de los investigadores, de ahí la importancia de que se hagan publicaciones en revistas arbitradas, ya que estas han pasado por un proceso de revisión cautelosa para poder ser publicadas, lo que implica gran calidad de información científica y académica de gran nivel profesional.

De igual manera, los Acuerdos Transformativos (ATP) signados por la UNAM contribuyen al logro del EJE RECTOR 4. del Plan de Desarrollo Institucional del Rector denominado: "CONSOLIDACIÓN Y APOYO A LA INVESTIGACIÓN, el cual tiene la finalidad de consolidar el liderazgo de la investigación científica y humanística realizada en la Universidad, orientada tanto al avance de la ciencia universal como al análisis de temas relevantes y específicos que contribuyan al desarrollo y bienestar del país, el cual tiene como líneas programáticas, el fomento a la interacción entre entidades académicas en proyectos de investigación, criterios de evaluación de la investigación, programas de apoyo a la investigación, fortalecimiento de la infraestructura experimental, apoyo a la investigación en Facultades y Escuelas, apoyo a las publicaciones científicas arbitradas, diversificación de las fuentes de financiamiento, descentralización de la investigación, Investigación y posgrado, investigación con perspectiva de género y divulgación de la ciencia y las humanidades" (Universidad Nacional Autónoma de México, 2024, 05 de abril, p. 14)

De igual manera, contribuye al EJE RECTOR 6. VINCULACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL en el que "las iniciativas que considera este eje proponen ampliar la vinculación nacional e internacional con instituciones de educación superior y centros de investigación para incrementar la colaboración y el intercambio académico de estudiantes, profesores e investigadores. También se busca extender esta vinculación con los sectores público, privado y social para impulsar proyectos de desarrollo tecnológico y de ciencia aplicada con el propósito de atender sus requerimientos y generar recursos extraordinarios para la Institución. En el marco de la vinculación social

universitaria, se requiere adaptar el servicio social a las circunstancias actuales del país y reforzar su sentido original de atención a las necesidades de la nación, al tiempo de cumplir con la función formativa y de capacitación de sus estudiantes.

Asimismo, a la línea programática: Intercambio y colaboración académica con instituciones nacionales, vinculación con el sector productivo, la vinculación social y por ende a UNAM en el mundo". (Universidad Nacional Autónoma de México, 2024, 05 de abril, p. 17)

Y de manera transversal también se vincula con los proyectos asociados a la línea programática número 4. "LA CONSOLIDACIÓN Y APOYO A LA INVESTIGACIÓN, por medio del fomento a la interacción entre entidades académicas en proyectos de investigación. Esta línea de trabajo tiene el propósito de fomentar una mayor interacción entre entidades académicas para impulsar la discusión y análisis transversal de grandes problemas científicos y sociales, a fin de generar sinergias para el abordaje de proyectos de gran envergadura, tanto a nivel básico como aquellos que atienden problemas nacionales, con un enfoque inter, multi y transdisciplinario. Es importante reconocer estos proyectos en los procesos de evaluación, para incentivarlos y aprovechar los canales institucionales para la interlocución con actores clave de la sociedad y generar nuevos donde estos no existan o sean insuficientes" (Universidad Nacional Autónoma de México, 2024, 05 de abril, p. 31).

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la firma de estos acuerdos que posibilitan la difusión del conocimiento y de las investigaciones realizadas por la comunidad Académica.

A los organizadores del Congreso por la autorización de esta publicación.

Referencias

Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información. (s/f). *Noticias*. https://www.dgb.unam.mx/index.php/noticias-y-eventos/noticias/743-revistas-para-publicar-articulos-academicos-oa-sin-pagar-el-apc-para-las-y-los-autores-de-la-unam-2024

Frías, C. (2023*). Acuerdos con editoriales internacionales benefician a investigadores de la UNAM*. Gaceta UNAM. https://www.gaceta.unam.mx/acuerdos-con-editoriales-internacionales-benefician-a-investigadores-de-la-unam/

Nassi, C.L. (2024). *¿Cuánto cuesta un artículo? Servicios de publicación académica y sus valores de mercado. SciELO en Perspectiva*. https://blog.scielo.org/es/2021/11/10/cuanto-cuesta-un-articulo/

Rodríguez, L. (2023, 27 de julio*). Primer encuentro iberoamericano de acuerdos transformativos.* Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de la Información-UNAM. https://www.dgb.unam.mx/index.php/noticias-y-eventos/noticias/723-primer-encuentro-iberoamericano-de-acuerdos-transformativos

UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2024, 05 de abril*). Plan de desarrollo institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México 2023-2027*. https://www.rector.unam.mx/docs/PDI.pdf

EL ESTADO DEL ARTE EN LOS PROCESOS INVESTIGATIVOS

María Teresa Mosqueda-Moreno[1]

[1]*UNAM-Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*

*tmosquedamoreno@cuautitlan.unam.mx

Resumen

El ser humano tiene diversas maneras para apropiarse del conocimiento y transformar su entorno, dos de estas formas se ubican en el plano de lo inferior y proceden de la sensación y la opinión, los otros dos planos son llamados de nivel superior y corresponden a la razón y al intelecto. En los procesos investigativos, el investigador a partir de una problemática visualizada o de una inquietud deberá realizar un proceso metodológico de indagación exhaustiva para conocer, para aprehenderse del problema y este procedimiento es mediante el Estado del arte, el cual le permitirá tener un conocimiento más certero sobre la realidad que pretende investigar, adentrándose en lo que se ha investigado, desde qué perspectivas teórico metodológicas se han abordado aquellas problemáticas, a qué conclusiones se han llegado, en qué han coincidido los investigadores y también en que han diferido. Este trabajo desarrolla una explicación sobre las cuatro formas de aprehenderse del conocimiento y cómo estas formas evidencian el camino para la apropiada formulación al problema de investigación.

Palabras clave: Aprehensión del conocimiento, conocimiento científico, tipos de conocimiento.

Introducción

Desde que el ser humano tuvo la necesidad de resolver los problemas que le acontecían a su alrededor, a través del cuestionamiento, de la reflexión, de la relación que encontraba en lo que sucedía, tratando de buscar respuestas ante lo desconocido, terminó por como refiere Jiménez (2004), problematizando, disertando y estableciendo relaciones subjetivas y de apropiación frente a la realidad que lo rodeaba” (p.3), previo a

este ejercicio de reflexión y de cuestionamiento el saber a través de las sensaciones (conocimiento vulgar) contribuyó a medir el tiempo, a saber el olor y sabor de los alimentos, a saber que cocinados tienen otra sensación, mientras que con el conocimiento empírico y a través de la práctica se podían desarrollar diversos tipos de herramientas, utensilios necesarios para su supervivencia, estos dos saberes no se sistematizaban, no se documentaban, hasta después de un tiempo en la búsqueda de prevenir y de buscar soluciones el hombre se aprehendió de otro saber, el conocimiento científico a partir del cual busco sistematizar la experiencia mediante el análisis y la reflexión para con ello documentar, evidenciar, registrar e historizar el saber, el cual nos acerca a saber lo que acontece, a conocer las formas y los modos en que se han encontrado las respuestas a muchas problemáticas, pero también en la necesidad de seguir indagando.

Objetivo

Identificar las diferentes formas que tiene el sujeto para apropiarse del conocimiento sistematizando los aprendizajes para dejar evidencia científica.

Desarrollo

El quehacer de la humanidad siempre ha sido el de la mejora de la sociedad en todos los aspectos sociales, políticos, económicos, de salud, de educación, el de transformar su entorno, todo ello a través del conocimiento, ahora bien, el ser humano tiene diversas manera de adquirir conocimientos, citando a Gallego (2009), refiere que existen cuatro formas de apropiarse del conocimiento, dos de ellos ubicados en el plano de lo inferior ya que proceden de la sensación y la opinión, se basan en los sentidos, dan lugar a la sensación y a las imágenes de los sentidos y la de opinión a creencias, lo que se transmite de generación en generación. Los otros dos planos son llamados por el mismo autor de nivel superior y corresponden a la razón y al intelecto, en lo que respecta a la razón tiene que ver con las relaciones matemáticas, y el intelecto tal como lo citó Gallego (2009) tiene que ver con “lo que penetra en el mundo de las ideas” (p. 25).

Dicho lo anterior se puede deducir que el conocimiento inferior el de la sensación corresponde al *conocimiento vulgar*, donde el sujeto trabaja con intuiciones vagas y razonamientos no sistemáticos, pero este representa el primer paso hacia los demás modos de conocimiento (Gallego, 2009, p.25-26). El *conocimiento empírico* es aquel donde la certeza está en la experiencia personal, no corresponde a una experiencia colectiva sino a una experiencia individual, es el conocimiento que nuestros antepasados han transmitidos a sus generaciones (Gallego, 2009, p.26).

Ahora bien, respecto de los otros dos tipos de conocimiento superiores está el llamado *conocimiento científico* este en palabras de Gallego (2009):

> Supera la opinión vulgar y la experiencia personal y se constituye en un conocimiento socializado. Procede de un orden, mediante un plan determinado y un método que le permite llegar a establecer conocimientos teóricos coherentes y sistemáticos, válidos para todos y descansa, al mismo tiempo, en cierto grado de objetividad, demostrabilidad y progresividad.
>
> En un primer acercamiento epistemológico al conocimiento científico, éste se caracteriza por un conjunto de tres factores intencionales y al mismo tiempo interrelacionados sistemáticamente: en primer lugar, una determinada actividad que realizan los científicos, caracterizada por una actitud y voluntad de indagar, examinar, descubrir, discriminar, extraer conclusiones de los datos de la realidad física o social (heurística); en segundo lugar, la utilización de algún método para organizar y sistematizar, lógica y ordenadamente, esos datos extraídos de la realidad; y, en tercer lugar, la construcción de conocimientos o proceso de teorización, derivado de los dos factores anteriores. En este sentido, no existe conocimiento científico sin que exista una actividad investigadora, una organización metodológica y una producción de conocimiento teórico. El conocimiento así construido debe tener, además, otra característica: su utilidad, (aspecto práctico del conocimiento). Aunque las cuatro características no son reductibles entre sí, puesto que, en el campo científico, las cuatro hacen parte del mismo conjunto y están tan estrechamente relacionadas que una sola de ellas no puede existir sin el

> complemento necesario de las otras tres. Es por esto, que en el contexto de la enseñanza de la ciencia no se puede prescindir de ninguna de las cuatro, como ocurre con tanta frecuencia, en el sentido de que se centra la enseñanza exclusivamente en los procedimientos metodológicos, olvidando la enseñanza de la epistemología, la filosofía, la historia de la ciencia y las formas de producción y aplicación del conocimiento científico.
>
> El conocimiento científico, por lo tanto, trasciende los hechos de la realidad en los que se apoya y formula leyes, principios, teorías e hipótesis científicas, que le permiten conocer y comprender la realidad para buscar soluciones a problemas de todo orden y crear, al mismo tiempo, objetos y artefactos para solucionar parte de esos problemas y para el bienestar del ser humano, dando origen así a la tecnología. Además, con el conocimiento científico, el hombre puede predecir los hechos, tanto naturales como sociales, con el propósito de establecer mecanismos de prevención, control o de soluciones anticipadas a los problemas (p.27-28).

La amplia cita tiene pertinencia a raíz de la relación con la que guarda el estado del arte y su rigor científico para alcanzar a producir nuevos conocimientos, este tema se abordará en los siguientes párrafos.

Finalmente, el otro tipo de conocimiento de nivel superior es el llamado *conocimiento filosófico* también conocido como metafísica que “corresponde a los más altos grado de conocimiento” (Gallego, 2009, p.29) se refiere al estudio del ser en cuanto a su esencia, a su divinidad. Dado el amplio campo que demandaba este conocimiento, nació la filosofía y se preocupó por una parte muy significativa de un saber especial la llamada: ciencia, que busca la relación con la unidad, la validez, la verdad, los métodos, asumió una posición crítica, en cuanto se pregunta por la legitimidad y las condiciones del nuevo conocimiento científico que ya empezaba a querer explicar el mundo y el acontecer humano. De esta forma es que nace la epistemología como una rama de la filosofía con la preocupación de los problemas cognitivos de la ciencia (Gallego, 2009).

A partir de lo anterior, en este escrito se enfatizará en el conocimiento llamado *científico*, a razón de llegar al punto clave que es dejar claridad sobre la relevancia que tiene el llamado estado del arte.

Diversos autores entre ellos Esquivel (2013), Reboratti y Castro (1999), Vega (2009), Hirsch (2006), Yurén y Hirsch (2013), Figueroa (s/f) y Ramírez (2012), exponen que el llamado Estado del Arte también puede nombrarse Estado de la Cuestión, Estado de Conocimiento o Marco Referencial, por lo que, coincidiendo con dichos autores, considero denominarlo Estado del arte.

El estado del arte entendido por UNIVIM (2024);

> … es la construcción mediante la investigación documental, de una visión actualizada y sistemática del conocimiento que se ha logrado en el espacio nacional e internacional sobre un objeto o área, en torno al cual existe el interés de comprenderlo, profundizarlo y trascenderlo (s/p).

Para llegar a la construcción del estado del arte, el investigador desde su ejercicio de reflexión, critica objetiva, su posicionamiento epistemológico y formación de investigador debe identificar una problemática social (me refiero a lo social en el entendido que se busca atender las diversas problemáticas que presenta la investigación en educación o sobre educación) entendiendo las diferencias señaladas por Ardoino (1993);

> …investigación *en* educación es aquella implicada y efectuada al interior de los procesos educativos y determinadas en sus lógicas y en sus temáticas mientras que la investigación *sobre* educación está constituida por investigaciones, que preceden de disciplinas como la psicología, la economía, la antropología, etcétera referidas a lo educativo y estas mismas apoyan a realizar y/o tener más instrumentos para realizar dichas investigaciones (p. 62).

A partir de esta reflexión el investigador o también llamado docente-investigador debe formularse una pregunta de investigación que guie, que dirija al investigador a la pesquisa de información, dicha información debe ser fundamentalmente validada, es decir, contar

con criterios de fiabilidad, confiabilidad, credibilidad, aprobación de un cuerpo científico, debe ser un conocimiento válido.

Por ende, el estado del arte debe partir de la búsqueda de fuentes de información confiables ya sea en fuentes de información primaria (libros, artículos, informes, etcétera) o fuentes de información secundaria (bibliográficas, extractos, índices, etcétera). Toda esta información debe tener un tratamiento metodológico, una organización que posteriormente sirva al investigador para hacer el análisis de esta y para encontrar fisuras en la investigación que le compete, es decir encontrar aquello que corresponda a su problemática y que con la revisión del estado del arte no se ha construido, o mejor dicho que los autores revisados no han abordado y por tanto debe ser ahí donde el investigador puede aportar al campo de conocimiento.

Además, en el estado del arte, el investigador visualiza las diversas posturas epistemológicas desde las cuales se ha estudiado cierta problemática, a razón de ello, cabe mencionar los paradigmas propuestos por Popkewitz (1988) desde los cuales abordar la investigación educativa, bien puede ser el paradigma empírico-analítico, simbólico o el crítico todo dependerá de la postura que asuma el sujeto (gnoseológico) con su objeto/sujeto investigativo.

Entonces, el estado del arte además de ofrecer al investigador un conocimiento amplio y basto (puesto que la limitante sobre el estado del arte la determina el propio investigador) sobre todo lo que se ha abordado en relación con su objeto/sujeto investigativo le permite vislumbrar el marco teórico para sustentar sus teorías.

Centrándose en las partes que debe tocar el estado del arte y coincidiendo con Jiménez (2004), indicó que para su inicio debe formularse la definición del problema investigativo, ante todo partir de la pregunta de investigación sobre el tema ya definido siendo estos dos elementos fundamentales para iniciar con el rastreo y conocimiento del tema a abordar. Lo anterior dará pie al investigador a:

1. Contextualizar la información (determinar el problema y establecer algunos límites para lo cual se sugiere plantearse las siguientes preguntas: qué problemas se han

investigado, cómo se han definido esos problemas, qué evidencias empíricas y metodológicas se han utilizado y cuál es el producto de esas investigaciones)

2. Clasificar la información (definir los parámetros de análisis y sistematización)
3. Categorización de la información (se determinan las categorías que recuperan la información, y que fundamentan la interpretación del trabajo en general) (Jiménez, 2004, p.10).

A partir de la selección exhaustiva de la información y su lectura cuidadosa de cada documento, el investigador puede construir un esquema, un cuadro, un organizador gráfico que le permita analizar las temáticas, los tipos de texto, los autores, la metodologías empleadas en cada estudio, los marcos de referencia conceptual, las conclusiones a las que se llegaron con la investigación, y como un segundo documento hacer un análisis de ese cuadro y encontrar convergencias y divergencias conceptuales y metodológicas, finalmente en un tercer momento, se podrá percatar que con ese análisis se puede llegar a la construcción de las categorías las cuales se busca aporten al conocimiento para la sociedad.

Conclusiones

El Estado del Arte, el Estado de la Cuestión, el Estado de Conocimiento o el Marco Referencial tiene a su alcance la posibilidad de construir el llamado protocolo de investigación ya que como refiere Jiménez (2004), los estados del arte permiten no solamente conocer los problemas para problematizarlos aún más, sino también establece caminos vírgenes, en cuanto lo metodológico y lo conceptual. Se reitera la importancia de contar con la problemática que se va a indagar, la pregunta de investigación y los objetivos es decir, el alcance que tendrá la investigación para poder hacer búsquedas de información precisas a través de la revisión exhaustiva de la información, también reiterar, que la sistematización del Estado del Arte abre múltiples caminos al investigador entre ellos, localizar lo que se ha investigado y por otro lado, la posibilidad de construir teoría,

puesto que en el Estado del Arte no todo está escrito ni construido y es ahí donde el investigador tienen la posibilidad de contribuir a la ciencia.

Agradecimientos

Agradezco a todos y cada uno de los integrantes del CONATEC que hacen posible a través de este congreso anual que los y las docentes podamos exponer nuestros trabajos investigativos, y visibilizarnos ante la comunidad científica a través del proceso de la escritura en los extensos para su publicación.

Referencias

Ardoino, J., Mialaret, G. (1993). *La intelección de la complejidad. Hacia una investigación educativa cuidadosa de las practicas*. En: Ducoing, Patricia y Monique Landesmann (compiladoras y editoras). *Las nuevas formas de investigación en educación;* México, AFIRSE-Ambassade de France su Mexique-Universidad Autónoma de Hidalgo, pp. 64-72.

Esquivel, C.F. (2013). Lineamientos para diseñar un estado de la cuestión en investigación educativa. *Revista Educación, 37*(1): 65-87.

Figueroa, C.A. (s/f). *Estado del arte del conocimiento ¿qué hay? ¿quién sabe más? ¿Cómo se hace?* En: https://facultades.unicauca.edu.co/gea/sites/default/files/SeminarioInvestigacionI/ESTADO%20del%20arte-2.pdf

Gallego, J.D.M. (2009). Fundamentación epistemológica para la investigación pedagógica. Itinerario Educativo: *Revista de la Facultad de Educación*, *23*(54): 23-48.

Hirsch, A.A. (2006). Construcción de un estado de conocimiento sobre valores profesionales en México*. Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 8(2): 1-23.

Jiménez, B.A. (2004). El estado del arte en la investigación en las ciencias sociales. La práctica investigativa en las ciencias sociales. *Universidad Pedagógica Nacional.* Colombia, Bogotá. 161 p. ISBN: 958-8226-21-X.

Popkewitz, T. (1988). Los paradigmas en la Ciencia de la Educación: sus significados y finalidad de la teoría. Paradigma e ideología en investigación educativa. *Las funciones sociales del intelectual.* Madrid, p. 61-88.

Ramírez, R.J.L. (2012). Estado del conocimiento de las investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje de lenguas extranjeras en México. *Revista Iberoamericana de Educación, 51*(1): 1-12.

Reboratti, C., Castro, H. (1999): Estado de la cuestión y análisis crítico de textos: guía para su elaboración. Ficha de Cátedra, FFy L, UBA. Buenos Aires. En: http://es.slideshare.net/lili369/estado-de-la-cuestin

UNIVIM. (2024). Seminario el Estado del arte. Doctorado en educación con Tecnologías del Aprendizaje y del Conocimiento. univim.edu.com.mx

Vega, E.J. (2009). Estado de la cuestión: Filosofía de la tecnología*. Theoria 66*: 323-341.

Yurén, T., Hirsch, A. (2013). La investigación en México en el campo Educación y Valores*.* Estado del conocimiento de la década 2002-2011. Dirección de Medios Editoriales. ANUIES. México. 472 p. ISBN 978-607-451-074-4 (ANUIES), ISBN 978-607-7923-06-0 (COMIE).

TALLERES DE CREACIÓN DE VIDEOS ACCESIBLES

Emilio José Quiroz-Galván* y Francisco Isaac Moguel-Pedraza
Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación.
UNAM
*eqg26@comunidad.unam.mx

Resumen

En la actualidad, la tecnología nos brinda acceso instantáneo a una amplia variedad de información y los videos se han convertido en un formato muy popular para compartir contenido. Sin embargo, no todas las personas pueden ver o escuchar lo que ocurre en un video. Por ello, es fundamental seguir ciertas recomendaciones para que el contenido audiovisual que creemos o compartamos sea inclusivo y fácil de entender para la mayoría de las personas, sin importar sus habilidades. En este contexto, la UNAM, a través de la Dirección de Innovación y Desarrollo Tecnológico (DITE) de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC), comprometida con la necesidad e importancia de generar material accesible para que pueda ser consultado por un mayor número de personas, ha desarrollado talleres dirigidos principalmente a docentes y a la comunidad universitaria en general, con el objetivo de enseñarles a crear videos accesibles mediante el uso de herramientas gratuitas de subtitulado como YouTube Studio y la edición de páginas web por medio de HTML.

Palabras clave: accesibilidad digital, inclusión, discapacidad.

Introducción

La popularidad del uso de videos en diferentes ámbitos ya sea para transmitir información, consultar datos o como entretenimiento, se ha incrementado durante los últimos años; de acuerdo con un estudio realizado por Cisco en el año 2018, el video representó más del 80% del tráfico de internet (Cisco, 2018), haciendo que este tipo de recurso sea una parte sumamente importante para los usuarios de internet.

Por tal motivo es necesario implementar la accesibilidad digital en los videos para asegurar que la información y contenidos que se colocan en un sitio web, reúnan una serie de requisitos para que al ser incluidos en una página o distribuidos de forma independiente, no generen una dificultad de acceso o pérdida de información para las personas con alguna discapacidad.

Si un video cuenta con las características suficientes para ser considerado accesible, se garantiza que el público pueda disfrutar del contenido sin importar sus condiciones.

Es esencial tener presente que la accesibilidad es un derecho fundamental, por lo que es importante que quienes crean este tipo de contenido multimedia o lo utilizan como recurso didáctico adquieran los conocimientos necesarios para hacerlos accesibles (Hilera y Campo, 2015).

Objetivo

Los talleres de creación de videos accesibles tienen por objetivo enseñar a los participantes las características fundamentales que debe de tener un video para ser accesible, ya sea a través de herramientas de edición o mediante el desarrollo de páginas web utilizando código HTML; para que más personas puedan disfrutar del contenido independientemente de sus habilidades.

Desarrollo del tema

La propuesta de los talleres surge de primera instancia en los “Cursos de Introducción a documentos accesibles con Office 365” impartidos por DITE de la DGTIC, durante los cuales se explicaban de manera muy general los elementos que deberían tener los videos para que fueran accesibles. Asimismo, al revisar la realimentación proporcionada por los participantes en la encuesta de opinión de los cursos, se muestra interés por el tema por lo que se decide desarrollar un taller independiente; siendo impartido por primera vez dentro del marco de actividades de las Jornadas de Visibilidad Web UNAM 2021[2], en dos ocasiones con una duración de 3 horas por cada taller y en modalidad en línea.

[2] https://www.visibilidadweb.unam.mx/materiales-por-tema/30

Los talleres de creación de videos accesibles estaban integrados por nueve temas:

1. Introducción: descripción del panorama actual.
2. Niveles de accesibilidad: definición de cada nivel y sus características.
3. Subtítulos: explicación de sus características y tipos.
4. Transcripción: exposición de sus características.
5. Audiodescripción: muestra de sus características.
6. Lengua de señas: descripción de sus características.
7. Herramientas gratuitas de edición: exposición de algunas herramientas y aplicación de subtítulos utilizando YouTube Studio.
8. Subtítulos por medio de programación: definición de sus tipos y características, e implementación con código.
9. Recomendaciones generales de accesibilidad: explicación de cada recomendación.

Su contenido se planeó tomando como base las características y recomendaciones que se listan en la WCAG 2.2 (*Web Content Accessibility Guidelines*)[3]:

> "El cumplimiento de los criterios de éxito descritos en la WCAG logra calificar los sitios web en uno de tres niveles de conformidad, que son:
> Para el nivel de conformidad A (el nivel mínimo), la página web cumple todos los criterios de éxito del nivel A o se proporciona una versión alternativa conforme.
> Para el Nivel AA de conformidad, la página Web satisface todos los Criterios de Éxito de Nivel A y de Nivel AA, o se proporciona una versión alternativa conforme de Nivel AA.
> Para la conformidad con el Nivel AAA, la página Web satisface todos los Criterios de Éxito de Nivel A, Nivel AA y Nivel AAA, o se proporciona una versión alternativa conforme con el Nivel AAA. (W3C, 2023)" (Moguel, 2024, p.48).

[3] https://www.w3.org/TR/WCAG22/

Para los talleres se consideró solo abarcar hasta el nivel “AA” debido a la duración de las sesiones, en promedio de 2 horas, y al nivel de conocimiento que se requiere para poder implementar las adecuaciones técnicas para cumplir con las características descritas. Por lo tanto, se tomaron en cuenta los siguientes criterios para primero alcanzar un nivel “A” de accesibilidad y complementar lo necesario para un nivel “AA”.

Criterios fundamentales para alcanzar un nivel “A”:

- Todo el contenido solo presentado en video debe tener un equivalente en texto.
- Todo medio sincronizado (grabado), debe tener subtítulos.
- Para comunicar la información transmitida por medio de la vista, en la medida de lo posible se debe proveer una alternativa en texto o una audio-descripción.
- En el caso de páginas web si existe algún audio o video que emita sonido y este se reproduce automáticamente durante más de tres segundos, se deberá colocar un mecanismo para pausar o detener el sonido y un mecanismo para controlar el volumen.
- Todo video que se incluya debe tener la funcionalidad para ser operable a través del teclado.

Criterios indispensables para alcanzar un nivel “AA”:

- En el caso de tener videos que se generan en vivo, se debe asegurar que estén subtitulados.
- En el caso del nivel “AA” es obligatorio presentar una audio-descripción para todos los videos pregrabados y medio sincronizados.
- En el contenido del video y complementos se debe considerar un contraste mínimo de 4.5:1[4] al utilizar imágenes y textos.

Uso de subtítulos

[4] La relación de contraste de 4.5:1 fue elegida para el nivel AA, porque compensa la pérdida de sensibilidad al contraste que por lo general experimentan los usuarios con pérdida de visión, equivalente a una visión aproximada de 20/40 (20/40 se calcula en alrededor de 4.5:1.). 20/40 es comúnmente reportada como la agudeza visual típica de los ancianos de alrededor de 80 años (W3C Group, 2023).

Dentro de los talleres se destacó la importancia en especificar las correctas características que deben de tener los subtítulos, porque son el principal aspecto que ayuda a transmitir la idea de lo que sucede en pantalla a las personas que no pueden escuchar el video o que no entienden el idioma en el que se habla, ya que los subtítulos pueden ser una traducción al lenguaje del espectador.

Las características indispensables al momento de incluir subtítulos en los videos son:

- La tipografía debe ser muy legible, con un tamaño de fuente entre 18 y 26 puntos, con interlineado sencillo y ocupar máximo dos líneas de 35 o 37 caracteres en cada una de ellas, considerando que los espacios en blanco y los signos de puntuación también cuentan como caracteres.
- Las tipografías recomendadas por su fácil lectura son Arial, Century Gothic, Tahoma y Verdana.
- Su ubicación debe ser centrada y en la parte inferior del video, pero en caso de que se presente algo en esta zona, se pueden colocar centrados en la parte superior.
- Su contraste debe ser adecuado con el video para que puedan ser leídos. Los colores blancos, amarillo, verde o cian sobre fondo negro son lo más usados por su alto contraste.
- Deben ser lo más fiel posible a los diálogos y presentarse sincronizados.
- En casos con dos o más interlocutores, personajes, narradores o voz en off, se debe poder diferenciar qué diálogo le pertenece a cada uno con un color diferente y el texto de cada uno de ellos, deberá ocupar una línea.
- Cuando se reproduzcan efectos sonoros se sugiere describirlos y mostrarlos entre paréntesis y empezar con mayúsculas.

En los talleres se trabajaba con subtítulos cerrados (CC - *close captions*), debido a que son los que se usan comúnmente en plataformas como YouTube, Vimeo y Facebook; además son aquellos que pueden ser activados y desactivados por el espectador y se pueden agregar mediante código a los videos incrustados con HTML.

Uso de transcripciones

A los participantes de los talleres se les mencionaba que las trascripciones corresponden a la versión en texto del contenido del video y de las audio-descripciones que se generen. Y que estas son de suma importancia para los usuarios que no pueden escuchar el video o cuando no puede ser reproducido, porque les permite la obtención de la información con ayuda de una tecnología de asistencia o a través de texto mostrado en un apartado donde se coloque el video.

Uso de audio-descripciones

Se explicaba en los talleres que las audio-descripciones son una voz en off que incluye toda la información relevante que no está disponible en forma auditiva y ayudan a las personas con discapacidad visual a contextualizar la trama, los ambientes, los efectos visuales y la apariencia de los personajes.

Las características de una audio-descripción son:

- Debe ser fluida, sencilla, con frases cortas y directas.
- Es adicional a los diálogos.
- No debe sobreponerse con los otros sonidos.
- Debe incluir toda la información que se pueda con el menor número de palabras. Pero si esto no es posible, se puede optar por añadir un plano extra, sin locución que pueda incluir más audio-descripciones.

Uso de Lengua de señas

A los talleristas se les exponía que la lengua de señas es la más usada por las personas con discapacidad auditiva, ya que transmiten los matices emocionales y las entonaciones de las conversaciones, aspectos que los subtítulos en un video no logran comunicar.

Las principales características de la lengua de señas son:

- Se debe sincronizar al intérprete de lengua de señas con el audio original del video, para evitar retrasos o confusiones.

- Se recomienda colocar al intérprete que está realizando la traducción, en una esquina inferior para que sea visible y no interfiera con el contenido del video.
- Se sugiere que el intérprete tenga un fondo y una vestimenta que contrasten con el color de su piel para facilitar la lectura de las señas.

En los talleres se aclaraba que cada país tiene su propia lengua de señas, por consiguiente, si se quisiera incluir en algún video de México, se tendría que incorporar a un intérprete que conociera la lengua de señas mexicana.

Subtítulos por medio de herramientas gratuitas de edición de video

En este apartado a los talleristas se les compartían algunos aspectos de Shotcut[5], programa gratuito para edición de video y Subtitle Edit[6] para subtitulado, y si bien no se enseñaba a editar por la limitante del tiempo, se explicaba principalmente a utilizar la herramienta en línea de YouTube Studio, la forma de ingresar a ella que requería disponer de un correo de Gmail, cómo subir un video y los campos de información que se podían llenar, la forma en que YouTube agrega subtítulos automáticos y cómo editarlos, para lo cual se enseñaba a usar los elementos de línea de tiempo, la onda de audio, modificar los subtítulos por cuadro de texto o por duración, publicar, descargar o exportar los subtítulos ya editados y cómo visualizarlos en el video correspondiente guardado en la computadora.

También se mencionaban las ventajas de utilizar esta herramienta, por ejemplo, que es gratuita, no instala nada en el equipo de cómputo, es multiplataforma y de manera automática genera los subtítulos de un video.

Finalmente, se hablaba de las desventajas de YouTube Studio, como lo son que carece de algunos parámetros para modificar o ajustar los subtítulos, que para usarlo se necesita estar siempre conectado a internet y que los subtítulos automáticos dependen de la

[5] https://www.shotcut.org/
[6] https://github.com/SubtitleEdit/subtitleedit/releases

calidad del audio y la dicción de los personajes del video, porque puede haber palabras que no logre transcribir correctamente (Figura 1).

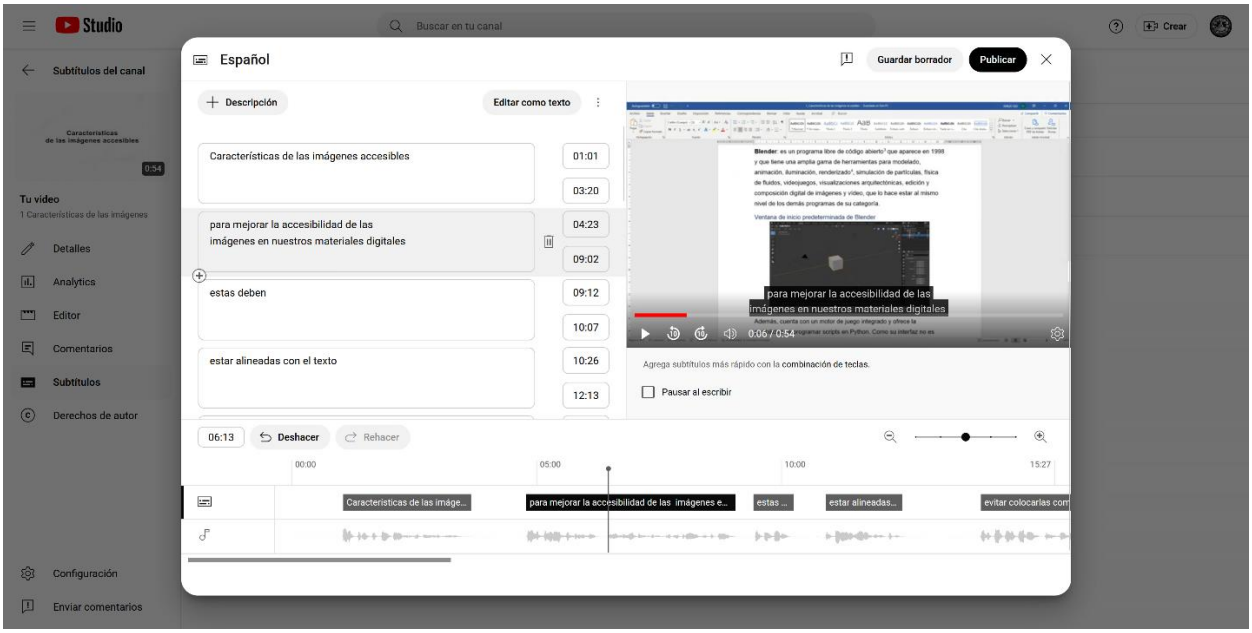


Figura 1. Interfaz de YouTube Studio herramienta gratuita de subtitulado (YouTube Studio, 2024)

Subtítulos por medio de elementos HTML y VTT

En los talleres se mostraba cómo mediante código es posible añadir la opción de mostrar subtítulos en más de un idioma, los navegadores web ya tienen la capacidad de interpretar cierta sintaxis para proveer los controles y funcionalidades necesarias.

Asimismo, se compartía que una de las ventajas de hacerlo con código es que se tiene un completo control de los subtítulos, del estilo, posición, tamaño de línea, tamaño de fuente, la posibilidad de mostrar más de un subtitulo a la vez, lo cual puede llegar a ser muy útil al momento de añadir descripciones de eventos que se transmiten sin sonido o elementos presentados que modifican el contexto de la escena.

Sin embargo, debían considerar que la principal desventaja es que requiere de conocimientos en desarrollo web para su implementación, además de que es necesario invertir una mayor cantidad de tiempo en la generación de los archivos indispensables para que funcionen adecuadamente.

A los talleristas se les instruía a utilizar los elementos obligatorios para agregar un video por medio de código como lo son:

1. Elemento (<video>): etiqueta necesaria para agregar un video a una página web, que considera los siguientes atributos:
    - src = dirección donde se encuentra el video, puede ser una ruta absoluta o relativa.
    - autoplay = bandera para saber si se reproduce automáticamente el video al cargar la página.
    - poster = imagen que se muestra antes de reproducir el video.
    - controls = bandera para saber si el video se muestra con los controles de reproducción.
2. Elemento (<source>): adicional a la forma de usar el “src” directamente dentro de la etiqueta de video, se recomienda poner la etiqueta “source” para tener la fuente del video y con ello contar con más de una fuente, es decir, disponer más de un formato de video, lo cual beneficia a los navegadores porque hay varias opciones en caso de que alguna no se encuentre o no se pueda cargar en un navegador especifico.
3. Elemento (<track>): código HTML que permite especificar los subtítulos de un video mediante el elemento con la etiqueta “track”. Con ello se especifica el tipo de contenido que estamos añadiendo, el idioma en el que está y la dirección de la fuente, donde se encuentra el archivo de texto que contiene la información real de los subtítulos (archivo vtt).
4. Archivo (archivo vtt): al igual que los archivos de subtítulos “srt” los vtt o WebVTT por sus siglas en inglés (Web Video Text Tracks Format), tienen como principal objetivo añadir superposiciones de texto a un elemento <video>.

Se indicaba que dentro de la especificación de los subtítulos era posible añadir estilos o características visuales a los textos mostrados en el video y estos pueden ser

personalizados por medio de CSS (hojas de estilo en cascada) o etiquetas como los son la <i> para itálicas, <u> para subrayado o <b> para uso de negritas.

Por último, se especificaba que el uso de subtítulos por medio de código permite agregar señalizaciones para separar personajes o actores, identificadores de tipo de texto o cambios en contexto, todo dentro del mismo video, por lo que se pueden estilizar de manera diferente, dando la facilidad de identificar más rápido quien dice los diálogos, las situaciones, emociones efectos; esto por medio del uso de la etiqueta <v “identificador”> en las líneas de subtitulo donde se requiera (Figura 2).

Figura 2 Ejemplo de cambio de estilos para subtítulos en HTML (imagen original)

Conclusión

El uso de videos es un recurso muy usado en la transferencia de información, ya sea como material de apoyo dentro del aula o en cualquier sitio web, por lo que resulta fundamental que sean accesibles para incrementar el impacto que pueden llegar a tener, porque un video accesible tiene diversas ventajas y puede ayudar a:

- Alcanzar a las personas con alguna discapacidad.
- Otorgar beneficios no solo relacionados con la inclusión; como lo son el buen posicionamiento de las páginas con este tipo de videos, mejor indexado para encontrar los sitios en donde se encuentran y una mayor audiencia en páginas como YouTube.
- Reducir la brecha digital que existe para las personas con discapacidad. En relación con lo antes mencionado:

> “[…] referente a las dificultades en el acceso a contenidos, se

identificaron dos aspectos: son muy escasos los sitios que tienen integradas algunas herramientas para personas con discapacidad visual o auditiva aún aquellos de instituciones oficiales; y que los sitios en general no están confeccionados de manera que sean fácilmente utilizables las aplicaciones de apoyo a las personas con discapacidad, fundamentalmente aquellas para personas con discapacidad visual." (Koike, 2024, p.59).

Es de destacar el empeño que mostraban los profesores que asistían a los talleres por aprender nuevas herramientas en beneficio principalmente para sus alumnos, su dedicación inspira a continuar capacitando a más personas sobre accesibilidad digital.

Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento a los profesores interesados en la accesibilidad digital, quienes han dedicado su tiempo para participar en los talleres y aplicar lo aprendido.

Y no menos importante, queremos agradecer su valioso apoyo a nuestras compañeras académicas, a la Lic. Alma García, por su dedicación y por compartir sus conocimientos en matemáticas y pedagogía para la creación de documentos accesibles, y a la Dra. Esther Labrada, por su constancia y vasta experiencia en temas de inclusión, siendo pionera de esta labor en la DGTIC.

Referencias

Cisco. (2018). *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022*. Cloud. Report. En: https://cloud.report/Resources/Whitepapers/eea79d9b-9fe3-4018-86c6-3d1df813d3b8_white-paper-c11-741490.pdf

Hilera, G.J., Campo, M.E. (2015). *Guía para crear contenidos digitales accesibles: Documentos, presentaciones, vídeos, audios y páginas web.* En: http://www.esvial.org/wp-content/files/ESVIAL.LibroDigital_es_2015.pdf

Moguel, P.F.I. (2024). Recomendaciones técnicas para implementar y asegurar la accesibilidad web en los sitios institucionales. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 2*(2). https://doi.org/10.22201/dgtic.ctud.2024.2.2.50

Koike, Q.S.A. (2024). *Estrategias para cerrar las brechas digitales en México*. En: https://centrodeestudios.ift.org.mx/admin/files/estudios/1706294645.pdf

W3C Group. (2023). *Understanding WCAG 2.0.A guide to understanding and implementing Web Content Accessibility Guidelines 2.0.* En: https://www.w3.org/TR/UNDERSTANDING-WCAG20/visual-audio-contrast-contrast.html

USO DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS

Andrea Carrillo-Martinez[1], Gerardo Isai Tapia-Cortina[1], José Iván Ambrocio-Sandoval[1*], María de Lourdes Ramírez-Rodríguez[1], Montserrat Corona-Guerrero[1], Valentina María del Ángel Peña-López[1] y Virginia Andrade-Gallardo[1]

[1]Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM

*ivan.ambrocio@cuautitlan.unam.mx

Resumen

La industria de la fabricación de productos lácteos ha sido un pilar fundamental en la alimentación del consumidor, adaptándose constantemente a las necesidades y demandas de la sociedad. La utilización de diagramas de flujo es esencial en este contexto. Estos diagramas son una representación gráfica que facilita la descripción detallada de los procesos dentro de un sistema mediante diferentes símbolos, permitiendo identificar puntos clave, focalizar la atención en ellos, detectar posibles problemas y buscar actividades omitidas. Este enfoque se ha implementado en la elaboración de diversos productos en el Módulo de Lácteos del Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES Cuautitlán) de la UNAM. Su aplicación permite documentar y estandarizar los procesos, facilitando la capacitación de nuevos integrantes, mejorando la trazabilidad y optimizando los recursos. En particular, el proceso de elaboración del queso requiere considerar varios factores clave, como la acidez, el pH y la temperatura. Nuestro principal foco de monitoreo en la elaboración de quesos de pasta hilada (v.g. queso Asadero) es la acidez del medio, la cual es importante ya que una acidez elevada permite alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína, lo que facilita que el queso pueda hilarse o plastificarse adecuadamente, además, la temperatura es crucial para garantizar que la actividad enzimática del cuajo

sea óptima, lo que a su vez determina las características organolépticas finales del producto, como su sabor, textura y aroma.

Palabras clave: Diagrama, flujograma, estandarización, queso, Flowchart.

Introducción

Los diagramas de flujo son herramientas esenciales en la industria alimentaria, en particular en la elaboración de productos lácteos. Estos diagramas permiten visualizar y entender los diferentes procesos involucrados en la producción, facilitando la identificación de áreas de mejora y la estandarización de procedimientos. La implementación de diagramas de flujo ayuda a asegurar la calidad del producto final y a cumplir con las normativas de seguridad alimentaria.

Según Manene (2011), un diagrama de flujo es una representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples. De acuerdo con Camisón *et al.* (2006), los diagramas de flujo, también denominados flujogramas, muestran la secuencia de pasos de un proceso. Manene (2011) también indicó que se puede definir como una representación gráfica que desglosa un proceso en cualquier actividad a desarrollarse tanto en empresas industriales o de servicios y en sus departamentos, secciones u áreas de su estructura organizativa. Es decir, un diagrama de flujo nos ayuda a describir, de manera gráfica, una serie de pasos que nos ayudan a complementar una actividad más grande o proceso.

Los diagramas de flujo ofrecen una representación gráfica detallada de las etapas del proceso de producción, abarcando desde la recepción de la materia prima hasta el envasado y almacenamiento del producto final. Estos diagramas permiten identificar los puntos críticos de control (PCC) necesarios para monitorear y controlar la calidad y seguridad del producto, facilitando la creación de procedimientos operativos estándar (POE), garantizando que cada lote de producción se maneje de manera consistente. Además, ayudan a detectar ineficiencias y áreas de mejora en el proceso, fomentando una cultura de mejora continua, y sirven como herramientas educativas valiosas para la formación del personal, asegurando que todos comprendan los pasos y la importancia de cada etapa del proceso.

Actualmente, en las organizaciones, los diagramas de flujo son considerados como uno de los principales instrumentos en la realización de cualquier método, sistema, proceso, procedimiento, entre otros.

Según Camisón *et al.* (2006), son de utilidad para describir cualquier proceso existente o nuevo en la organización. Esta herramienta puede ser aplicada para:

- Realizar las descripciones formales de los procesos dentro de un sistema de gestión de la calidad.
- Identificar aspectos clave del proceso, a lo que lógicamente se les deberá prestar mayor atención.
- Localizar posibles problemas, lo que permite llevar a cabo acciones de prevención.
- Buscar acciones o actividades omitidas, bien por error o bien por innecesarias.

En la industria de alimentos los diagramas de flujo son esenciales en la elaboración de los productos alimenticios, ya que indican cada una de las actividades del proceso, así como condiciones de operación, las entradas y salidas, lo cual permite que sea de fácil entendimiento y seguimiento.

La industria láctea no es la excepción, ya que es indispensable desarrollar diagramas que permitan dar seguimiento a los procesos de fabricación, como es el caso del queso asadero. De acuerdo con Villegas *et al.* (2014), “Asadero” es un término que se aplica al queso genérico y, que en México se designa al producto de pasta filante o hilada. Es un queso que puede presentarse en forma de bloque, cilindros planos y/o tortilla (rebanado) con diferente tamaño, peso y grosor. La calidad en este queso se basa en controlar las condiciones de fabricación, mismas que serán especificadas mediante un diagrama de flujo.

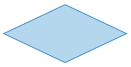
Objetivo

Implementar el uso de diagramas de flujo en los procesos de elaboración de productos lácteos, como herramienta para la estandarización, control de calidad y toma de decisiones en el Módulo de Lácteos de la FES Cuautitlán, UNAM.

Desarrollo del tema

El contenido y uso de los diagramas de flujo en el Módulo de Lácteos ha sido desarrollado para los diferentes procesos de elaboración de productos lácteos, su aplicación ha permitido conocer, identificar y tener un correcto manejo las condiciones de proceso, identificar los PCC, definir tiempos y temperaturas, condiciones de acidez (pH y grados Dornic), cantidad de insumos requeridos y especificaciones particulares que son indispensables en la producción diaria. Su implementación ha requerido de una investigación en la metodología, así como conocer los aspectos básicos en su diseño, como es el caso de la simbología, la cual es importante para un correcto entendimiento. En la Tabla 1 se muestran la simbología más importante para el desarrollo e interpretación de los diagramas de flujo.

Tabla 1. Simbología en los diagramas de flujo (Vivas, 2008).

Símbolo	Nombre	Función
	Inicio/Fin	Indica el inicio y el final del diagrama de flujo.
	Línea de flujo	Conecta los símbolos señalando el orden en que se deben realizar las distintas operaciones.
	Acción o Proceso	Símbolo de proceso, representa la realización de una operación o actividad relativas a un procedimiento.
	Documento Impreso	Representa cualquier tipo de documento que entra, se utilice, se genere o salga del procedimiento
	Multidocumento	Multidocumento en el proceso.
	Decisión o Ramificación	Indica un punto dentro del flujo en que son posibles varios caminos alternativos.
	Entrada / Salida	Indica la salida y entrada de datos
	Entrada Manual	Paso en el que se pide al usuario que introduzca la información manualmente.
	Preparación	Ajuste a otro paso en el proceso.
	Conector	Indica el flujo continúa donde se ha colocado un símbolo idéntico (que contiene la misma letra).

Planeación y diseño del diagrama de flujo

Para poder elaborar un diagrama de flujo, es indispensable conocer detalladamente y plasmar el proceso que será sometido a la metodología; para ello, mostramos algunos pasos generales en la fabricación de queso asadero, mismos que deben ser especificados para estandarizar el proceso.

Recepción de la leche

La leche debe tener una densidad adecuada entre 1.028 y 1.034 g cm^{3-}, una temperatura de 2-4 °C, un porcentaje de grasa entre 3% y 5%, y una acidez de 13 a 17 grados Dornic. Además, sus características organolépticas deben ser frescas, con un sabor limpio, color uniforme y sin olores extraños.

Ajuste de acidez

Los quesos de pasta hilada son productos que, durante su elaboración, la pasta requiere una acidez alta (con el orden de pH de 5.2), para que esta pasta pueda termoplastificarse o estirarse (hilarse). El ácido cítrico es un aditivo común en la elaboración de este tipo de quesos.

Cuajado

Los factores que intervienen para lograr la coagulación son la temperatura de la leche (cuando más temperatura, menos tiempo de coagulación), la acidez de la leche (cuando más acidez, menos tiempo de coagulación), entre otros. Aquí se deberá especificar qué condiciones de temperatura, acidez y dosificación de la enzima, según los resultados deseados.

Fundido

Este paso es crucial en la elaboración de quesos de pasta hilada. La temperatura a la que es sometida la pasta es a 64-65 °C para poder ser fundida y moldeada.

Condiciones de entrada y salida en el diagrama de flujo

Es importante identificar las condiciones de entrada y de salida de nuestro proceso, con el fin de mejorar su entendimiento. En el caso del queso asadero, se debe identificar y plasmar en qué etapa del proceso será necesario integrar al proceso aditivos como el ácido cítrico, el cuajo y la sal.

Condiciones de proceso

De la misma forma, es importante señalar las condiciones de temperatura, tiempo, acidez, etc., las cuales serán especificadas en las etapas correspondientes.

Diseño del diagrama de flujo en la fabricación de queso asadero en el Módulo de Lácteos

Una vez recopilada la información y conociendo la metodología para el desarrollo, se procede a diseñar el diagrama, según la secuencia del proceso. A continuación, se presenta el diagrama de flujo propuesto e implementado para la fabricación de queso asadero (Figura 1).

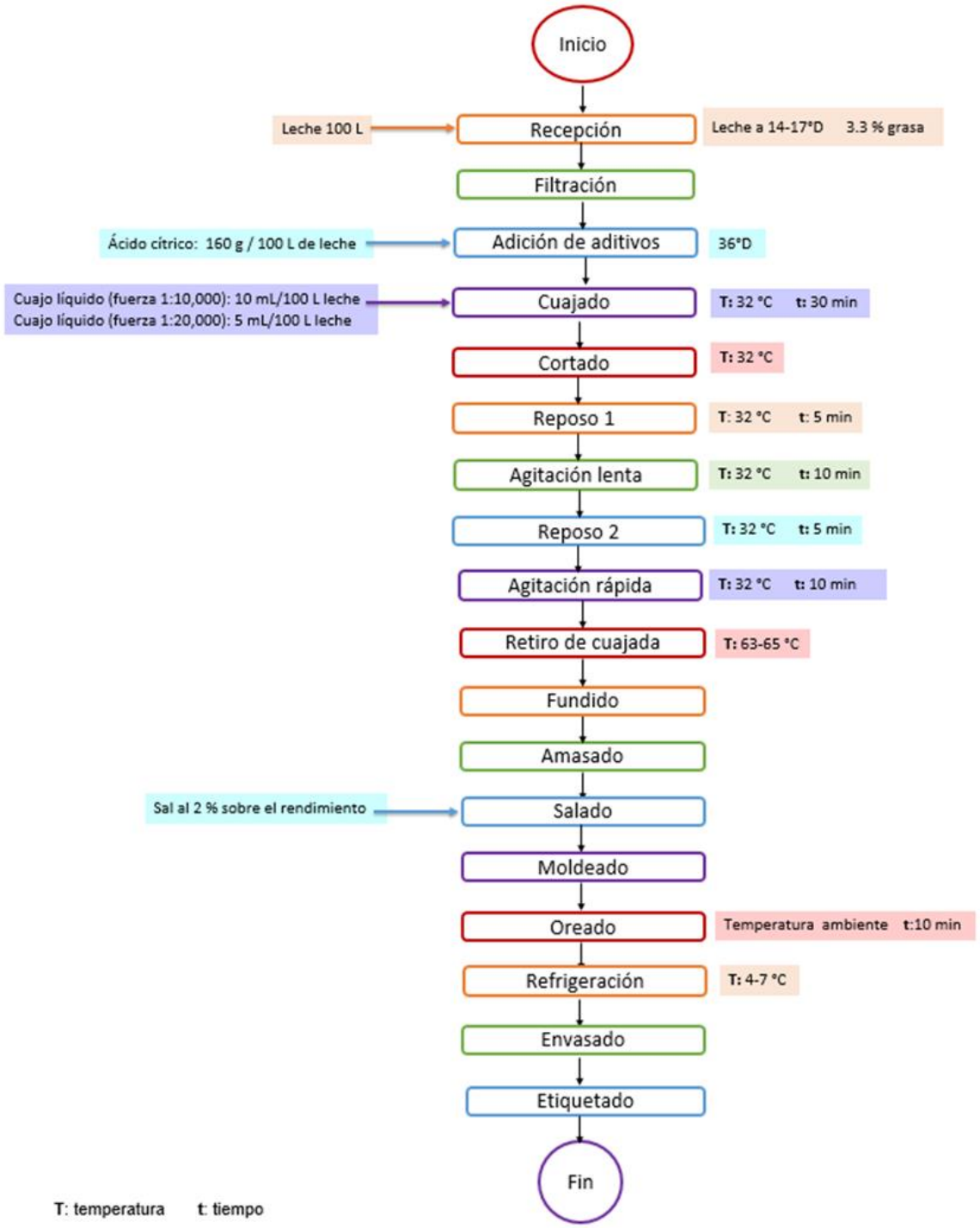


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso para queso asadero.

Interpretación del diagrama de flujo

Se interpreta de la misma forma en que leemos un texto. Salvo raras excepciones, los diagramas deben leerse de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. La señal que genera o usa el circuito fluirá en esa dirección. La lectora o el lector puede seguir la misma ruta de la señal para entender qué sucede con ella y cómo varía.

Implantación del diagrama de flujo en el Módulo de Lácteos

Es fundamental verificar que lo que está escrito en el diagrama corresponde con las etapas del proceso, para ello se deberán hacer pruebas y asegurar que la información sea correcta, así como identificar puntos de mejora en su diseño.

El diagrama terminado deberá ser comunicado a todos los miembros del equipo de trabajo, sobre todo aquellos que se encuentran en el área de proceso, los cuales pueden identificar oportunidades de mejora y retroalimentación.

Una vez verificado podrá ser utilizado como base para la estandarización y material de apoyo para la formación y capacitación de todos los miembros de la organización.

Conclusión

Los diagramas de flujo son cruciales para detallar y optimizar los procesos de producción en la industria de los alimentos. Ayudan a estandarizar procedimientos, facilitar la capacitación y mejorar la trazabilidad y eficiencia de las organizaciones. La incorporación de los diagramas de flujo en los procesos del Módulo de Lácteos, junto con otras herramientas y metodologías, han permitido la estandarización de los procesos, asegurando la calidad de los productos fabricados.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Programa UNAM-PAPIME PE207122.

Referencias

Camisón, C., Cruz, S., González, T. (2006). *Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Pearson Educación S.A.

Manene, L.M. (2011). *Los diagramas de flujo: su definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas y ejemplos de aplicaciones*. En: https://luismiguelmanene.wordpress.com/2011/07/28/los-diagramas-de-flujo-su-definicion-objetivo-ventajas-elaboracion-fases-reglas-y-ejemplos-de-aplicaciones/

Vivas, M. (2008). Flujogramas. En: https://es.slideshare.net/slideshow/flujogramas/227141

Villegas, G.A., Cervantes, E.F., Cesin, V.A., Espinoza, O.A., Hernández, M.A., Santos, M.A., Martínez, C.A.R. (2014). *Atlas de los quesos mexicanos genuinos*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Méx. pp. 97-103. ISBN: 978-607-715-205-7.

ÍNDICE DE AUTORES

Adriana Llorente-Bousquets, 201
Alejandro Hernández-Morales, 129
Andrea Carrillo-Martinez, 248
Andrea Nieves-Osorio, 190
Andrés Herrera-Vázquez, 59
Angel Adonai Camacho-Acosta, 141
Angélica Espinoza-Godínez, 3
Arturo Aguirre-Gómez, 27
Brenda Ramírez-Tapia, 206
Carlos Gerardo García-Tovar, 190
Carlos Gómez-García, 59
Carlos Konanchuk, 180
César Díaz-Pérez, 17
Cristel Ximena Cortés-Valadez, 216
David Pacheco-Guadarrama, 141
David Tinoco-Varela, 76
Deneb Camacho-Morfín, 169
Diego Sánchez-García, 76
Donovan Misael Arévalo-Alcalá, 154
Edgar Samuel Lara-Murillo, 66
Emilio José Quiroz-Galván, 236
Francisco Isaac Moguel-Pedraza, 236
Francisco Javier Hernández-Flores, 17
Gabino Estevez-Delgado, 66, 107
Gabriela Sánchez-Hernández, 206
Gerardo Isai Tapia-Cortina, 248
Gloria María Solares-Díaz, 27
Gonzalo Hedain López-Mera, 76
Guillermo Carlos Reutemann, 180
Gustavo Ángel Bich, 180
Gustavo Mercado-Mancera, 141
Gyna Karen Oreo-Mota, 201
Irving Luna-Ortiz, 91
Israel Méndez-Meza, 129
J. Aldo Paredes-Ballesteros, 91
Jerónimo Martínez-Flores, 176
Joaquin Estevez-Delgado, 66, 107
Jorely Palma-Clemente, 201
José Eduardo Cuevas-Cuevas, 107
José Iván Ambrocio-Sandoval, 248
José Luis Garza-Rivera, 3
Joselo R. Martínez-Rosas, 42
Julieta González-Sánchez, 154
Julio Litniczuk, 180
Laura D López-Barrera, 42
Lenin Sánchez-Calderón, 17
Lilián Camacho-Morfín, 169
Luciano Antonio Juárez-Díaz, 17
Lucina Hernández-Martínez, 129
Luis Alberto Parra-Oaxaca, 76
Luis Alejandro Mancini, 180
Luis Fernando Jurado-Badillo, 141
M. Gabriel Villarreal-Cervantes, 91
Ma. Reyes Pichardo-Molinero, 190
Manuel Alejandro Morón-Rangel, 141
Marcela Paola Barengo, 180
María Cecilia Itatí Fasano, 180
María Cristina Julia Pérez-Reyes, 206
María de Lourdes Ramírez-Rodríguez, 248
María Elena Quintana-Sierra, 27
María Elena Vargas-Ugalde, 154
María Lorena Castrillo, 180
María Teresa Mosqueda-Moreno, 216, 227
Mario Luis Chew-Hernández, 51
Melina del Real-Monroy, 17
Mikel Goicochea, 180
Miriam Chambi-Vásquez, 120
Montserrat Corona-Guerrero, 248
Natalia Soledad Amerio, 180
Patricia Ramírez-Noguera, 42
Paulina Ponce-Ávila, 66
Pedro Darío Zapata, 180
Pedro Pablo Chambi-Condori, 120
Raquel Rubio-González, 129
Raúl Dalí Cruz-Morales, 76
Raúl Gómez Gómez.Tagle, 51
Reynoldez Vicente Barragan-Hidalgo, 27
Ricardo Rodríguez-Figueroa, 51
Roberto Díaz-Torres, 42
Rosa Guadalupe Valadez-Olguín, 216
Samantha Jardon-Xicotencatl, 190
Sergio Jiménez-Ambriz, 206
Sinuhé Carlos Guardado-López, 176
Sofía González-Gallardo, 201

Stephanie González, 190
Valentina María del Ángel Peña-López, 248
Virginia Andrade-Gallardo, 248
Viridiana García-García, 42

Esta obra electrónica se terminó de editar el 28 de octubre de 2024
Tipografía Arial. Presentación en formato PDF. Cuautitlán Izcalli, Estado de México