



Mexican Journal of Technology and Engineering

e-ISSN: 2954-5161

Volumen 4 Número 1



Consejo editorial

Editores

Dr. José Fernando Méndez González
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Editores de área

Ciencias Químico-Biológicas

Dr. Francisco Javier Martínez Valdez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Ciencias Agropecuarias

Dr. José Miguel Ángel Castillo Minjarez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ingeniería y Desarrollo Tecnológico

Dr. Gerardo Atlantis Gómez Ramos
Universidad Veracruzana

Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Cesaire Chiatchoua
Instituto Politécnico Nacional-ESE



Editores asociados

Ciencias Químico-Biológicas

Dr. Jesús Gerardo Saucedo Castañeda
Universidad Autónoma Metropolitana

Dra. Maribel Quezada Cruz
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dra. Enaim Aída Vargas León
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ciencia y Tecnología de alimentos

Dr. José Juan Buenrostro Figueroa
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Dr. Pedro Aguilar Zarate
Instituto Tecnológico de Ciudad Valles

Dra. Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Ciencias Agropecuarias

Dra. Lilianha Domínguez Mafavón
Worcester Polytechnic Institute

Dr. Oscar Arce Cervantes
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Dr. Paul Misael Garza López
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Ciencias Básicas e Ingenieriles

Dra. Lina María Grajales Agudelo
Federal University of Tocantins

Dr. José Fernando Durán Pérez
Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. Martin Celli
Universidad Autónoma Metropolitana

Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Moise Djepang Kouamo
University of Doula

Dr. Juan Agustín Tapia Alba
Universidad la Salle México

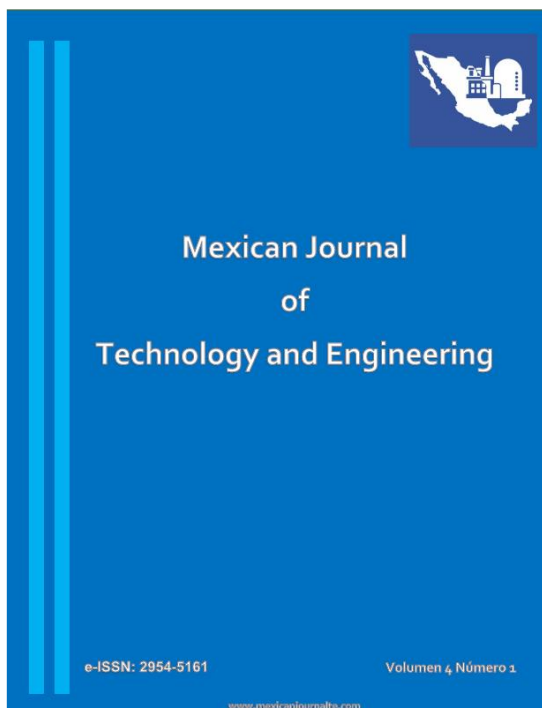
Mtra. Rita Ávila Romero
Instituto Politécnico Nacional-ESE

Divulgación Científica

Dr. Zeus Huitzilopochtli Pinedo Guerrero
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Dr. Armando Ordaz Hernández
Universidad de la Cañada

Dra. Josefa Espitia López
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo



Mexican Journal of Technology and Engineering es una publicación cuatrimestral (Vol. 4, No 1, enero-abril de 2025) editada por los doctores José Fernando Méndez González y Rafael Alejandro Angel Cuapio. Difusión y soporte digital vía internet www.mexicanjournalte.com, editorial@mexicanjournalte.com. Editor Responsable: Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio, con dirección en Norte 8, #214, Col. Santa Cruz, Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, CP 56617, angelcuapio@gmail.com. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2021-063018102800-102, e-ISSN: 2954-5161, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. El responsable de la última actualización de este número fue el Dr. José Fernando Méndez González. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de la manera de pensar del Consejo y/o Comité Editorial. El contenido de la revista está disponible bajo los términos de licencia CC BY-NC-SA 4.0

[Mexican Journal of Technology and Engineering, Vol. 4, No. 1](#) © 2025 by [Sociedad Mexicana de Tecnología, Ingeniería y Humanidades](#) is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](#)



Contenido

Artículos de divulgación científica

Neurospora: A casi 200 años de su primer reporte, un hongo con historia y ciencia.....5-16

Serafín Pérez-Contreras, Dora Angélica Ávalos de la Cruz, Manuel Alejandro Lizardi Jiménez, José Andrés Herrera Corredor, Obdulia Baltazar Bernal y Ricardo Hernández Martínez.

Producción de levano microbiano y usos potenciales.....17-25

Mariana González-Torres, Francisco Hernández-Rosas, Josafhat Salinas-Ruiz, José Andrés Herrera Corredor, Neith A. Pacheco-López y Ricardo Hernández-Martínez.

Estrategias post-COVID-19. Herramientas de planeación empresarial, mercadeo y concientización para el consumo de miel y productos derivados.....26-40

Karelia Y. Galarza-Ponce, Ana L. Guzmán-Elizalde y Josefina Espitia-López.

Publicaciones regulares

Ciencias Sociales y Humanidades

Conocimiento especializado en matemáticas y su enseñanza con profesores de sexto grado en escuelas vespertinas.....41-57

Carmen Sandoval-Téllez.

Ciencias Básicas e Ingenieriles

Copper Mountain Mina tailings dam safety review supplement.....58-81

Daniel Brox.

Anexos

Guía para autores.....82-85



Artículo de divulgación científica

<https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.0416>

Pérez-Contreras et al., 2025

Recibido: 01-02-2025

Revisado: 18-02-2025

Aceptado: 07-03-2025

Publicado: 01-04-2025

Neurospora: A casi 200 años de su primer reporte, un hongo con historia y ciencia

Neurospora: Nearly 200 years after its discovery, a fungus with history and science

Serafín Pérez-Contreras^{1*}, Dora Angélica Ávalos de la Cruz¹, Manuel Alejandro Lizardi Jiménez², José Andrés Herrera Corredor¹, Obdulia Baltazar Bernal¹ y Ricardo Hernández Martínez^{1,*}

¹ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km.348, Amatlán de los Reyes, C.P.94946, Veracruz. México.

² SECIHTI-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sierra Leona Sierra Leona 550, 2da. Sección, C. P. 78210 San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

*Correspondencia: odracerhema@gmail.com

Resumen

El género de hongos filamentosos *Neurospora* tuvo su primer reporte en el año 1843 como un contaminante persistente en panaderías francesas, desde entonces, ha evolucionado de ser una plaga para convertirse en un organismo modelo fundamental para la ciencia. Su relevancia inició en los años 40 con los trabajos de Beadle y Tatum, quienes realizaron estudios con *Neurospora crassa* para establecer la relación resumida en "un gen, una proteína", revolucionando la genética y la bioquímica, al punto de ser acreedores al premio nobel de Fisiología o Medicina en 1958. Además, estudios posteriores revelaron su papel en la comprensión de los ritmos circadianos, identificando mecanismos moleculares conservados en eucariotas, como los bucles de retroalimentación entre proteínas reguladoras. En biotecnología, la investigación con *Neurospora* ha tenido aportaciones por su capacidad para producir enzimas hidrolíticas (celulasas, xilanasas, amilasas) con capacidad para degradar la biomasa vegetal, ofreciendo alternativas para la producción de biocombustibles y compuestos industriales. Así mismo, han existido estudios enfocados en la fermentación de residuos agrícolas para mejorar su valor nutricional, destacando aplicaciones en alimentación sostenible. Con un ciclo de vida corto, una mayor complejidad en comparación a las levaduras y facilidad en su manejo, *Neurospora* sigue siendo una herramienta versátil en investigación. Su historia ejemplifica cómo un organismo que fue considerado un problema se convirtió en un aliado científico multidisciplinario, con potencial continuo para la innovación en sostenibilidad y biotecnología.

Palabras clave: Organismo modelo, *Neurospora crassa*, hongos filamentosos.



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

Abstract

The filamentous fungus genus *Neurospora* was first reported in 1843 as a persistent contaminant in French bakeries. Since then, it has evolved from a pest into a key model organism in scientific research. Its significance emerged in the 1940s with the notable work of Beadle and Tatum, who used *Neurospora crassa* to establish the "one gene, one enzyme" hypothesis, revolutionizing genetics and biochemistry—an achievement that earned them the 1958 Nobel Prize in Physiology or Medicine. Further studies revealed *Neurospora*'s role in understanding circadian rhythms, uncovering conserved molecular mechanisms in eukaryotes, such as feedback loops between regulatory proteins. In biotechnology, *Neurospora* research has contributed to the production of hydrolytic enzymes (cellulases, xylanases, amylases) capable of breaking down plant biomass, offering promising alternatives for biofuel and industrial compound production. Additionally, studies have explored its use in fermentation of agricultural residues to enhance their nutritional value, highlighting applications in sustainable food production. With a short life cycle, greater complexity than yeasts, and ease of handling, *Neurospora* remains a versatile research tool. Its history exemplifies how an organism once considered as a problem became a multidisciplinary scientific ally with continuous potential for innovation in sustainability and biotechnology.

Keywords: model organism, *Neurospora crassa*, filamentous fungi.

1. Introducción

Neurospora es un género de hongos filamentosos que ha sido protagonista en la ciencia durante más de un siglo, aunque su fama inicial no fue precisamente positiva: durante décadas, fue conocido como una plaga persistente en las panaderías de Francia. Este hongo tiene una capacidad asombrosa para crecer de manera prolífica sobre el pan, produciendo masas de esporas de color salmón que, al dispersarse, forman densas nubes. Antes de la introducción de inhibidores de mohos en el pan comercial, las infestaciones de *Neurospora* eran un problema serio para los panaderos (Beadle, 1945).

Las estrategias para el control de *Neurospora* no fueron eficientes hasta los descubrimientos de Shear y Dodge (1927), quienes describieron sus estados sexuales y revelaron que sus ascosporas pueden soportar temperaturas altas. Esto explicó por qué era tan difícil controlar su propagación en las panaderías. Pero *Neurospora* no es solo un molesto invasor: en los trópicos, este hongo juega un papel ecológico clave como uno de los primeros colonizadores en campos de siembra

quemados. Además de su relevancia científica y ecológica, *Neurospora* también ha tenido un lugar en la cultura culinaria. En la isla de Java, en Indonesia, se utiliza tradicionalmente para preparar un alimento llamado oncom. Este platillo se elabora a partir de harina de cacahuete (obtenida tras la extracción de su aceite), que se extiende en láminas sobre hojas de plátano y se inocula con *Neurospora*. Tras unos días de fermentación, el cacahuete adquiere un color naranja brillante debido a la presencia de los conidios del hongo, señal de que el oncom está listo para consumirse (Beadle, 1945).

En este artículo exploraremos la importancia de *Neurospora* como organismo modelo en el avance científico, en áreas como la genética, los ritmos circadianos, la biotecnología, la producción de enzimas hidrolíticas y la evolución fúngica. Finalmente, abordaremos dos cuestiones centrales: ¿Qué características consolidaron a *Neurospora* como referente científico? y ¿Hacia qué temáticas se está orientando la investigación con *Neurospora* para enfrentar desafíos actuales?



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

2. *Neurospora crassa*: El hongo que revolucionó la genética

El interés científico por *Neurospora* comenzó a principios del siglo XX, y desde entonces, este hongo ha dejado una huella importante en la genética y la biología molecular. Aunque fue reportado por primera vez en 1843 como un simple contaminante en las panaderías de París, no fue hasta la década de 1920 que *N. crassa* se consolidó como un organismo modelo clave para la investigación científica (Kollath-Leiß et al., 2024; Galagan et al., 2003).

Más allá de su uso en la cocina tradicional de Java, *Neurospora* captó la atención de investigadores entre las décadas de 1930 y 1950. Durante este periodo, científicos como Barratt y Garnjobst (1949), Beadle et al. (1947), Bonner (1946), Colson (1934), Dodge (1939), Emerson (1950), Goddard (1935), Horowitz (1950), Houlahan et al. (1949), Lindegren (1936) y Tatum y Bell (1946) realizaron contribuciones fundamentales en áreas como la genética, la bioquímica, el metabolismo, la microbiología y la fisiología fúngica (Fig. 1).

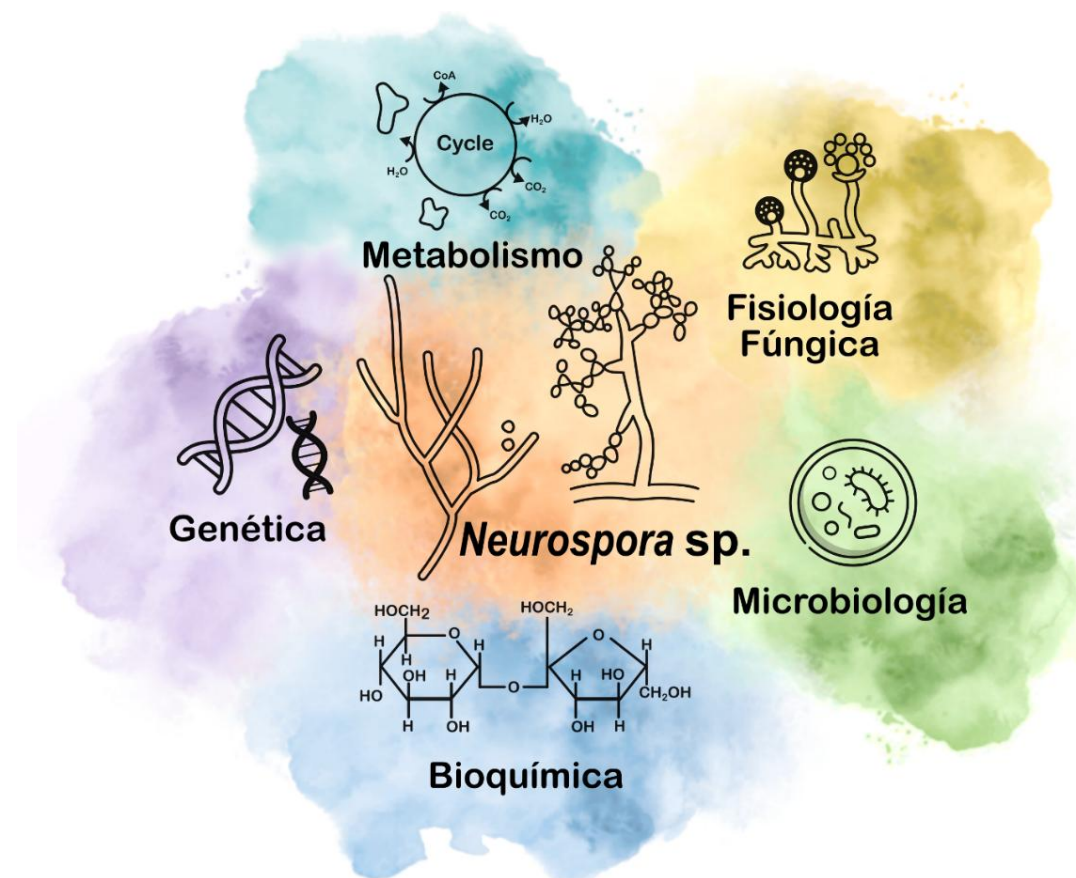


Figura 1. Representación esquemática de los aportes de *Neurospora* a múltiples disciplinas científicas.

Uno de los hitos más importantes en la biología molecular ocurrió en 1940, cuando el Biólogo Edward L. Tatum y el genetista George W. Beadle demostraron la relación directa entre los genes y

las proteínas. Sus investigaciones revelaron que los genes controlan, en última instancia, todos los procesos bioquímicos de los seres vivos; que cada uno de estos procesos resulta de una secuencia



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

de reacciones químicas interconectadas; y que una única mutación genética puede alterar por completo un proceso al afectar un solo paso químico. Estos hallazgos dieron origen a la famosa hipótesis de "un gen, una proteína", que sentó las bases para comprender cómo los genes regulan los procesos bioquímicos en los organismos vivos (Strauss, 2016; Galagan *et al.*, 2003). La trascendencia de este descubrimiento fue tal que, en 1958, Beadle y Tatum recibieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina, siendo este avance considerado, en muchos casos, el primer gran hallazgo de la biología molecular.

Además de estos avances, otros estudios destacados incluyen el de Emerson en 1950, quien comparó el crecimiento y desarrollo de *Neurospora* con organismos unicelulares como bacterias y levaduras. También es notable la revisión de Beadle en (1945), cuyos avances nos permitieron estudiar la herencia de caracteres como el color de las flores, hasta comprender cómo los genes influyen en las vías metabólicas y los procesos químicos de los seres vivos. Este enfoque no solo permitió avances en la genética, sino que también sentó las bases para entender enfermedades humanas relacionadas a defectos metabólicos.

3. El secreto detrás de los ciclos Circadianos: Lo que aprendimos de *Neurospora*

Además de sus contribuciones a la genética y la bioquímica, *Neurospora* y la especie *N. crassa* han sido actores clave en el estudio de los ciclos circadianos, esos ritmos biológicos que regulan los procesos fisiológicos en un ciclo de aproximadamente 24 horas. Desde 1966 hasta 2010, una serie de investigaciones pioneras han utilizado a *Neurospora* como organismo modelo para desentrañar los mecanismos moleculares detrás de estos relojes internos.

Entre los trabajos más influyentes destacan los de Lee *et al.* (2000), Liu *et al.* (1997), Cheng *et al.* (2001), Loros *et al.* (1989), Feldman y Hoyle (1973), Bell-Pedersen *et al.* (1992), Mellow *et al.* (1999), Schafmeier *et al.* (2005), En particular, el

estudio de Lee *et al.* en 2000, titulado "Interconnected feedback loops in the *Neurospora* circadian system", reveló detalles fascinantes sobre cómo funciona el reloj circadiano en *Neurospora*. Este trabajo se centró en la interacción entre el activador transcripcional de WC-1 (proteína que permite la percepción de luz) y la proteína FRQ (Proteína acumulativa en el citoplasma), sugiriendo la existencia de bucles de retroalimentación interconectados, en donde la sobreacumulación de FRQ inhibe la expresión de WC-1. Estos mecanismos son sorprendentemente similares a los encontrados en organismos tan diversos como la mosca de la fruta (*Drosophila*) y algunos mamíferos, lo que indica que los sistemas de cronometraje circadiano están conservados en todos los eucariotas.

Otro estudio clave fue el de Liu *et al.* en 1997, que identificó dos formas de la proteína FRQ esenciales para la regulación de los ritmos circadianos. Además, este trabajo destacó cómo la temperatura influye en la proporción de estas dos formas, demostrando que los ciclos circadianos no solo responden a la luz, sino también a otros factores ambientales.

El conocimiento generado a partir de estos estudios no solo ha ampliado nuestra comprensión de los ritmos circadianos en eucariotas, sino que también tiene aplicaciones prácticas. Como señala Hotta, (2021), entender estos mecanismos puede conducir a una agricultura más sostenible. Por ejemplo, al sincronizar los ritmos circadianos de las plantas con su entorno, es posible diseñar estrategias de gestión más eficientes que maximicen la productividad y reduzcan el uso de recursos. Los ritmos circadianos permiten a los organismos anticipar cambios diarios o estacionales, organizar su metabolismo y responder de manera óptima a señales externas o internas. En resumen, las plantas con un reloj circadiano bien ajustado no solo son más productivas, sino también más eficientes.



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

4. *Neurospora* y su impacto en la biotecnología

Además de su papel fundamental en la genética y la biología molecular, *Neurospora* ha demostrado ser un recurso invaluable en el campo de la biotecnología. Varios investigadores, como Coradetti *et al.* (2013), Dogaris *et al.* (2009), Mishra *et al.* (1984), Romero *et al.* (1999), Schmoll *et al.* (2012), Yazdi *et al.* (1990), entre otros, han centrado sus estudios en la producción y optimización de enzimas como celulasas, xilanasas y amilasas, utilizando *N. crassa* y *N. intermedia* como organismos modelo.

Uno de los trabajos más destacados es el de Romero *et al.* en 1999, quienes emplearon *N. crassa* en un sistema de fermentación sumergida utilizando rastrojo de trigo como inductor. Este estudio no solo demostró la capacidad del hongo para producir enzimas celulolíticas (como β -glucosidasa, exoglucanasa y endoglucanasa), sino que también identificó las condiciones óptimas para su producción: un 5% de rastrojo de trigo, un pH inicial de 6 y una temperatura de 30°C. Estos hallazgos son cruciales para aplicaciones industriales, como la producción de biocombustibles a partir de biomasa vegetal.

En el caso de las xilanasas, el trabajo de Mishra *et al.* en 1984 también ha sido un trabajo relevante. Utilizando *N. crassa* y un sistema de fermentación sumergida y xilano comercial como fuente de carbono, los investigadores lograron cuantificar la actividad enzimática de endo-xilanasas y β -xilanosidasa después de cuatro días de fermentación. Además, determinaron propiedades clave de estas enzimas, como su punto isoelectrico (4.8 y 4.5, respectivamente) y sus pesos moleculares (33,000 y 30,000 Da). Estos datos son esenciales para optimizar su uso en procesos industriales, como la producción de papel y alimentos.

En investigaciones más recientes, Verma y Kumar (2020) exploraron la producción de celulasas mediante fermentación en estado sólido, utilizando diversos polisacáridos de plantas, como bagazo hervido, paja de trigo e incluso papel de

periódico reciclado. Mediante un diseño experimental Box-Behnken, optimizaron factores como la temperatura, el pH, el tamaño de partícula y el tiempo de incubación, demostrando el potencial de *N. crassa* para convertir desechos agrícolas en productos de valor añadido.

En la misma línea, Shahryari *et al.* (2019) investigaron la producción de amilasas y celulasas utilizando *N. intermedia* en un sistema de fermentación sumergida. Los autores emplearon tanto un medio sintético como uno suplementado con vinaza delgada y salvado de trigo, identificando las condiciones óptimas de temperatura (65°C) y pH (5) para maximizar la actividad xilanasas (5.48 U/mL y 2.58 U/mL). Estos resultados subrayan la versatilidad de *Neurospora* en la producción de enzimas industriales.

El uso de especies de *Neurospora* para la producción de enzimas hidrolíticas como celulasas, xilanasas y amilasas usando sistemas de fermentación ha sido explorado desde la década de 1980. Sin embargo, el interés en este género de hongos no ha disminuido; al contrario, se ha renovado con el uso de enfoques modernos, como la optimización de procesos mediante metodologías de superficie de respuesta y sistemas de fermentación en estado sólido (Fig. 2). Estos avances permiten aprovechar residuos agroindustriales de manera más eficiente, convirtiendo desechos en recursos valiosos.

4.1. *Neurospora* y sus enzimas hidrolíticas para el aprovechamiento de la biomasa lignocelulolítica

Las enzimas hidrolíticas, como las celulasas y xilanasas, juegan un papel crucial en el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica, uno de los recursos más abundantes en la naturaleza. Esta biomasa, que forma la estructura principal de las paredes celulares de las plantas, está compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa. Las enzimas hidrolíticas descomponen estos polisacáridos en azúcares monoméricos, que pueden ser utilizados como



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

fuentes de carbono en diversos procesos biotecnológicos (Chávez-Escalante *et al.*, 2022; Socol *et al.*, 2017).

Una propuesta innovadora en este campo es la de Zhao *et al.* (2024), quienes sugieren un bioproceso consolidado para la conversión completa de biomasa lignocelulósica (mediante acción enzimática celulasa) en productos útiles en un solo sistema. En su estudio los autores

proponen la producción de ácido itacónico, un compuesto no tóxico con múltiples aplicaciones industriales. Este ácido dicarboxílico de 5 carbonos puede servir como alternativa sostenible al petróleo, utilizándose en la síntesis de lubricantes, adhesivos, aditivos para detergentes, agentes antioxidantes y aceleradores de gelificación.

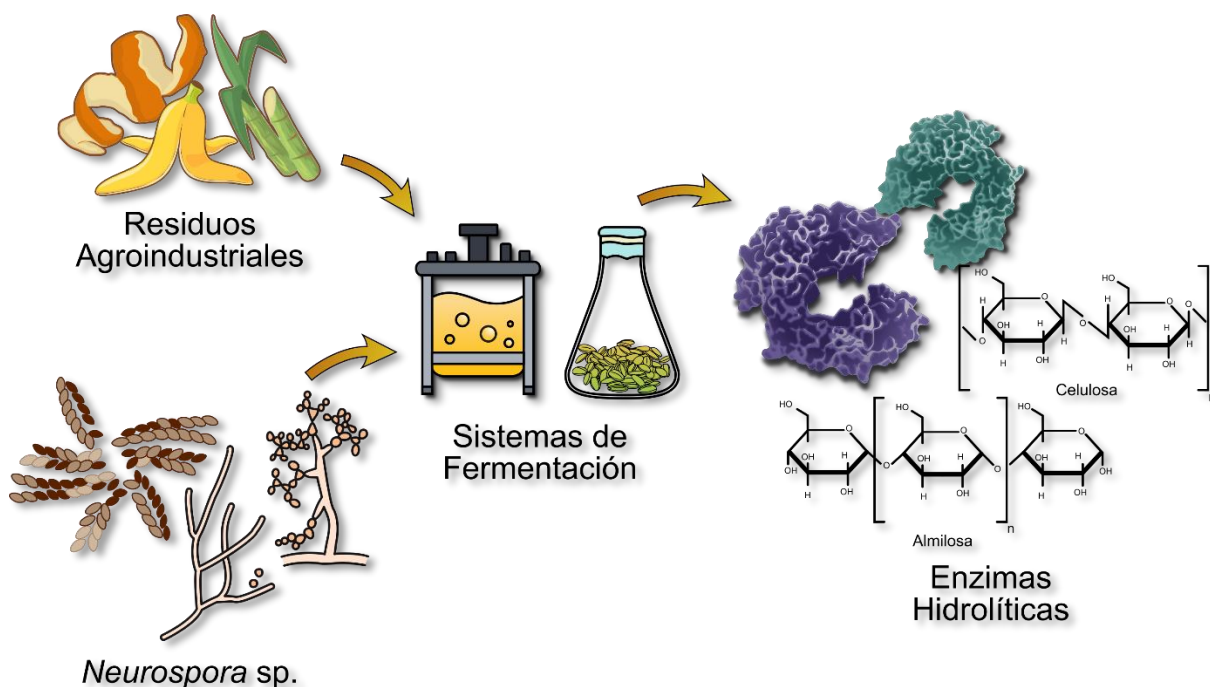


Figura 2. Producción de enzimas hidrolíticas con *Neurospora* sp. y residuos agroindustriales.

Otra alternativa prometedora es la propuesta por Alhomodi *et al.* en 2022, quienes exploraron el uso de especies fúngicas como *Aureobasidium pullulans*, *Neurospora crassa* y *Trichoderma reesei* para incrementar el valor nutricional de la pasta de canola. Estos investigadores demostraron que la fermentación fúngica, mediante acción enzimática de celulasas, reduce los factores antinutricionales presentes en la pasta de canola, mejorando su calidad como posible alimento para humanos y animales. Este enfoque no solo aprovecha los residuos agrícolas, sino que también puede contribuir a la seguridad alimentaria.

5. El papel de *Neurospora* en la comprensión de la evolución fúngica

Neurospora no solo ha sido fundamental en la genética y la biotecnología, sino que también ha desempeñado un papel clave en el estudio de la evolución del reino fungi. Investigaciones como la de Menkis *et al.* (2008) han utilizado a *Neurospora tetrasperma*, un ascomiceto filamentoso, para explorar la evolución del cromosoma de tipo de apareamiento. Mediante el análisis de divergencia génica, genética clásica



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

y filogenética, estos investigadores descubrieron que la falta de recombinación en este cromosoma ocurrió en dos etapas evolutivas distintas. Este hallazgo es particularmente relevante porque sugiere que los cromosomas de los hongos pueden evolucionar de manera similar a los cromosomas sexuales en animales y plantas, a pesar de que los hongos no tienen sexos separados.

Otro estudio destacado es el de Dettman y Taylor (2004), quienes analizaron 147 individuos de 8 especies diferentes de *Neurospora*, centrándose en la mutación y evolución de loci microsatélites. Los microsatélites son secuencias cortas de ADN que se repiten y son útiles para estudiar la diversidad genética. Este trabajo proporcionó información detallada sobre la variación genética entre especies de *Neurospora*, ayudando a los científicos a comprender cómo estos hongos han evolucionado y se han adaptado a lo largo del tiempo.

Además, el estudio de Dettman y Taylor reveló patrones interesantes sobre las mutaciones en regiones microsatélites y sus alrededores. Estas mutaciones no solo afectan la diversidad genética, sino que también pueden influir en cómo se interpretan las relaciones evolutivas entre especies. Este tipo de investigación ha sido crucial para entender los mecanismos que impulsan la evolución en los hongos y cómo estos procesos se comparan con los de otros organismos.

6. *Neurospora* en el laboratorio: Un aliado sencillo pero poderoso

Como hemos mencionado, *Neurospora* ha sido un organismo modelo en la investigación por diversas razones, entre ellas su fácil manejo, rápido desarrollo y ciclo de vida corto. Históricamente, fue elegido para estudios de laboratorio debido a sus múltiples ventajas. Un ejemplo clave es B. O. Dodge, quien describió la fase sexual de *Neurospora tetrasperma* en 1927 y fue pionero en la caracterización de su ciclo de

vida. Dodge al visualizar el potencial del microorganismo para el estudio de la genética, intentó convencer a T. H. Morgan y su equipo, centrados en el estudio de *Drosophila*, para que lo adoptaran como modelo experimental. Sin embargo, no fue hasta que el entonces estudiante de posgrado Carl Lindegren comenzó a explorar su potencial, que *Neurospora* empezó a ganar reconocimiento en este ámbito (Beadle, 1945; Perkins *et al.*, 2000).

Una década después, los conocimientos aportados por Dodge y Lindegren permitieron que Beadle y Tatum adoptaran *Neurospora* en su búsqueda de mutantes genéticos. Los resultados de sus estudios otorgaron un amplio reconocimiento a este hongo, consolidándolo como el equivalente fúngico de *Drosophila* en la investigación genética.

Además, *Neurospora* no solo es diferente de la levadura *Saccharomyces*, un organismo modelo clásico para el estudio de organismos eucariotas, sino que también es un organismo más complejo en términos de estructura fúngica y ciclo de vida. De hecho, más de la mitad de los genes expresados identificados en *Neurospora* no tienen una contraparte en el genoma de *Saccharomyces*. Aunque *Escherichia coli* y *Saccharomyces* han sido los principales organismos modelo para el estudio de la genética y la biología molecular, *Neurospora* ha sido el modelo de referencia para la investigación de hongos filamentosos y la opción preferida para abordar problemas que no pueden estudiarse con bacterias o levaduras (Perkins *et al.*, 2000).

Hablando en específico de una especie, *N. crassa* es un organismo modelo excepcional para la investigación científica debido a su rápido crecimiento y facilidad de cultivo en condiciones simples. Este hongo, de naturaleza eucariota, ha permitido valiosas comparaciones entre organismos procariotas y eucariotas, lo que ha sido fundamental en estudios de biología molecular. Además, cuenta con necesidades nutricionales mínimas, ya que puede utilizar diversas fuentes de carbono y nitrógeno, lo que



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

facilita su manejo en el laboratorio (Fig. 3). Adicionalmente, su estructura multicelular y genética accesible a manipulaciones han permitido investigaciones sobre desarrollo celular y genética de mutaciones, haciendo de *N. crassa* una herramienta importante en la investigación genética y microbiológica (Davis y de Serres, 1970).

7. El futuro de la investigación con *Neurospora*

La investigación en torno a *Neurospora* está lejos de concluir. En los últimos años, diversos estudios han explorado nuevas aplicaciones de *Neurospora crassa* en distintos campos. Por ejemplo, Zheng *et al.* (2020) analizaron la producción de enzimas proteasas alcalinas en un sistema de fermentación en estado sólido a partir de nuevos aislados de *N. crassa*. Por otro lado, Honda *et al.* en 2020, propusieron el uso de *N. crassa* como organismo modelo para el estudio

de la virología fúngica, destacando su capacidad para permitir la replicación de múltiples virus identificados en hongos del género *Neurospora*.

La investigación genética con *Neurospora* también continúa. Svedberg *et al.* en (2021) estudiaron los mecanismos de impulso meiótico presentes en *N. sitophila*, en particular cómo ciertos genes pueden sesgar la herencia de los alelos durante la meiosis, dando lugar a una transmisión desigual del material genético. Otro enfoque reciente es el de Yu *et al.* (2020), quienes exploraron el uso de *N. crassa* para mejorar el valor nutricional del residuo de soya. Sus hallazgos demostraron que la fermentación del residuo con *Neurospora* incrementó la abundancia de oligosacáridos y polisacáridos, así como la presencia de microflora benéfica como Prevotellaceae y Lactobacillales.

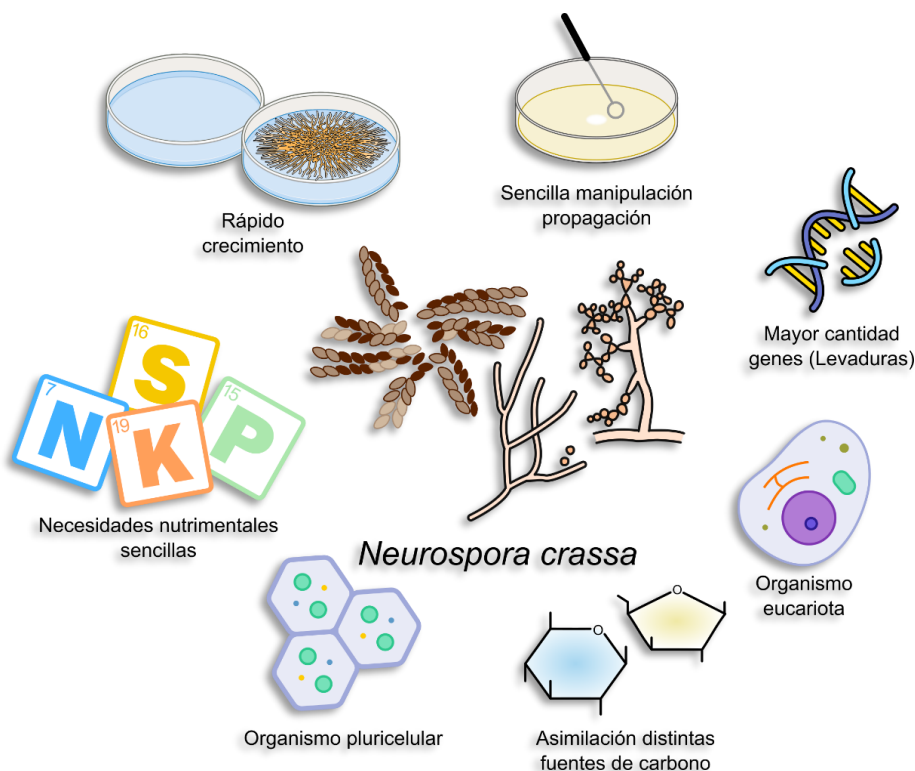


Figura 3. Ventajas del uso de *Neurospora crassa* en el laboratorio.



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

En el ámbito de la alimentación, Bartholomai *et al.* (2022) evaluaron el potencial nutricional y la seguridad del consumo de micoproteína (micelio entero) de *N. crassa* mediante pruebas de toxigenicidad genómica e *in vitro*. No se detectaron toxinas en la micoproteína de *N. crassa*, y su análisis nutricional reveló que es una fuente de proteína completa, además de ser rica en fibra, potasio y hierro. Dado su historial de consumo sin efectos adversos en humanos y animales, los autores concluyeron que los alimentos elaborados con *N. crassa* pueden considerarse generalmente seguros.

Como podemos ver, la investigación usando *Neurospora* sigue siendo relevante incluso después de décadas de estudio en genética. Sus aplicaciones abarcan múltiples áreas, muchas de ellas con impacto en la sostenibilidad. Por ejemplo, se ha investigado su uso en la producción de enzimas hidrolíticas para el aprovechamiento de azúcares de la biomasa lignocelulósica. También se ha propuesto su empleo en la mejora del valor nutricional de residuos destinados a la alimentación animal e incluso en la producción de alternativas a la carne, gracias a su perfil proteico completo y a la ausencia de toxinas perjudiciales.

Todo esto nos invita a reflexionar sobre el potencial de *Neurospora* como una herramienta biotecnológica clave para el aprovechamiento de recursos renovables y el desarrollo sostenible.

8. Conclusiones

Sin lugar a duda, *Neurospora* ha sido un género de hongos fundamental en la historia de la ciencia, contribuyendo significativamente al avance del conocimiento en genética, ritmos circadianos, producción de enzimas, metabolismo, evolución, reproducción y muchas otras áreas. Es fascinante pensar que un microorganismo que alguna vez fue considerado un problema en las panaderías se haya convertido en un pilar en la investigación de hongos filamentosos.

Lejos de perder relevancia, la investigación en torno a *Neurospora* y en particular *N. crassa*, sigue evolucionando, con aplicaciones prometedoras en diversos campos. Su potencial como herramienta biotecnológica para el desarrollo del conocimiento y la valorización de recursos con un enfoque sostenible, lo posiciona como un organismo relevante en el futuro de la investigación científica.

Agradecimientos

Serafín Pérez Contreras agradece a la secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca 62331007 otorgada para continuar con los estudios de doctorado.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés

Aprobación de ética: no aplica

Disponibilidad de los datos: Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación

Contribución de los autores: Conceptualización, R.H.-M. y M.A.L.-J.; metodología, S.P.-C.; software, S.P.-C.; validación, D.A.A.D. y O.B.-B.; análisis formal, R.H.-M.; investigación, S.P.-C.; recursos, R.H.-M.; curación de datos, D.A.A.-D.; redacción del borrador original, S.P.-C. y R.H.-M.; redacción, revisión y edición, R.H.-M.; visualización, J.A.H.-C. y M.A.L.-J.; supervisión, R.H.-M.; administración del proyecto, R.H.-M. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Referencias

1. Alhomodi, A. F., Gibbons, W. R., & Karki, B. (2022). Estimation of cellulase production by *Aureobasidium pullulans*, *Neurospora crassa*, and *Trichoderma reesei* during solid and submerged state fermentation of raw



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

- and processed canola meal. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101063. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101063>
2. Barratt, R. W., & Garnjobst, L. (1949). Genetics of a colonial microconidiating mutant strain of *Neurospora crassa*. *Genetics*, 34(4), 351–369. <https://doi.org/10.1093/genetics/34.4.351>
 3. Bartholomai, B. M., Ruwe, K. M., Thurston, J., Jha, P., Scaife, K., Simon, R., Abdelmoteleb, M., Goodman, R. E., & Farhi, M. (2022). Safety evaluation of *Neurospora crassa* mycoprotein for use as a novel meat alternative and enhancer. *Food and Chemical Toxicology*, 168, 113342. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113342>
 4. Beadle, G. W. (1945). Genetics and metabolism in *Neurospora*. *Physiological Reviews*, 25(4), 643–663. <https://doi.org/10.1152/physrev.1945.25.4.643>
 5. Beadle, G. W., Mitchell, H. K., & Nyc, J. F. (1947). Kynurenine as an Intermediate in the Formation of Nicotinic Acid from Tryptophane by *Neurospora*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 33(6), 155–158. <https://doi.org/10.1073/pnas.33.6.155>
 6. Bell-Pedersen, D., Dunlap, J. C., & Loros, J. J. (1992). The *Neurospora* circadian clock-controlled gene, *cgc-2*, is allelic to *eas* and encodes a fungal hydrophobin required for formation of the conidial rodlet layer. *Genes & Development*, 6(12a), 2382–2394. <https://doi.org/10.1101/gad.6.12a.2382>
 7. Bonner, D. (1946). Further studies of mutant strains of *Neurospora* requiring isoleucine and valine. *Journal of Biological Chemistry*, 166(2), 545–554. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(17\)35192-x](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(17)35192-x)
 8. Chávez-Escalante, G., Méndez-González, F., Espinosa-Ramírez, B., & Estrada-Martínez, R. (2022). Biotransformation of the organic fraction of municipal solid wastes to bioethanol. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 9–14. <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.0914>
 9. Cheng, P., Yang, Y., & Liu, Y. (2001). Interlocked feedback loops contribute to the robustness of the *Neurospora* circadian clock. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(13), 7408–7413. <https://doi.org/10.1073/pnas.121170298>
 10. Colson, B. (1934). The Cytology and Morphology of *Neurospora tetrasperma* Dodge. *Annals of Botany*, 48(1), 211–224. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a090436>
 11. Coradetti, S. T., Xiong, Y., & Glass, N. L. (2013). Analysis of a conserved cellulase transcriptional regulator reveals inducer-independent production of cellulolytic enzymes in *Neurospora crassa*. *MicrobiologyOpen*, 2(4), 595–609. <https://doi.org/10.1002/mbo3.94>
 12. Davis, R. H., & De Serres, F. J. (1970). [4] Genetic and microbiological research techniques for *Neurospora crassa*. In *Methods in enzymology on CD-ROM/Methods in enzymology* (pp. 79–143). [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(71\)17168-6](https://doi.org/10.1016/0076-6879(71)17168-6)
 13. Dettman, J. R., & Taylor, J. W. (2004). Mutation and evolution of microsatellite Loci in *Neurospora*. *Genetics*, 168(3), 1231–1248. <https://doi.org/10.1534/genetics.104.029322>
 14. Dodge, B. O. (1939). A new dominant lethal in *Neurospora**. *Journal of Heredity*, 30(11), 466–474.



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

- <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.ijher.ed.a104632>
15. Dogaris, I., Vakontios, G., Kalogeris, E., Mamma, D., & Kekos, D. (2008). Induction of cellulases and hemicellulases from *Neurospora crassa* under solid-state cultivation for bioconversion of sorghum bagasse into ethanol. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.07.008>
 16. Emerson, S. (1950). The growth phase in *Neurospora* corresponding to the logarithmic phase in unicellular organisms. *Journal of Bacteriology*, 60(3), 221–223. <https://doi.org/10.1128/jb.60.3.221-223.1950>
 17. Feldman, J. F., & Hoyle, M. N. (1973). Isolation of circadian clock mutants of *Neurospora crassa*. *Genetics*, 75(4), 605–613. <https://doi.org/10.1093/genetics/75.4.605>
 18. Galagan, J. E., Calvo, S. E., Borkovich, K. A., Selker, E. U., Read, N. D., Jaffe, D., FitzHugh, W., Ma, L., Smirnov, S., Purcell, S., Rehman, B., Elkins, T., Engels, R., Wang, S., Nielsen, C. B., Butler, J., Endrizzi, M., Qui, D., Ianakiev, P., . . . Birren, B. (2003). The genome sequence of the filamentous fungus *Neurospora crassa*. *Nature*, 422(6934), 859–868. <https://doi.org/10.1038/nature01554>
 19. Goddard, D. R. (1935). The reversible heat activation inducing germination and increased respiration in the ascospores of *Neurospora tetrasperma*. *The Journal of General Physiology*, 19(1), 45–60. <https://doi.org/10.1085/jgp.19.1.45>
 20. Honda, S., Eusebio-Cope, A., Miyashita, S., Yokoyama, A., Aulia, A., Shahi, S., Kondo, H., & Suzuki, N. (2020). Establishment of *Neurospora crassa* as a model organism for fungal virology. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19355-y>
 21. Horowitz, N. (1950). Biochemical genetics of *Neurospora*. *Advances in Genetics*, 33–71. [https://doi.org/10.1016/s0065-2660\(08\)60082-6](https://doi.org/10.1016/s0065-2660(08)60082-6)
 22. Hotta, C. T. (2021). From crops to shops: how agriculture can use circadian clocks. *Journal of Experimental Botany*, 72(22), 7668–7679. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab371>
 23. Houlahan, M. B., Beadle, G. W., & Calhoun, H. G. (1949). Linkage studies with biochemical mutants of *Neurospora crassa*. *Genetics*, 34(5), 493–507. <https://doi.org/10.1093/genetics/34.5.493>
 24. Kollath-LeiB, K., Repnik, U., Winter, H., Winkelmann, H., Freund, A. S., & Kempken, F. (2024). The First Observation of the Filamentous Fungus *Neurospora crassa* Growing in the Roots of the Grass *Brachypodium distachyon*. *Journal of Fungi*, 10(7), 487. <https://doi.org/10.3390/jof10070487>
 25. Lee, K., Loros, J. J., & Dunlap, J. C. (2000). Interconnected feedback loops in the *Neurospora* circadian system. *Science*, 289(5476), 107–110. <https://doi.org/10.1126/science.289.5476.107>
 26. Lindegren, C. C. (1936). A six-point map of the sex-chromosome of *Neurospora crassa*. *Journal of Genetics*, 32(2), 243–256. <https://doi.org/10.1007/bf02982680>
 27. Liu, Y., Garceau, N. Y., Loros, J. J., & Dunlap, J. C. (1997). Thermally regulated translational control of FRQ mediates aspects of temperature responses in the *Neurospora* circadian clock. *Cell*, 89(3), 477–486. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)80228-7](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)80228-7)



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

28. Loros, J. J., Denome, S. A., & Dunlap, J. C. (1989). Molecular cloning of genes under control of the circadian clock in *Neurospora*. *Science*, 243(4889), 385–388. <https://doi.org/10.1126/science.2563175>
29. Menkis, A., Jacobson, D. J., Gustafsson, T., & Johannesson, H. (2008). The Mating-Type Chromosome in the Filamentous Ascomycete *Neurospora tetrasperma* Represents a Model for Early Evolution of Sex Chromosomes. *PLoS Genetics*, 4(3), e1000030. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000030>
30. Mellow, M., Brunner, M., & Roenneberg, T. (1999). Assignment of circadian function for the *Neurospora* clock gene frequency. *Nature*, 399(6736), 584–586. <https://doi.org/10.1038/21190>
31. Mishra, C., Keskar, S., & Rao, M. (1984). Production and Properties of Extracellular Endoxylanase from *Neurospora crassa*. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(1), 224–228. <https://doi.org/10.1128/aem.48.1.224-228.1984>
32. Perkins, D. D., Radford, A., & Sachs, M. S. (2000). *The Neurospora Compendium: Chromosomal loci*. <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA84287773>
33. Romero, M., Aguado, J., González, L., & Ladero, M. (1999). Cellulase production by *Neurospora crassa* on wheat straw. *Enzyme and Microbial Technology*, 25(3–5), 244–250. [https://doi.org/10.1016/s0141-0229\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/s0141-0229(99)00035-6)
34. Schafmeier, T., Haase, A., Káldi, K., Scholz, J., Fuchs, M., & Brunner, M. (2005). Transcriptional feedback of *Neurospora* circadian clock gene by Phosphorylation-Dependent inactivation of its transcription factor. *Cell*, 122(2), 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.05.032>
35. Schmoll, M., Tian, C., Sun, J., Tisch, D., & Glass, N. L. (2012). Unravelling the molecular basis for light modulated cellulase gene expression - the role of photoreceptors in *Neurospora crassa*. *BMC Genomics*, 13(1), 127. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-127>
36. Shahryari, Z., Fazelipour, M. H., Ghasemi, Y., Lennartsson, P. R., & Taherzadeh, M. J. (2019). Amylase and Xylanase from Edible Fungus *Neurospora intermedia*: Production and Characterization. *Molecules*, 24(4), 721. <https://doi.org/10.3390/molecules24040721>
37. Shear, C. L., y Dodge, B. O. (1927). Life histories and heterothallism of the red bread-mold fungi of the *Monilia sitophila* group (pp. 1019-1042). Washington, DC: US Government Printing Office. <https://eurekamag.com/research/024/949/024949842.php?srltid=AfmBOop43BLfWARb7eyKLBqAEShaPYPx9GqHTmdF9oURQdDHT--Javfh>
38. Soccol, C. R., Da Costa, E. S. F., Letti, L. a. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., & De Souza Vandenberghe, L. P. (2017). Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52–71. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>
39. Strauss, B. S. (2016). Biochemical Genetics and Molecular Biology: the contributions of George Beadle and Edward Tatum. *Genetics*, 203(1), 13–20. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.188995>
40. Svedberg, J., Vogan, A. A., Rhoades, N. A., Sarmarajeewa, D., Jacobson, D. J., Lascoux, M., Hammond, T. M., & Johannesson, H. (2021). An introgressed gene causes meiotic



Artículo de divulgación científica

Pérez-Contreras et al., 2025

drive in *Neurospora sitophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(17).
<https://doi.org/10.1073/pnas.2026605118>

LWT, 122, 108990.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108990>

41. Tatum, E. L., & Bell, T. T. (1946). *Neurospora*. III. Biosynthesis of thiamin. *American Journal of Botany*, 33(1), 15.
<https://doi.org/10.2307/2437486>
42. Verma, N., & Kumar, V. (2020). Impact of process parameters and plant polysaccharide hydrolysates in cellulase production by *Trichoderma reesei* and *Neurospora crassa* under wheat bran based solid state fermentation. *Biotechnology Reports*, 25, e00416.
<https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00416>
43. Yazdi, M. T., Woodward, J. R., & Radford, A. (1990). The cellulase complex of *Neurospora crassa*: activity, stability and release. *Journal of General Microbiology*, 136(7), 1313–1319.
<https://doi.org/10.1099/00221287-136-7-1313>
44. Yu, J., Fu, Y., Deng, Z., Fan, Y., & Li, H. (2020). Effects of soluble dietary fiber from soybean residue fermented by *Neurospora crassa* on the intestinal flora in rats. *Food & Function*, 11(9), 7433–7445.
<https://doi.org/10.1039/d0fo01093f>
45. Zhao, C., Zhao, J., Han, J., Mei, Y., & Fang, H. (2024). Improved consolidated bioprocessing for itaconic acid production by simultaneous optimization of cellulase and metabolic pathway of *Neurospora crassa*. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 17(1).
<https://doi.org/10.1186/s13068-024-02505-5>
46. Zheng, L., Yu, X., Wei, C., Qiu, L., Yu, C., Xing, Q., Fan, Y., & Deng, Z. (2019). Production and characterization of a novel alkaline protease from a newly isolated *Neurospora crassa* through solid-state fermentation.



Artículo de divulgación científica

<https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.1725>

González-Torres et al., 2025

Recibido: 25-01-2025

Revisado: 17-02-2025

Aceptado: 07-03-2025

Publicado: 01-04-2025

Producción de levano microbiano y usos potenciales

Microbial levan production and potential uses

Mariana González-Torres¹, Francisco Hernández-Rosas¹, Josafhat Salinas-Ruiz¹, José Andrés Herrera Corredor¹, Neith A. Pacheco-López² y Ricardo Hernández Martínez^{3,*}

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Federal Km 348, Congregación Manuel León, Municipio Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946.

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Mérida, México, C.P. 97302.

³ SECIHTI-Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Federal Km 348, Congregación Manuel León, Municipio Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946

*Correspondencia: odracerhema@gmail.com

Resumen

Los fructooligosacáridos (FOS) son carbohidratos no digeribles compuestos principalmente por cadenas de fructosa. Entre los FOS más importantes se encuentra el levano. Este biopolímero puede ser sintetizado por algunas plantas y microorganismos como bacterias y levaduras. La producción de levano por vía microbiana y por vía enzimática ha mostrado ser estrategias prometedoras para mejorar la eficiencia y la producción a gran escala. El levano tiene alta demanda en industrias como la alimentaria, la farmacéutica y la cosmética debido a sus propiedades fisicoquímicas que permiten utilizarlo como emulsificante, antioxidante, espesante, estabilizador y como prebiótico.

Palabras clave: Biopolímeros, microorganismos, biotecnología.

Abstract

Fructooligosaccharides (FOS) are non-digestible carbohydrates composed mainly of fructose chains. Among the most important FOS is levan. This biopolymer can be synthesized by some plants and microorganisms such as bacteria and yeasts. The production of levan by microbial and enzymatic means has shown to be a promising strategy to improve efficiency and large-scale production. Levan is in high demand in industries such as food, pharmaceutical, and cosmetics due to its physicochemical properties that allow it to be used as an emulsifier, antioxidant, thickener, stabilizer, and as prebiotic.

Keywords: Biopolymers, microorganisms, biotechnology.



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

1. Introducción

El levano es un fructoligosacárido (FOS) que los microorganismos utilizan como protección de la célula contra la desecación. Asimismo, sirve de apoyo en la adhesión a superficies y como componente de biopelículas que contribuyen a la virulencia y como un reservorio extracelular de nutrientes que puede ser utilizado como fuente de energía por las bacterias en condiciones de inanición (Franken *et al.*, 2013). Por ejemplo, la bacteria *Gluconacetobacter diazotrophicus* produce el levano como una barrera de difusión de oxígeno creando condiciones microaeróbicas para la fijación de nitrógeno (Öner *et al.*, 2016).

Químicamente, levano es un biopolímero conformado por unidades de fructosa con una unidad terminal de glucosa conectadas mediante enlaces glucosídicos β -(2,1) y β -(2,6) en sus ramificaciones (Wang *et al.*, 2022). Es importante conocer algunas características del levano como el grado de polimerización, la estabilidad térmica y el peso molecular, para determinar el posible campo de aplicación (Mehta *et al.*, 2024).

Se ha reportado que el peso molecular del levano microbiano oscila entre 2 y 100 MDa (Wang *et al.*, 2022) y varía dependiendo de su origen, fuente de producción y de las condiciones de reacción (Pei *et al.*, 2020). El levano es considerado de alto peso molecular si es superior a los 500 kDa (Ahmad *et al.*, 2022). Asimismo, se ha reportado que a medida que aumenta el peso molecular del levano se confiere una alta viscosidad a las soluciones acuosas, por lo que dependiendo de la bacteria utilizada y las condiciones de cultivo el grado de polimerización del levano puede variar entre 5000 y 50,000 (Öner *et al.*, 2016).

Un aspecto relevante es que los biopolímeros microbianos son ampliamente aceptados debido a su facilidad de producción, diseño y aplicación en procesos industriales (Nambiar *et al.*, 2023). Este tipo de biopolímeros han atraído la atención debido a que diversos estudios han demostrado propiedades benéficas para la salud humana cuando son ingeridos (Bahroudi *et al.*, 2020). Por

ejemplo, son utilizados como edulcorantes debido a su bajo valor calórico con un nivel de dulzor entre 0.4 y 0.6 veces superior al de la sacarosa, esto los posiciona como una alternativa viable a la sacarosa en una amplia gama de productos alimenticios. Además, se ha reportado que mejoran la absorción de minerales como calcio y magnesio y promueven la reducción de colesterol y triglicéridos en el plasma sanguíneo (Bhadra *et al.*, 2022). La diversidad de usos de este tipo de biopolímeros los hace económicamente relevantes.

Se estima que la industria de los FOS genera un valor de 7.11 mil millones de dólares (Belmonte-Izquierdo *et al.*, 2023), lo que resalta su potencial como una alternativa viable para su aplicación en diversas industrias, como la alimentaria, farmacéutica y cosmética (Figura 1) (de la Rosa *et al.*, 2019).

2. Aplicaciones del levano

2.1. Industria alimentaria

Debido a sus características funcionales y su bajo valor calórico, el levano es considerado como un prebiótico de gran importancia en la industria alimentaria (Chen *et al.*, 2023). El levano actúa como un sustrato que favorece el crecimiento de bacterias benéficas en el tracto digestivo, promoviendo un equilibrio saludable en el microbiota intestinal (Liu *et al.*, 2020). La estabilidad del levano durante la digestión le permite llegar al colon, donde es fermentado por las bacterias intestinales permitiendo la producción de ácidos grasos de cadena corta que son importantes para la salud intestinal (Xu *et al.*, 2023). En un estudio realizado por Xu y colaboradores (2022), se utilizó una levansacarasa recombinante de *Bacillus velezensis* para producir levano. Los resultados obtenidos demostraron un aumento en la capacidad de retención de agua en un yogur fermentado, por lo que concluyeron que podría usarse como aditivo en la industria alimentaria.

2.2. Industria biomédica

El levano ha generado un gran interés en aplicaciones biomédicas debido a sus



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

propiedades biodegradables y biocompatibles. Las investigaciones actuales destacan su uso potencial en formulaciones y sistemas de liberación de fármacos y en tratamientos antimicrobianos, lo que sugiere un futuro prometedor para su aplicación en el área médica. En la industria biomédica, el levano ha sido reportado como antiinflamatorio, antioxidante y vehículo para transportar fármacos (González-Garcinuño *et al.*, 2018). El levano se comercializa como adhesivo a base de agua por Montana Biotech SE Inc., debido a su biocompatibilidad y facilidad de eliminación puede ser utilizado en aplicaciones biomédicas como apósitos para heridas y cintas médicas, (Mummaleti *et al.*, 2024).

2.3. Industria cosmética

El levano tiene la capacidad de retener agua, lo que mejora la hidratación de la piel y forma una

barrera que protege contra la pérdida de humedad, por lo que es considerado un humectante la industria cosmética. Actualmente existe en el mercado productos que contienen levano entre sus formulaciones. Por ejemplo, en el producto para cuidado de la piel Instant lifting eye contour de la marca Bella Aura™ el levano actúa como hidratante de la piel, mejora la regeneración y estimula la producción de colágeno, que promete como resultado una piel más firme y resistente. Asimismo, el suero iluminador con vitamina C al 20% y ácido hialurónico de la marca Goop Beauty, incluye al levano entre sus ingredientes, es un producto que se enfoca en mejorar el aspecto de la piel proporcionando firmeza e hidratación y busca dejar la piel con un aspecto radiante, luminoso y saludable.

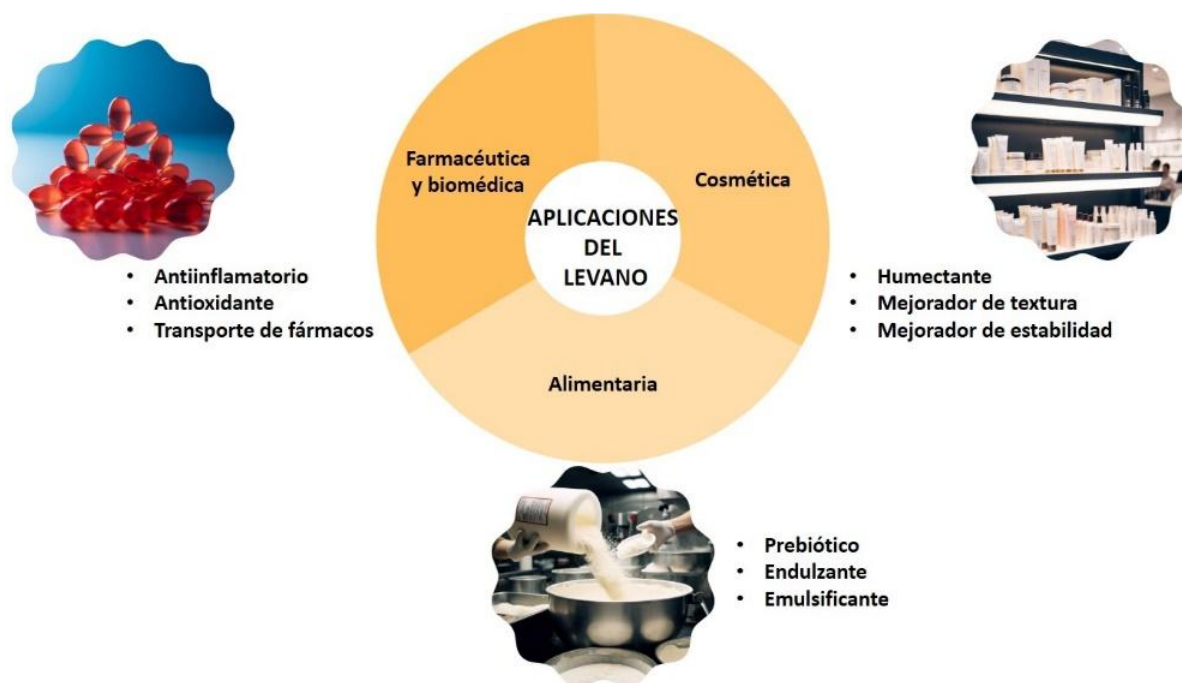


Figura 1. Aplicaciones del levano.



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

3. ¿Cómo se produce el levano microbiano?

El levano es producido por diversos microorganismos como bacterias gram positivas *Bacillus subtilis* y *Microbacterium laevaniformans* (Bae et al., 2008; Chidambaram et al., 2019), gram negativas *Zymomonas mobilis*, *Rahnella aquatilis* y *Pseudomona fluorescens* (de Siqueira et al., 2023; Korany et al., 2021) y levaduras como *Suhamyces kilbournensis* y *Pichia pastoris* (González-Torres et al., 2024; Ávila-Fernández et al., 2023).

Es importante resaltar que, los métodos y condiciones de producción pueden influir significativamente en las características del levano. El levano se puede producir utilizando células microbianas intactas por fermentación o sintetizarlo con enzimas nativas o recombinantes (Vega-Vidaurre et al., 2022; Ko et al., 2019). En el caso de la producción por vía microbiana existen diversos factores que influyen en el proceso de producción del levano como el tamaño del inóculo, el tiempo de fermentación, el pH inicial, temperatura y la fuente de carbono y nitrógeno (Srikanth et al., 2015). Otro factor importante que puede impactar sobre el rendimiento de levano es la composición química de los medios de fermentación como las fuentes de fosfatos, la tasa de agitación y el contenido de oxígeno (Korany et al., 2021).

Existen diferentes procesos para la producción de levano, como fermentación sumergida (FS), por lotes y por lotes alimentados (Mummaleti et al., 2024). De manera general, en la fermentación sumergida (FS) por lotes el protagonista es el microorganismo que se va a encargar de convertir las fuentes de carbono en otros bioproductos como los FOS (Esmeralda-Guzmán et al., 2024). En palabras simples, la FS por lotes se podría comparar con la elaboración del pan, donde mezclas la masa con una levadura y la dejas fermentar. En ese tiempo, la levadura usa el azúcar de la masa para liberar dióxido de carbono, haciendo que el pan se esponje. Esto es similar a una fermentación por lotes porque no le

agregas más azúcar o levadura a la masa preparada (Gujarathi et al., 2023).

Por otra parte, la FS por lotes alimentados puede compararse con una pecera. Imagina que tienes un pez y le pones todo un bote de comida de golpe, el pez podría enfermarse, desperdiciarla o morir. En cambio, si le das porciones pequeñas a lo largo del día el pez estará más saludable y aprovechará mejor la comida. En la FS por lotes alimentados se hace lo mismo, pero con microorganismos (Mahmoodi y Nassireslami, 2021). Ambos métodos son simples y tienen la ventaja de que las variables del proceso de producción pueden ser optimizadas para obtener rendimientos más altos.

Entre las ventajas que ofrecen estos sistemas se encuentra la capacidad para mejorar el rendimiento del producto, optimizar las condiciones de fermentación como la temperatura, pH, fuentes de carbono y nitrógeno y la valorización de sustratos como coproductos agroindustriales, entre ellos el bagazo, aguamiel, cáscaras de frutas, salvado de trigo y la melaza (Ramesh et al., 2022). Entre las desventajas se encuentran los costos producción altos, alto requerimiento energético y gran espacio requerido dependiendo del tamaño del biorreactor utilizado (López-Gómez y Venus, 2021).

Durante la fermentación los microorganismos expresan una enzima extracelular llamada levansacarasa (LS), la cual es responsable de la síntesis del levano a partir de sacarosa. En algunos casos el levano puede producirse solo con el uso de la enzima (Phengnoi et al., 2022). En términos simples, la enzima levansacarasa (LS), es una proteína que podría compararse con un pelador de fruta. Imagina que quieres cocinar un pay de manzana y necesitas las manzanas sin piel. Entonces tienes el pelador de fruta (levansacarasa), este utensilio se ajusta a la forma de la fruta (sustrato) y quita la piel de forma eficiente dejando solo la parte de la manzana que necesitas para elaborar el pay (Ávila-Fernández et al., 2023).



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

Para conocer un poco más, como se muestra en la Figura 2, la LS se sintetiza en el citoplasma y se acumula en el espacio periplásmico tomando su estructura final antes de ser secretada al medio externo (González-Garcinuño *et al.*, 2018). Sin embargo, la producción por vía enzimática a gran escala se ha visto limitada debido a problemas en los procesos de purificación y producción en masa (Öner *et al.*, 2016). Otro reto es el secado del producto, ya que los métodos utilizados en laboratorio, como el secado al vacío o la

liofilización no son fácilmente adaptables para escalas mayores (Zhang *et al.*, 2021). Es importante resaltar que la aplicación del levano no solo está influenciada por la estrategia de producción (microbiana o enzimática), sino que por el ajuste de las variables del sistema de producción como el pH, temperatura y nutrientes de los cuales dependerá la síntesis y características propiedades fisicoquímicas y biológicas del levano.

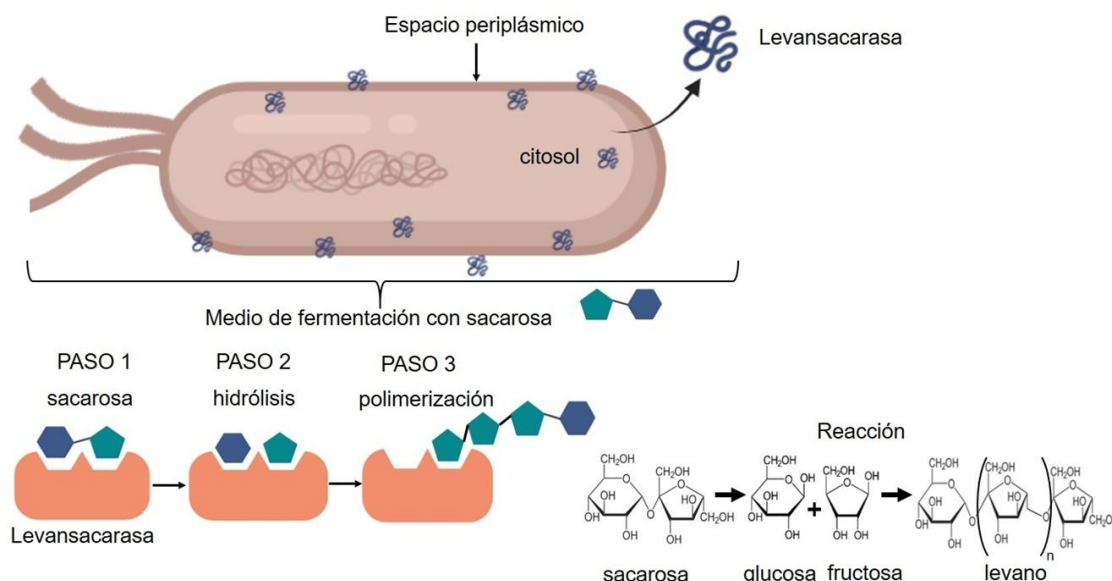


Figura 2. Mecanismo de acción de levansacarasa.

4. Conclusión

El levano es un fructooligosacárido que presenta un gran potencial para futuras investigaciones y aplicaciones industriales emergentes. El levano se perfila como una opción atractiva debido a sus características antioxidantes, estabilizantes, humectantes, prebióticas, entre otras, lo cual puede permitir su aplicación en campos de la industria biomédica, alimentaria, farmacéutica y cosmética. Por lo que es necesario el desarrollo

de un proceso sostenible para su producción a gran escala, no obstante, es fundamental superar desafíos técnicos, económicos y de investigación científica en la síntesis, producción y purificación.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo.



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: No aplica.

Disponibilidad de los datos: Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación.

Contribución de los autores: Contribuciones de los autores: Conceptualización, R.H.-M. y N.A.P.-L.; curación de datos, J.S.-R.; análisis formal, R.H.-M.; investigación, M.G.-T.; metodología, M.G.-T.; administración del proyecto, F.H.-R.; recursos, R.H.-M.; software, N.A.P.-L.; supervisión, R.H.-M.; validación, J.S.-R. y J.A.H.-C.; visualización, J.A.H.-C. y F.H.-R.; redacción: preparación del borrador original, M.G.-T. y R.H.-M.; redacción: revisión y edición, R.H.-M.; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Referencias

1. Ávila-Fernández, Á., Montiel, S., Rodríguez-Alegría, M. E., Caspeta, L., & López Munguía, A. (2023). Simultaneous enzyme production, Levan-type FOS synthesis and sugar by-products elimination using a recombinant *Pichia pastoris* strain expressing a levansucrase-endolevanase fusion enzyme. *Microbial Cell Factories*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12934-022-02009-7>
2. Ahmad, W., Nasir, A., Sattar, F., Ashfaq, I., Chen, M. H., Hayat, A., Rehman, M. ur, Zhao, S., Khaliq, S., Ghauri, M. A., & Anwar, M. A. (2022). Production of bimodal molecular weight levan by a *Lactobacillus reuteri* isolate from fish gut. *Folia Microbiologica*, 67(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s12223-021-00913-w>
3. Bae, I. Y., Oh, I. K., Lee, S., Yoo, S. H., & Lee, H. G. (2008). Rheological characterization of levan polysaccharides from *Microbacterium laevaniformans*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 42(1), 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2007.08.006>
4. Bahroudi, S., Shabanpour, B., Combie, J., Shabani, A., & Salimi, M. (2020). Levan exerts health benefit effect through alteration in bifidobacteria population. *Iranian Biomedical Journal*, 24(1), 54–59. <https://doi.org/10.29252/ibj.24.1.54>
5. Bhadra, S., Chettri, D., & Verma, A. K. (2022). Microbes in fructooligosaccharides production. *Bioresource Technology Reports*, 20, 101159. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101159>
6. Belmonte-Izquierdo, Y., Salomé-Abarca, L. F., González-Hernández, J. C., & López, M. G. (2023). Fructooligosaccharides (FOS) Production by Microorganisms with Fructosyltransferase Activity. *Fermentation*, 9(11), 1–30. <https://doi.org/10.3390/fermentation9110968>
7. Chen, W., Tan, D., Yang, Z., Tang, J., Bai, W., & Tian, L. (2023). Fermentation patterns of prebiotics fructooligosaccharides-SCFA esters inoculated with fecal microbiota from ulcerative colitis patients. *Food and Chemical Toxicology*, 180(August), 114009. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.114009>
8. Chidambaram, J. S. C. A., Veerapandian, B., Sarwareddy, K. K., Mani, K. P., Shanmugam, S. R., & Venkatachalam, P. (2019). Studies on solvent precipitation of levan synthesized using *Bacillus subtilis* MTCC 441. *Heliyon*, 5(9), e02414. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02414>
9. de la Rosa, O., Flores-Gallegos, A. C., Muñiz-Marquez, D., Nobre, C., Contreras-Esquivel, J. C., & Aguilar, C. N. (2019). Fructooligosaccharides production from agro-wastes as alternative low-cost source.



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

- Trends in Food Science & Technology, 91, 139-146.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.013>
10. de Siqueira, E.C.; Öner, E.T. Co-production of levan with other high-value bioproducts: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 2023, 235, 123800.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123800>
 11. Esmeralda-Guzmán, M., Juan, J. B. F., Aguilar, C. N., Juan, A. A. V., & Sepúlveda, L. (2024). Parameters That Influence the Fermentation Submerged Process: Bioprocess Development in Biotechnology. *Bioresources and Bioprocess in Biotechnology for a Sustainable Future*, 179-200.
 12. Franken, J., Brandt, B. A., Tai, S. L., & Bauer, F. F. (2013). Biosynthesis of levan, a bacterial extracellular polysaccharide, in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *PLoS one*, 8(10), e77499.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077499>
 13. González-Garcinuño, Á., Tabernero, A., Domínguez, Á., Galán, M. A., & Martín del Valle, E. M. (2018). Levan and levansucrases: Polymer, enzyme, micro-organisms and biomedical applications. *Biocatalysis and Biotransformation*, 36(3), 233–244.
<https://doi.org/10.1080/10242422.2017.1314467>
 14. González-Torres, M., Hernández-Rosas, F., Pacheco, N., Salinas-Ruiz, J., Herrera-Corredor, J. A., & Hernández-Martínez, R. (2024). Levan Production by *Suhomyces kilbournensis* Using Sugarcane Molasses as a Carbon Source in Submerged Fermentation. *Molecules*, 29(5), 1–12.
<https://doi.org/10.3390/molecules29051105>
 15. Gujarathi, A. M., Patel, S. P., & Siyabi, B. Al. (2023). Insight into evolutionary optimization approach of batch and fed-batch fermenters for lactic acid production. *Digital Chemical Engineering*, 8(February), 100105.
<https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100105>
 16. Ko, H., Bae, J. H., Sung, B. H., Kim, M. J., Kim, C. H., Oh, B. R., & Sohn, J. H. (2019). Efficient production of levan using a recombinant yeast *Saccharomyces cerevisiae* hypersecreting a bacterial levansucrase. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 46(11), 1611–1620.
<https://doi.org/10.1007/s10295-019-02206-1>
 17. Korany, S. M., El-Hendawy, H. H., Sonbol, H., & Hamada, M. A. (2021). Partial characterization of levan polymer from *Pseudomonas fluorescens* with significant cytotoxic and antioxidant activity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(11), 6679–6689.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.008>
 18. Liu, C., Kolida, S., Charalampopoulos, D., & Rastall, R. A. (2020). An evaluation of the prebiotic potential of microbial levans from *Erwinia* sp. 10119. *Journal of Functional Foods*, 64(August 2019).
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103668>
 19. López-Gómez, J. P., & Venus, J. (2021). Potential role of sequential solid-state and submerged-liquid fermentations in a circular bioeconomy. *Fermentation*, 7(2).
<https://doi.org/10.3390/fermentation7020076>
 20. Mahmoodi, M., & Nassireslami, E. (2022). Control algorithms and strategies of feeding for fed-batch fermentation of *Escherichia coli*: a review of 40 years of experience. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 52(7), 823-834.



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

21. Mehta, K., Shukla, A., & Saraf, M. (2024). Production Kinetics and Structural Characterization of Levan Derived from *Bacillus megaterium* KM3 Using Pretreated Cane Molasses. *Journal of Polymers and the Environment*, 32(4), 1602–1618. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-03054-y>
22. Mummaleti, G., Sarma, C., Yarrakula, S., Urla, R., & Gazula, H. (2024). Production, properties and applications of levan polysaccharide. *Food and Humanity*, 3(July), 100369. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100369>
23. Nambiar, K., P. S. K., Devaraj, D., & Sevanan, M. (2024). Development of biopolymers from microbes and their environmental applications. *Physical Sciences Reviews*, 9(4), 1903-1929.
24. Öner, E. T., Hernández, L., & Combie, J. (2016). Review of Levan polysaccharide: From a century of past experiences to future prospects. *Biotechnology Advances*, 34(5), 827–844. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.05.002>
25. Pei, F., Ma, Y., Chen, X., & Liu, H. (2020). Purification and structural characterization and antioxidant activity of levan from *Bacillus megaterium* PFY-147. *International Journal of Biological Macromolecules*, 161, 1181–1188. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.140>
26. Phengnoi, P., Thakham, N., Rachphirom, T., Teerakulkittipong, N., Lirio, G. A., & Jangiam, W. (2022). Characterization of levansucrase produced by novel *Bacillus siamensis* and optimization of culture condition for levan biosynthesis. *Heliyon*, 8(12), e12137. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12137>
27. Ramesh, C., Prasastha, V. R., Venkatachalam, M., & Dufossé, L. (2022). Natural Substrates and Culture Conditions to Produce Pigments from Potential Microbes in Submerged Fermentation. *Fermentation*, 8(9), 1–23. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090460>
28. Srikanth, R., Siddartha, G., Sundhar Reddy, C. H. S. S., Harish, B. S., Janaki Ramaiah, M., & Uppuluri, K. B. (2015). Antioxidant and anti-inflammatory levan produced from *Acetobacter xylinum* NCIM2526 and its statistical optimization. *Carbohydrate Polymers*, 123, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.079>
29. Vega-Vidaurre, J.A.; Hernández-Rosas, F.; Ríos-Corripio, M.A.; Loeza-Corte, J.M.; Rojas-López, M.; Hernández-Martínez, R. Coproduction of polyhydroxyalkanoates and exopolysaccharide by submerged fermentation using autochthonous bacterial strains. *Chem. Pap.* 2022, 76, 2419–2429. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-02046-3>
30. Wang, J., Xu, X., Zhao, F., Yin, N., Zhou, Z., & Han, Y. (2022). Biosynthesis and Structural Characterization of Levan by a Recombinant Levansucrase from *Bacillus subtilis* ZW019. *Waste and Biomass Valorization*, 13(11), 4599–4609. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01814-w>
31. Xu, M., Pan, L., Zhou, Z., & Han, Y. (2022). Structural characterization of levan synthesized by a recombinant levansucrase and its application as yogurt stabilizers. *Carbohydrate Polymers*, 291(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119519>



Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

32. Xu, M., Pan, L., Wang, B., Zou, X., Zhang, A., Zhou, Z., & Han, Y. (2023). Simulated digestion and fecal fermentation behaviors of levan and its impacts on the gut microbiota. *Journal of agricultural and food chemistry*, 71(3), 1531-1546.
33. Zhang, X., Liang, Y., Yang, H., Yang, H., Chen, S., Huang, F., Hou, Y., & Huang, R. (2021). A novel fusion levansucrase improves thermostability of polymerization and production of high molecular weight levan. *Lwt*, 150(June), 111951. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111951>



Artículo de divulgación científica

<https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.2640>

Galarza-Ponce et al., 2025

Recibido: 15-10-2024

Revisado: 10-11-2024

Aceptado: 23-11-2024

Publicado: 01-04-2025

Estrategias post-COVID-19. Herramientas de planeación empresarial, mercadeo y concientización para el consumo de miel y productos derivados

Strategies post-COVID-19. Business planning, marketing and awareness tools for the consumption of honey and derived products

Karelia Y. Galarza-Ponce¹, Ana L. Guzmán-Elizalde¹ y Josefa Espitia-López^{1*}

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, CP 43775, Ex. Hacienda de Quetzalpa, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México

*Correspondencia: josefa_espitia11153@uaeh.edu.mx

Resumen

La pandemia de COVID-19 a pesar de haber sido hace más de dos años, sigue teniendo un impacto significativo dentro de los sectores económicos, en el sector apícola esto no es diferente, por lo que es vital estar preparados. El objetivo de este estudio fue generar herramientas que puedan ayudar a concientizar y potencializar los procesos y comercialización de estos productos derivados de la miel. El presente estudio analiza la situación de este sector empleando la metodología Focus Group la cual fue aplicada en la Jornada de Difusión y Concientización sobre Apicultura 2023, se generaron estrategias beneficiosas para este sector entre las cuales destaca los gustos, disgustos, motivaciones de compra.

Palabras clave: Estrategia post-pandemia, Sector apícola, Herramientas de investigación, Innovación apícola.

Abstract

The COVID-19 pandemic, despite being more than two years ago, continues to have a significant impact within economic sectors. In the beekeeping sector this is no different, so it is vital to be prepared. The objective of this study was to generate tools that can help raise awareness and enhance the processes and marketing of these products derived from honey. The present study analyzes the situation of this sector using the Focus Group methodology which was applied at the 2023 Beekeeping Dissemination and Awareness Day, beneficial strategies were generated for this sector, among which the likes, dislikes, and purchase motivations stand out.



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

Keywords: Post-pandemic strategy, beekeeping sector, research tools, beekeeping innovation.

1. Introducción

Ante un proceso de desorientación económica, financiera y de comercialización por parte de las empresas en el estado de Hidalgo, debido a la pandemia COVID-19, las MiPyMEs son empresas que califican entre micro, pequeñas y medianas empresas dependiendo de varios criterios que deben cumplir como por ejemplo número de empleados Valdés, y Sánchez (2012) , estas se vieron afectadas en su desarrollo y sostenimiento en el mercado, esto abrió una brecha para trascender del comercio tradicional al e-commerce, pese a esto no todas pudieron evolucionar y muchas murieron en el intento.

Esto nos lleva a preguntarnos ¿Qué estrategias ayudan a las empresas para poder pasar esta brecha tecnológica? Al analizar las circunstancias identificamos que estrategias como es un análisis FODA, el focus group y la cata, permiten analizar el entorno, identificar el valor del producto y las necesidades del mercado, aunque el focus group y la cata requiere una mayor asesoría, y en el caso de la cata además es necesario contar con un especialista para que guíe la dinámica, y haga su propia valoración para destacar la diferenciación del producto.

Por lo anterior, este artículo está dedicado a los productores apícolas del estado de Hidalgo, con la finalidad de que puedan prepararse empresarialmente hablando para tener empresas sostenibles y con herramientas estratégicas que les permitan analizar el panorama y tomar decisiones basadas no sólo en un escenario general, sino en un escenario intrínseco en el cual se dimensiona cada problemática, su alcance, las herramientas para combatirlo y las medidas de satisfacción que pueden dar a sus clientes, con base en las necesidades que estos tengan.

2. Antecedentes

La pandemia COVID-19 tuvo un impacto macroeconómico que afectó en México a diferentes agentes económicos, entre estos a las

MiPyMEs. Como parte del análisis de la afectación de la pandemia en las empresas, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022), desarrolló y aplicó una encuesta sobre el impacto generado por COVID-19 (ECOVID-IE), dicha encuesta se aplicó en tres momentos, siendo éstos: del 07 de mayo al 12 de junio 2020, 1° septiembre al 16 de octubre 2020 y del 1° al 31 de marzo 2021. La información obtenida de esta encuesta apoyó al gobierno federal a la toma de decisiones en cuestiones de políticas públicas.

Como parte de los resultados obtenidos en la encuesta ECOVID-19, se detectó que en la primera aplicación el 85.1% de las empresas mexicanas inmersas en diferentes actividades económicas se vieron afectadas en sus ingresos ante las medidas de seguridad para hacer frente a la pandemia, mientras que en la última aplicación el 73.8% de las empresas seguían siendo afectadas por las restricciones sanitarias; entre las consecuencias que se vivieron ante la disminución de ingresos fueron atrasos en el pago de deudas, disminución de prestaciones a sus trabajadores y reducción de personal contratado. Entre las adecuaciones a sus actividades operativas fue la adopción de ventas por internet, diversificación en la cadena de suministros y el home office (INEGI, 2021).

El panorama nacional del sector apícola entre 2017 y 2021 (SADER, 2022), presentó una producción promedio anual de 58 mil toneladas de miel, presentándose un pico en el 2020 (inicio de la pandemia en México), donde disminuyó la producción un 12.26% en comparación al 2019, pero tuvo una recuperación en el 2021 incrementando la producción en 9,240 toneladas. Otras problemáticas que enfrenta la apicultura es la africanización, sanidad, inocuidad, nutrición y alimentación de las colmenas, así como la falta de comercio justo.

Con relación al estado de Hidalgo, y para hacer frente a los problemas derivados por la pandemia, el gobierno estatal de Hidalgo



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

encabezado en ese momento por el Lic. Omar Fayad Meneses, hizo una actualización del Plan Estatal de Desarrollo Hidalgo 2016-2022 (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2022), en esta actualización se hizo una alineación con cinco ejes estratégicos alineados a los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la agenda 2030. Derivado de este análisis las metas que se establecieron en el Gobierno del Estado de Hidalgo y que van directamente ligadas al sector agropecuario, que incluye la actividad apícola son: Abatir la pobreza al activar el trabajo en el campo, programas de trabajo temporal, programas de capacitación para modelos de negocio, incentivos para promover el home office; incrementar la empleabilidad y generar un crecimiento económico sostenible, mediante el crédito a empresas; conservación de los recursos naturales y los ecosistemas de forma sostenible; generar industria, innovación e infraestructura sostenible y resiliente; generar producción y consumo local de forma sostenible, suficiente y responsable.

2.1 Panorama de empresas exitosas

De acuerdo con datos del (INEGI, 2019) la esperanza de vida de nuevos establecimientos en nuestro país oscila entre los 7.2 y 11.4 años, siendo en el estado de Hidalgo de 8.4 años. Sin embargo, conforme a las estadísticas se tiene que por cada 100 nuevos establecimientos 52 mueren antes de llegar a los dos años de operación, pero ¿qué es lo que ocasiona la muerte de estos negocios? Según datos del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA, 2023), las principales causas por las que mueren las MiPyMEs en México se debe a que hay desconocimiento sobre el manejo de las finanzas y el marketing mix, carencia de procesos y evaluación del personal, todo esto lleva a que no se tenga un presupuesto para trabajar, ni un equipo de trabajo, generando en muchos casos problemas de liquidez.

Por lo anterior, es importante que exista planeación en las empresas desde antes de la puesta en marcha, así como durante y después de la misma. Dentro de la planeación es importante definir las actividades a realizar, los responsables y el tiempo en que debe

completarse la actividad; una herramienta muy útil es hacer un diagrama de Gantt. Por último, se deben establecer los medios por los cuáles serán evaluadas las actividades, de esta forma se podrá saber si se han cumplido las actividades, además de identificar lo que ha fallado o se requiere mejorar.

En el libro de Bimbo. Estrategia de éxito empresarial el autor (Servitje, 2022) menciona que la empresa que el lidereó tiene su éxito gracias a que fue capaz de generar una base sólida de principios y valores fundamentados en una filosofía empresarial, donde además se plasman una misión y una visión que dictan el rumbo de la empresa; así mismo ha tenido respuestas adecuadas y rápidas a los cambios que se van suscitando en el mercado, la sociedad, y en general en el mundo. Otro punto que permite el éxito es tener personas líderes con la capacidad de tomar decisiones para afrontar diversas situaciones, resolver problemáticas, y hacer cambios en la empresa para su mejora continua, manteniéndose siempre vigente ante las tendencias tecnológicas, sociales y de la industria para ofrecer siempre mejores oportunidades a su personal, socios, accionistas, clientes y proveedores.

2.2 Áreas básicas de una empresa

Para que una empresa sea funcional sin importar su tamaño es importante que existan personas cuyas funciones incluyan cubrir las áreas de Administración, Finanzas, Producción, Mercadotecnia y Recursos Humanos, ya que estas albergan las principales actividades para permitir la satisfacción de clientes, proveedores y personal de la empresa; así como tener una relación estrecha con la comunidad en general.

Prieto-Sierra (2023), describe las funciones de cada una de estas áreas, siendo así que el área de administración se encarga de planear a partir de la filosofía empresarial, organiza el trabajo asignando un líder, las actividades y los responsables de cada una de ellas, dirige a través de la motivación y el empoderamiento de sus colaboradores, y por último controla al establecer los mecanismos para evaluar los resultados.



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

El área de Finanzas se encarga de que la empresa cubra su necesidades de mantenimiento, crecimiento y expansión sin perder su salud financiera; el área de producción se encarga de satisfacer la demanda con productos y/o servicios, lo que incluye la seguridad y previsión de riesgos laborales, atención a controles de calidad, distribución y logística del producto, y evaluación de factores medioambientales, alineados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2030 como son: agua limpia y saneamiento, energía asequible y no contaminante, industria, innovación e infraestructura, producción y consumo responsable (Naciones Unidas, 2015).

El área de mercadotecnia realiza investigación del mercado y define las estrategias en torno a las 4 P's (precio, producto, plaza y promoción)

El área de Recursos Humanos es la encargada de la identificación de talentos para colaborar en la empresa, haciendo uso de un organigrama,

perfiles y descripciones de cada uno de los puestos; también se hace cargo de la comunicación interna, la capacitación, el liderazgo y la motivación de los jefes inmediatos para que exista un buen clima laboral, evalúa el desempeño del personal, y lleva la administración de sueldos, prestaciones y beneficios de los trabajadores.

2.3 FODA

Como se mencionó anteriormente el área de marketing es la encargada de identificar el mercado, hacer publicidad y lograr las ventas. Sin embargo, se sugiere realizar una autoevaluación interna (ver anexo 1) para identificar primero que es lo que está haciendo la empresa y que le falta hacer, sobre todo pensando en las micro y pequeñas empresas que en la mayoría de los casos nacen sin una un plan de negocios o de acción al futuro, siendo una de las razones por las que viven poco tiempo (Hernández, 2022)

Tabla 1. Ejemplo de FODA para apicultores. Elaboración propia con información obtenida de apicultores que asistieron a la 1ra Jornada de apicultores 2023.

Análisis interno	Análisis externo	
	Oportunidad (invertir) Capacitaciones sin costo por parte de dependencias gubernamentales.	Amenaza (identificar) Miel adulterada a bajo costo y con accesos a diversos mercados.
Fortaleza (capitalizar) Miel adulterada a bajo costo y con accesos a diversos mercados.	Estrategias Ofensivas (Maximizar Fortalezas y Oportunidades) Tomar un curso de marketing para difundir que produzco miel orgánica.	Estrategia Defensiva (Maximizar Fortalezas, Minimizar Amenazas) Tomar un curso de marketing para difundir información al consumidor y aprenda a reconocer la miel adulterada y las consecuencias de consumirla.
Debilidad (reconocer) Desconocimiento para administrar una empresa	Estrategia Adaptativa (Minimizar Debilidades, Maximizar Oportunidades) Desconocimiento para administrar una empresa	Estrategia Defensiva (Maximizar Fortalezas, Minimizar Amenazas) Tomar un curso de marketing para difundir información al consumidor y aprenda a reconocer la miel adulterada y las consecuencias de consumirla.



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

Un análisis FODA no solo nos permite identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, sino que también con estos datos se puedan plantear e implementar estrategias que los lleve a mejorar, crecer y evaluar los resultados.

En la tabla 1 se presenta un ejemplo de FODA para apicultores, se desarrollan estrategias que pueden aplicarse utilizando lo identificado como fortaleza, oportunidad, debilidad y amenaza durante la 1ra Jornada de apicultores 2023, realizada en el Instituto de Ciencias Agropecuarias-UAEH.

Otras herramientas que se pueden utilizar para obtener información específica del consumidor y que sirva para la toma de decisiones son encuestas, entrevistas a clientes, aplicación de storytelling, análisis de la competencia e históricos de ventas. (Martínez, 2011).

3. Aprende a hacer un Focus Group

Un Focus Group es una herramienta de investigación cualitativa. La investigación cualitativa trabaja con personas por lo tanto está relacionada con: situaciones conductas y movimientos sociales (Miles y Huberman, 1994), es bastante efectiva ya que se puede interactuar directamente con el objeto de estudio o mercado meta, esta como su nombre lo dice, consiste en reunir un grupo de participantes para discutir o debatir un tema en específico, para realizarlo se necesita un mediador que pueda encaminar la discusión y evitar sesgos dentro de esta.

Dentro de la sesión se realizan preguntas, pruebas proyectivas e incluso pruebas organolépticas con el fin de recabar la información necesaria para la investigación. A continuación, se mencionarán los elementos básicos que debe tener un Focus Group para poder tener resultados óptimos, esto utilizando un grupo de enfoque previamente realizado a un grupo de apicultores en la 1° Jornada de difusión y concientización sobre apicultura 2023.

3.1 Objetivos

Lo primero que se debe hacer es fijar objetivos, esto se realiza cuestionando que es lo que te gustaría saber al realizar esta investigación, al hacer esto será más fácil redactarlos, este paso es de suma importancia y no puede ser omitido, pues es la base para planear y desarrollar toda la sesión. En este caso lo que se quería conocer era los factores que se toman en cuenta para consumir la miel, la opinión de los consumidores a ciertas características de la miel, saber cuál sería el empaque óptimo para este producto y finalmente saber el impacto de la pandemia para este sector. Considerando todo lo que se quería saber se redactaron los siguientes objetivos:

- Saber cuáles son los factores que los consumidores toman en cuenta cuando compran miel o productos con miel.
- Averiguar qué características les agrada de la miel y cuáles no son de su agrado.
- Definir cuál sería el empaque ideal para este producto y por qué.
- Conocer de qué forma ha afectado la pandemia al consumo de estos productos.

3.2 Características de los participantes

Posterior a definir objetivos, es indispensable elegir a los participantes, guiándonos de los objetivos, en este caso era necesario tener personas pertenecientes al estado de Hidalgo, sobre todo para que pudieran asistir al Focus Group, otra cosa que era indispensable es que consumieran miel, que trabajaran con ella o que estuvieran involucrados con el sector apícola ya que así podrían aportar acerca el empaque ideal, de cómo les afectó la pandemia a sus negocios y también serían capaces de contestar cuales son los factores y características que agradan o no de la miel. Por eso para la investigación se solicitaron personas con las siguientes características.

- Edad y sexo indistinto
- Consumidores de miel
- Habitantes del estado de Hidalgo
- Personas dedicadas al sector apícola



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

Es importante aclarar que para este Focus Group hubo 23 participantes, más que nada porque eran los asistentes al evento y la intención era que al participar pudieran entender mejor esta herramienta de investigación, pero es un número muy grande de personas para estas sesiones, por lo que siempre es mejor tener un rango de entre 8 y 12 participantes por sesión (Fern, 1982).

3.3 Reglas

Una vez seleccionado a los participantes con base a las características previamente planteadas, se deben establecer reglas para mantener el orden, y la armonía, así será más fácil para el mediador tener un control dentro de la sesión.

El no interrumpir es vital para que cada uno pueda aportar sus ideas sin ningún problema, se tienen que asignar turnos para poder llevar un orden y que todos puedan hablar, también es importante que todos los participantes se sientan cómodos de poder expresarse de la forma que más les guste, pues al limitarse puede que la información se sesgue y no sirva para la investigación, y finalmente es indispensable que todos sigan las instrucciones del mediador al pie de la letra.

- No interrumpir
- Respetar los turnos
- Expresarse como más cómodos se sientan
- Seguir las instrucciones del mediador

3.4 Presentación

Es importante preparar una presentación del mediador para los participantes, en esta se debe mencionar brevemente los temas que se abordarán, las reglas de la sesión y también se debe dejar en claro que la información recabada será únicamente utilizada con fines de investigación y se mantendrá completamente confidencial.

Buenas tardes, mi nombre es Karelia Yunue Galarza Ponce, soy estudiante de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, estudio la carrera de mercadotecnia. Estamos aquí para hablar sobre la miel, toda la información

recopilada en esta actividad es para uso exclusivamente académico. Les explicare las reglas: No deben interrumpir cuando alguien está hablando, respetar los turnos, los cuales les daré a continuación, deben tener una participación, son libres de expresarse como más cómodos se sientan y deben seguir mis instrucciones atentamente.

3.5 Preguntas

Se deben redactar las preguntas guiándose de los objetivos anteriormente definidos, es importante que las preguntas que se realicen sean óptimas para conseguir la información necesaria, es recomendable que la primera pregunta sea algo para romper el hielo, tocando un tema del que todos los participantes son conocedores.

1. ¿Consumen miel?
2. ¿Cada cuánto tiempo adquieren productos con miel?
3. ¿Qué es lo que les gusta de un producto con miel y los invita a comprarlo? ¿Qué es lo que no les gusta?
4. ¿Considera que el consumo de estos productos ha aumentado o ha disminuido por la situación actual? Justifiquen su respuesta

3.6 Pruebas proyectivas

Las pruebas proyectivas también son un factor importante dentro de un Focus Group, pues se puede obtener muy buena información por medio de estas, en este caso se utilizaron las pruebas de asociación de palabras para que definiera mejor que es lo que le viene a la cabeza cuando piensan en este producto y también se implementó una prueba de dibujo para tener más claro cómo sería el empaque ideal, todas las pruebas al igual que las preguntas, se realizaron basándose en los objetivos de investigación.

1. Asociación de palabras: Los participantes deben escribir lo que le viene a la cabeza con las palabras que yo mencione, NO DEBEN HABLAR SOLO DEBEN ESCRIBIR.

- ✓ Miel
- ✓ Abeja



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

2. ¿Cómo será su empaque ideal para la miel? Descríbalo y también puede dibujarlo si lo necesita

Dentro de estas sesiones se realizan estas pruebas, por lo que es necesario tener el material listo y ponerlo a la mano de los participantes para que sea más fácil para ellos realizar las actividades, en este caso era necesario que tuvieran lápiz y papel. Es importante saber que el material se elegirá después de definir las pruebas proyectivas que se realizaran.

2.7 Guía para el Focus Group

Ya con todos los elementos previamente preparados, es indispensable tener un formato para llevar a cabo la sesión, con la presentación, las preguntas, las pruebas proyectivas y la despedida, todas ordenadas y con un aproximado del tiempo que llevara cada cosa, esto con el fin de aprovechar más la sesión y no olvidar ningún tema que deba ser abarcado dentro de esta.

El acomodo de todo se puede hacer en una tabla para que sea más fácil de entender para el mediador y sea capaz de abarcar todos los temas en la sesión midiendo los tiempos establecidos de cada uno (Tabla 2).

La primera parte de la guía debe incluir una introducción donde se presentan tanto los participantes como el mediador y también en esta parte se da conocer el propósito de la sesión y las reglas anteriormente establecidas. (Meilgaard et al., 2007). Después marca los tiempos establecidos para cada pregunta o prueba que se desarrollaran durante la sesión.

2.8 Análisis del Focus Group

Para la realización del análisis es importante tener una buena organización, al ser varios participantes con diferentes opiniones es fácil que pueda existir cierto desorden a la hora de analizar cada una de las respuestas, una recomendación es hacer gráficas para poder tener más claras las respuestas y mantener un orden.

También se pueden transcribir las respuestas de cada participante, aunque sea más trabajo, al leer las respuestas e ir recabando la información de cada una de ellas será más fácil obtener una conclusión acerca de la sesión.

Otra recomendación es hacer el análisis pregunta por pregunta y después ir buscando una relación entre estas, esto también ayudara a tener más claras las aportaciones de los participantes y tomar en cuenta cada una de ellas.

¿Consumen miel?

Esta pregunta se realizó con el fin de corroborar que todos los participantes consumen miel. La a respuesta de todos fue afirmativa, todos los presentes de la sesión consumen miel.

¿Cada cuánto tiempo adquieren productos con miel?

Las respuestas de esta pregunta fueron bastante variadas y por el número de participantes (Figura 1). Los participantes tienen opiniones variadas, pero las respuestas que más se repiten es que adquieren estos productos cada 2 o 3 meses o incluso cada 4 o 5 meses, al estar tratando con personas que son productoras de miel, estos argumentan que la consumen diariamente y también cada que es temporada.

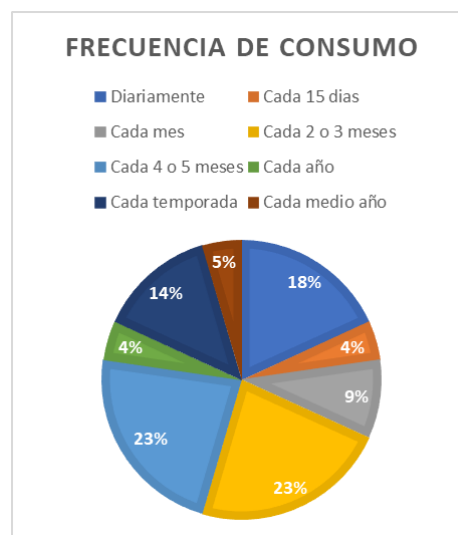


Figura 1. Ejemplo de grafica para análisis de Focus Group.



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

Tabla 2. Ejemplo de Focus Group para apicultores

Presentación <u>1 min</u>	Buenas tardes, mi nombre es Karelía Yunue Galarza Ponce, soy estudiante de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, estudio la carrera de mercadotecnia. Estamos aquí para hablar sobre la miel, toda la información recopilada en esta actividad es para uso exclusivamente académico. Les explicare las reglas: No deben interrumpir cuando alguien está hablando, respetar los turnos, los cuales les daré a continuación, deben tener una participación, son libres de expresarse como más cómodos se sientan y deben seguir mis instrucciones atentamente.
1er pregunta <u>2 min</u>	¿Consumen miel?
2da pregunta <u>3 min</u>	¿Cada cuánto tiempo adquieren productos con miel?
3er pregunta <u>6 min</u>	¿Qué es lo que les gusta de un producto con miel y los insita a comprarlo? ¿Qué es lo que no les gusta?
1er prueba proyectiva <u>6 min</u>	Asociación de palabras: Los participantes deben escribir lo que le viene a la cabeza con las palabras que yo mencione, NO DEBEN HABLAR SOLO DEBEN ESCRIBIR. ✓ Miel ✓ Abeja
4ta pregunta <u>8 min</u>	¿Considera que el consumo de estos productos ha aumentado o ha disminuido por la situación actual? Justifiquen su respuesta
2da prueba proyectiva <u>10 min</u>	¿Cómo será su empaque ideal para la miel? Descríbalo y también puede dibujarlo si lo necesita
Despedida <u>1 minuto</u>	Bueno eso sería todo, les agradezco mucho su participación.

Estos son los únicos patrones que se repitieron, por lo que en si la frecuencia de compra depende bastante de la persona, del consumo de miel que tenga y también de la forma en la que adquieren este producto pues al ser productores podían consumir de forma diaria porque tenían el producto a la mano a diferencia de los demás.

¿Qué es lo que les gusta de un producto con miel y los insita a comprarlo? ¿Qué es lo que no les gusta?

Casi todos los participantes mencionaron que una de las características que más les gusta es su sabor dulce, sus propiedades benéficas para la salud y la energía que esta proporciona, respecto a la consistencia viscosa, mencionan algunos que les gusta y otros que no por la dificultad que esta conlleva al manipularse.

Les agrada que es una alternativa más sana del azúcar y que se puede utilizar para crear productos de belleza. Consideran a la miel una opción natural ya sea como endulzante, medicamento alternativo o preventivo. Entre todas las respuestas la mayoría menciona que no había nada que les desagradara de la miel, solo en algunos casos la viscosidad y una persona menciona que lo que no le gustaba era no saber realmente si la miel que consumía era de buena calidad o no. Por lo que, es importante tomar en cuenta estos factores para la creación de productos con miel o para la promoción de esta.

¿Considera que el consumo de estos productos ha aumentado o ha disminuido por la situación actual? Justifiquen su respuesta

Con esta pregunta se buscaba conocer como había afectado la pandemia a este sector, las respuestas fueron bastante parecidas casi todos



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

argumentaron que el consumo de este producto si había aumentado, ya sea por sus propiedades, porque las personas buscaban alternativas a la medicina y eligieron este producto, porque este producto ayuda con las vías respiratorias que eran las que el COVID-19 atacaban principalmente.

En conclusión, este aumento se debió a las propiedades medicinales que tiene la miel y que siendo la pandemia un momento vulnerable en cuestiones de salud, beneficio al consumo de este producto. Pero, no fue solo eso también ayudo a la concientización acerca de las abejas y su importancia en el mundo.

Esto beneficio a los apicultores porque el consumo incrementó hasta un 200% en algunos casos, pero igual llego a afectar porque también incremento el consumo de miel adulterada que es más barata pero dañina al no ser de buena calidad.

2.9 Análisis de Pruebas Projectivas

Para la realización de estos análisis es indispensable tener paciencia para poder revisar cada aportación de los participantes, en este caso las dos pruebas realizadas fueron escritas por lo que se debe tener en orden cada hoja perteneciente a cada persona, todas son aportaciones son importantes y deben de ser tomadas en cuenta.

Se pueden realizar gráficas para tener un orden o una mejor claridad de las respuestas, lo que sea mejor para poder obtener la información deseada.

La primera prueba fue una asociación de palabras donde se les pidió a los participantes escribir que se le venía a la mente al escuchar las palabras miel y abeja.

Miel

Para esta palabra hay una gran variedad de cosas con las que los participantes asociaron, pero en la figura 2 se puede ver cuáles son las que más se repitieron.

La palabra que más se repitió fue “dulce” haciendo referencia a que lo que se le viene a la mente al pensar en este producto es su sabor pues igualmente se hace referencia a este con la palabra “rica”, la siguiente palabra que más se repitió fue “abeja” pues son las encargadas de producir la miel, la tercera palabra más repetida es salud pues los participantes consideran que este producto es muy saludable e incluso “medicinal” o “nutritiva” que son palabras que destacan entre las mencionadas, además se menciona “energía” que hace referencia a que este producto genera energía al consumirlo. También podemos notar que este producto está bastante relacionado con la naturaleza y elementos naturales de esta como lo son las flores.

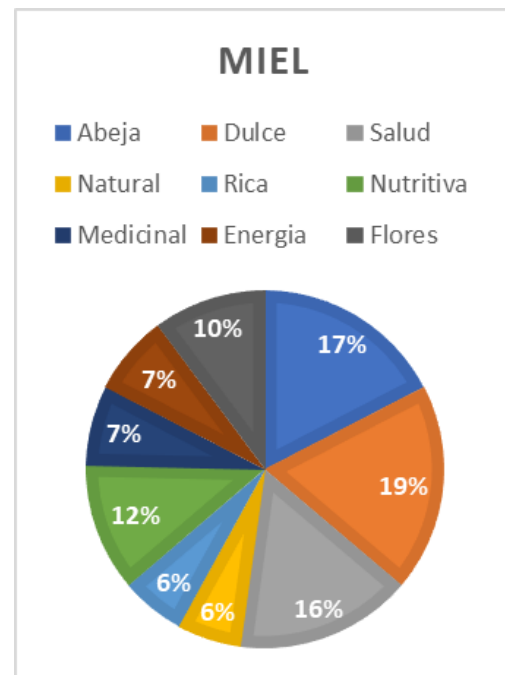


Figura 2. Primer ejemplo de gráfica de análisis de Focus Group.

Abeja

Dentro de la Figura 3 podemos observar cuales son las palabras que relacionan con la abeja. Como podemos ver en la gráfica, la palabra que más se repitió fue polinización que es básicamente el proceso que realizan las abejas para la creación de la miel, después esta la



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

palabra miel, aquí hay una relación importante pues en la prueba la mayoría de los participantes relacionan las palabras miel y abeja entre sí, también es importante recalcar que en esta prueba mencionan algunas características de la abeja como que es un insecto o animal que vuela, pica, pero que es importante porque crea alimento. Pero, también lo asocian con la naturaleza pues mencionan palabras como el polen y la flor.

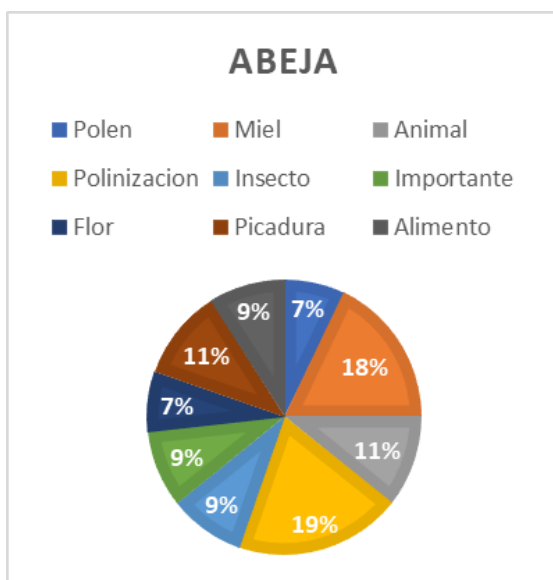


Figura 3. Segundo ejemplo de gráfica para el análisis de Focus Group.

¿Cómo será su empaque ideal para la miel? Descríbalo y también puede dibujarlo si lo necesita.

La mayoría de los participantes mencionaron que les agradaría que fuera un envase de vidrio para que se pueda observar el producto, que no tenga tantos estampados, pero que, si tenga una etiqueta con la información de la miel como su información nutrimental, su historia de origen, de los apicultores que la hicieron o incluso recetas.

Este envase debe mantenerse en un lugar fresco para mantener la textura de la miel, este debe estar bien sellado para tener una buena higiene, que tenga sellos que avalan que es orgánico, que llame la atención con decoraciones representativas como flores, abejas y panales,

también mencionaron que debería ser cilíndrico, ergonómico y con algún elemento que facilite el servir la miel sin necesidad de usar una cuchara o voltear el recipiente, como una palita de madera que se pueda reutilizar.

Pero además de esto también se mencionó que se podía implementar la miel en una presentación más pequeña como en sobres, para que el consumo sea más fácil.

3.10 Conclusiones del Focus Group

Esta herramienta de investigación nos ayudó a obtener una gran cantidad de información en aproximadamente 40 minutos, al tener objetivos claros, preguntas bien planteadas y los participantes adecuados, se pudieron obtener grandes aportaciones.

Este grupo de enfoque fue muy enriquecedor para conocer la situación actual de este producto es importante que se tomen en cuenta las propiedades que tiene la miel y los beneficios a la salud que ofrece, además de el delicioso y dulce sabor que tiene. Aunque también es importante hacer una reflexión sobre la importancia que tienen las abejas, no solo para la producción de la miel, sino también para todo el mundo.

La situación de la pandemia beneficio a este sector de una manera bastante inesperada y también a las personas que se decidieron por implementar este producto en su alimentación. La frecuencia de consumo es bastante variada, pero ronda de cada 2 a 3 meses.

Este producto también se puede implementar en el mundo de la belleza o el cuidado personal, ya que puede haber mascarilla, cremas u otros productos similares que al ser naturales y contar con tantos beneficios pueden ayudar bastante a esta rama.

Finalmente es importante destacar todos los beneficios que tiene la miel, contar con un envase de vidrio para que se pueda observar el producto y también que sea 100% higiénico, con la información nutrimental y con elementos que



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

definen al producto como las flores y las abejas mejorará el consumo de la miel.

4. Aprende a hacer una cata de miel

4.1 Metodología para hacer una cata de miel

Una de las principales razones por las cuales los productores se acercaron para solicitar herramientas de planeación, mercadeo y concientización para el consumo de miel y sus derivados fue aprender metodologías que los auxilien en la caracterización sensorial del producto, estos datos ayudan a los productores a valorizar los rasgos que presenta la miel y así poder clasificarla por calidad y peculiaridades específicas, según estén presentes obtener un valor agregado cuando ésta es comercializada.

La herramienta que se emplea para la caracterización sensorial de la miel es una cata analítica, el análisis sensorial nos ayuda a perfilar cuantitativamente las muestras hasta obtener un mapa con una descripción sensorial completa (Rabitti et al. 2022). Aunque muchas de las propiedades de la miel se pueden determinar de manera fisicoquímica (agua, enzimas, cenizas, calorías, proteínas, residuos de antibióticos y plaguicidas, pH, acidez, viscosidad, conductividad eléctrica, etc.) y están legisladas para asegurar la inocuidad en su consumo, la realidad es que las características sensoriales se miden con jueces que ayudan realizar una evaluación integral de los criterios de calidad que dependen del origen de la miel, específicamente si es monofloral o polifloral (Piana et al. 2023), esto para poder identificar y distinguir aromas, sabores e impurezas.

Para el caso particular de la miel, el análisis sensorial fue utilizado por primera vez en Francia, por el equipo de Gonnet (Piana et al. 2004), desde entonces ha evolucionado constantemente el protocolo aplicado, hoy en día se utilizan diversos métodos flash por ser más baratos y rápidos, esto como consecuencia del empleo de diversos softwares especializados, así como algoritmos que permiten obtener información válida para el análisis sensorial.

En la industria alimentaria es común el empleo de diversas metodologías sensoriales, la importancia de realizar esta evaluación basada en jueces destaca principalmente por:

- Control de calidad mientras se realiza el producto
- Vigilancia cuando se estandariza alguna parte del proceso de elaboración
- Conocer el cambio de las características del producto durante su almacenamiento
- Conocer las características específicas de vigilancia para mantener la calidad del producto durante su transporte y distribución
- Saber la percepción del producto con el consumidor

4.2 El papel de la cata

Dependiendo del tipo de prueba y análisis que se vaya a realizar según los resultados que se necesiten en la industria, existen panelistas con condiciones específicas que se deben cumplir. Los tipos de jueces que se emplean para los paneles son tres, entrenados, semientrenados y consumidores, esto se debe al tipo de información según la evaluación que se realiza, los datos obtenidos deben ser seguros y confiables en los resultados, también se realizan los estudios estadísticos necesarios que permitirán la discriminación de la información obtenida del estudio.

Los jueces consumidores son aquellos que consumen habitualmente el producto, el único requisito para ser juez consumidor es no tener desagrado por el producto, el juez semientrenado es aquel que conoce bien el producto e identifica cuales son las características que espera y el juez entrenado es aquel que esta calibrado en descriptores específicos, así como intensidades que puede o no presentar el producto en cuestión (Hernández 2002).

Para seleccionar el tipo de juez adecuado se debe tomar en cuenta cual es el tipo de prueba que se va a realizar, descriptiva, discriminativa, hedónica, etc. y se usará un método tradicional o un método flash, algunos de los requerimientos



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

que se deben tomar en cuenta para la elección del panel y el método a utilizar son:

- Presupuesto
- Tiempo
- Número de jueces
- Disponibilidad de software especializados
- Información requerida del estudio

Sin importar el tipo de análisis o de panelistas que se empleen, las herramientas que se pondrán en funcionamiento son los sentidos y gracias a estos podemos contar con la diversidad de mieles con sabores y texturas variadas, los sentidos se pueden clasificar en:

- Químicos: olfato y gusto
- Físicos: vista, tacto y oído

Cuando el panel sensorial realiza la cata de las mieles lo hará en un orden lógico para las muestras seleccionadas, generalmente es de la más clara a la más oscura ya que el sólo color que presenta la miel nos indica la saturación de aromas y sabores que esta puede presentar, asimismo el color nos estará dando algunas de las peculiaridades que se han realizado durante el proceso de la producción, por ejemplo las mieles de otoño que además ha tenido algún tiempo de envejecimiento suelen presentar colores más oscuros y texturas más caramelizadas. Para poder realizar una descripción más estandarizada también se cuenta con una herramienta muy detallada la cual es “La rueda de aromas de la miel”, existen en el mercado varias ruedas de aromas para productos como la del vino, la de la cerveza, la del café e incluso la del tequila, la miel no es la excepción en esta podemos encontrar los descriptores de aromas agrupados en familias aromáticas que nos ayuda a describir de forma normalizada los elementos sensoriales que encontramos en la miel (Torquato et al., 2020).

4.3 Fase visual

La primer fase en la cata de miel es la fase visual, en esta se debe observa analíticamente a la muestra, se realiza empleando una cuchara blanca y la luz debe ser de natural a blanca, para

poder observar los colores y destellos peculiares sin distorsionar por elementos del ambiente, lo primero es describir el color y tono de la miel, seguido de la consistencia si es líquida o cristalina, esto va generando algunas perspectivas del proceso que ha pasado así como de su procedencia, origen botánico, época del año, viscosidad y por su puesto va perfilando la calidad del producto.

4.4 Fase olfativa

La segunda fase en la cata de miel es la olfativa, para poder percibir estos aromas las muestras de miel deben estar a temperatura ambiente (18 a 25°C), ya que si la muestra está refrigerada puede no mostrar todos los aromas que esta posea y si se calienta puede generar aromas no deseados debido a la potencia en la que se pueden mostrar y generar falsos defectos. Para describir los aromas presentes en la muestra se emplean términos relacionados con las flores y especies botánicas de las que se sabe pueden ser originarias las mieles, la fase olfativa puede ser directa, es decir percibir los aromas sólo atreves de la nariz o puede también percibirse de forma retronasal, esto es que los aromas llegan a partir de las moléculas que se desprenden de la boca y suben al paladar hasta llegar a la zona retronasal.

4.5 Fase gustativa

La última fase en la cata de miel es la fase gustativa, lo primero es tomar una pequeña cantidad de miel con la cuchara donde se realizó la fase visual, llevar a la boca y permitir que se mezcle con la saliva, el calor de la boca va a modificar instantáneamente la viscosidad que presente la miel, es el mismo calor el que ayudará a expulsar de la muestra las moléculas que dan los aromas que se perciben en el retronasal. Es importante informar a los jueces la diferencia entre sabores y aromas, los sabores son básicamente cinco:

- Salado
- Amargo
- Ácido
- Dulce
- Umami



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

En diversas ocasiones cuando no se les proporciona la información de cuáles son los sabores básicos que se pueden detectar en la boca suelen confundirlos con aromas como son las flores o frutas que nos ayuda a describir en la fase olfativa. Es también en la fase gustativa de la cata donde podemos describir la consistencia de la miel ya que podemos percibir la viscosidad y si existe algún grado de cristalización presente de la muestra de miel (Piana et al., 2004).

5. Conclusiones

Para poder potencializar el comercio de la miel es necesario describir lo que espera el consumidor de esta, por ello es importante conocer las características sensoriales de esta, y para ello se deben implementar correctas metodologías sensoriales. El análisis sensorial debe ser realizado por jueces específicos según el tipo de prueba que se realizará, pero sin importar el tipo de prueba que se realice los sentidos son la herramienta para poder describir la miel, es por este motivo que se debe tomar en cuenta siempre a los productores y consumidores en este proceso ya que son quienes mejor conocen el producto y a las tendencias de consumo a las que pueden dirigirse. Finalmente, la cata como estrategia, permite a los productores hacer una caracterización sensorial de la miel, y establecer la calidad de este con base a estándares que garantizarán el posicionamiento en el mercado y pago justo por el producto.

Es indispensable que toda empresa implemente estrategias que le permitan mejorar sus procesos en las áreas de administración, finanzas, producción, mercadotecnia y recursos humanos, de esta manera las empresas pueden identificar aquellos procesos que están realizando de manera correcta, aquellos procesos que pueden mejorar y finalmente los que requieren desarrollar para que se tengan resultados óptimos. Además, parte de la calidad es la mejor continua, y dentro del sector apícola donde se desarrolla un alimento y productos y subproductos derivados de la miel, se debe garantizar no solo la calidad del producto, sino

también que esta actividad económica prevalezca en las generaciones futuras.

A manera general el FODA, storytelling, encuestas y entrevistas a consumidores, y el análisis de la competencia son herramientas que brindan información relevante para la toma de decisiones, permitiendo así a las empresas mantenerse vigentes en su mercado meta e incluso abrirse paso a nuevos mercados.

Es indispensable para el sector apícola conocer las herramientas que pueden beneficiar o potenciar el comercio de sus productos. El Focus Group es una técnica de investigación capaz de profundizar en puntos relevantes como los gustos, disgustos, motivaciones de compra, entre varias otras cosas. Por medio de las preguntas, pruebas y la interacción directa con el mercado meta se puede conseguir un panorama bastante amplio de la perspectiva y opinión de los participantes. Contar con la retroalimentación de los usuarios nos permite optimizar continuamente el producto.

Referencias

1. Apidologie 35 (2004) S26–S37 © INRA/DIB-AGIB/ EDP Sciences, DOI: 0.1051/apido:2004048
2. Fern, E. (1982). Use of focus Group for Idea generation: The Effects of Group Size, Acquaintanceships, and Moderator on response Quantity and Quality. *Journal of Marketing Research*. 19 (february): 1-13. <https://doi.org/10.1177/002224378201900101>
3. BBVA. (2023). BBVA. Recuperado el 09 de Mayo de 2023, de <https://www.bbva.mx/educacion-financiera/blog/por-que-fracasan-los-negocios-pequenos.html>
4. Danel, P. (2021). Fundamentos de Marketing. Trillas.



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

5. Gobierno del Estado de Hidalgo. (2022). Gobierno del Estado de Hidalgo. Recuperado el 04 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidhttp://planestataldedesarrollo.hidalgo.gob.mx/pdf/PED/PED/Ped_Completo.pdf
6. Hernández, M. (11 de Julio de 2022). ¿Por qué mueren las empresas y negocios en México? Recuperado el 15 de Mayo de 2023, de <https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/por-que-mueren-las-empresas-y-negocios-en-mexico/ar2433779?referer=--7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a-->
7. INEGI. (2019). INEGI. Recuperado el 09 de Mayo de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/temas/dn/>
8. INEGI. (2021). INEGI. Recuperado el 1 de Marzo de 2023, de https://www.inegi.org.mx/programas/ecoviedie/#Datos_abiertos
9. INEGI. (22 de Febrero de 2022). INEGI. Recuperado el 1 de Marzo de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/725>
10. Martínez, R. (2011). Investigación comercial: técnicas e instrumentos. Madrid: Tébar Flores. Recuperado el 17 de Mayo de 2023
11. Prieto-Sierra, C. (2023). Emprendimiento, Innovación y Liderazgo. Patria Educación.
12. SADER. (18 de Mayo de 2022). Foro: El sector apícola en México. Recuperado el 04 de Mayo de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=Gq9pgUdYOQI>
13. Servitje S., R. (2022). Bimbo. Estrategia De Éxito Empresarial. Oceano. Recuperado el 09 de Mayo de 2023
14. UN. (2015). Naciones Unidas. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
15. Valdés Díaz de Villegas, J. A., & Sánchez Soto, G. A. (2012). Las MIPYMES en el contexto mundial: sus particularidades en México.



Artículo de divulgación científica

Galarza-Ponce et al., 2025

Anexo 1

Autoevaluación

¿Sabes a dónde estás llevando tu empresa?

Datos de identificación

Nombre de la empresa:

Actividad económica:

Dirección:

Medios de contacto:

Marca la casilla si tu empresa cumple o no con lo siguiente:

Declaración	Sí	No
Cuenta con una filosofía empresarial.	☐	☐
Tiene un organigrama con perfiles y descripciones de puesto.	☐	☐
Los integrantes familiares de la empresa tienen una responsabilidad acorde a sus conocimientos, habilidades e intereses.	☐	☐
Cuenta con todas las áreas básicas de una empresa	☐	☐
Se ha realizado un análisis de las necesidades que tiene la empresa, su personal y de los consumidores para crecer en el mercado.	☐	☐
Se cuenta con información financiera disponible y analizada para la toma de decisiones.	☐	☐
Se ha hecho un análisis de la competencia y de los diferentes productos a base de miel que se comercializan en el mercado.	☐	☐
Se tienen diferentes medios de comunicación para estar en contacto con clientes y consumidores.	☐	☐
Retroalimentación Antes de buscar asesoría o copiar una estrategia comercial es indispensable saber que queremos y hacia dónde queremos ir. Posteriormente, hay que diseñar un plan que nos permita alcanzar los objetivos y establecer los parámetros para medir el alcance, y no olvides rediseñar y reestructurar cada vez que sea necesario tu plan. Las ventas no tienen una fórmula mágica, son un proceso de aprendizaje, capacitación y adaptación a las nuevas tendencias. ¡Gracias por tu tiempo!		



Artículo de investigación científica <https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.4157> Sandoval-Téllez, 2025

Recibido: 15-10-2024

Revisado: 09-11-2024

Aceptado: 08-03-2025

Publicado: 01-04-2025

Conocimiento especializado en matemáticas y su enseñanza con profesores de sexto grado en escuelas vespertinas

Specialized knowledge in mathematics and its teaching with sixth grade teachers in evening schools

Carmen Sandoval-Téllez^{1*}¹ Dirección General de Educación Primaria. Escuela Primaria Juan Escutia. 54140, Tlalnepantla Estado de México, México.*Correspondencia: carmen.sandoval.tel@edomex.nuevaescuela.mx

Resumen

Esta investigación abordó el tema, de conocimientos docentes y enseñanza de las matemáticas, las cuales son esenciales en la educación primaria. Sin embargo, a pesar de su relevancia, los resultados educativos en matemáticas han demostrado una tendencia de bajo rendimiento. La problemática principal radica en que muchos docentes no poseen el conocimiento pedagógico y disciplinario necesario para impartir clases de matemáticas de manera efectiva. El objetivo principal fue determinar el conocimiento que posee el docente en el área de matemáticas y su forma de enseñanza, para conocer las áreas de oportunidad de las profesoras que imparten sexto grado en las escuelas vespertinas de la P111. Para ello, se empleó una metodología con enfoque cualitativo. La recopilación de datos se realizó a través de una entrevista semiestructurada. El análisis de contenido fue la principal herramienta metodológica para procesar esta información. Primero se llevará a cabo una codificación abierta, por medio del software ATLAS.ti v 24. Identificadas las categorías temáticas, se procedió a una codificación axial, que permitió establecer relaciones entre las distintas categorías y profundizar en cómo el conocimiento del docente se refleja en su práctica pedagógica. De acuerdo con el análisis realizado, se concluye que el conocimiento que posee el docente en el área de las matemáticas y su forma de enseñanza tiene estrecha relación con la didáctica que emplean para la enseñanza de la asignatura. Sin embargo, se observa que las docentes tienen la noción del Conocimiento Común del Contenido, pero al momento de llevarlo a la enseñanza su didáctica es limitada, refieren el uso de material concreto, pero no son claras en la estrategia (Conocimiento Especializado del Contenido) a emplear para resolver determinados planteamientos. Finalmente, es importante estandarizar estos tipos de contenidos y capacitar a los profesionales universitarios que se integren a la docencia en educación básica.

Palabras clave: Conocimiento especializado, didáctica, enseñanza-aprendizaje, modelo matemático.



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

Abstract

This research addressed the topic of teacher knowledge and mathematics teaching, which are essential in primary education. However, despite its relevance, educational results in mathematics have shown a trend of low performance. The main problem is that many teachers do not have the pedagogical and disciplinary knowledge necessary to teach mathematics classes effectively. The main objective was to determine the knowledge that the teacher has in mathematics and their teaching method, to know the areas of opportunity for the teachers who teach sixth grade in the afternoon schools of P111. For this, a methodology with a qualitative approach was used. Data collection was carried out through a semi-structured interview. Content analysis was the main methodological tool to process this information. In this process, open coding will first be carried out, using the ATLAS.ti v 24 software. Once the thematic categories were identified, axial coding was carried out, which allowed establishing relationships between the different categories and delving into how knowledge of the teacher is reflected in his pedagogical practice. According to the analysis carried out, it is concluded that the knowledge that the teacher has in mathematics and its teaching method is closely related to the didactics they use to teach the subject. However, it is observed that teachers have the notion of Common Content Knowledge, but when transposing to teaching their didactics is limited, they refer to the use of specific material but are not clear in the strategy (Specialized Content Knowledge). To be used to resolve certain issues. Finally, it is important to standardize these types of content, to train university professionals who join teaching in basic education.

Keywords: Specialized knowledge, didactics, teaching-learning, mathematical model.

1. Introducción

Las matemáticas desempeñan un papel fundamental en la formación educativa de los estudiantes, ya que son una herramienta esencial para desarrollar habilidades lógicas, analíticas y de resolución de problemas. Desde la educación primaria, se busca que los estudiantes adquieran una comprensión profunda de conceptos aritméticos, algebraicos y geométricos, que les permitan interpretar y solucionar problemas en su vida cotidiana. Sin embargo, los resultados de la prueba Plan Nacional para la Evaluación de los Aprendizajes (PLANEA), de 2018 en matemáticas, muestran que el 59 % de la población nacional se colocó en el NI (dominio insuficiente) al 1) Resolver operaciones básicas, es decir, suma, resta, multiplicación y división con números naturales, 2) calcular perímetros en figuras regulares y 3) interpretar gráficas de barras.

El Estado de México, entidad a la cual donde pertenecen las escuelas donde se realiza la

presente investigación, se colocó en el lugar 22 de las 32 entidades federativas con 513 puntos en matemáticas, ligeramente arriba de la media. Concretamente las tres escuelas de la zona escolar P111 turno vespertino, ubicadas en Tlalnepantla de Baz, obtuvieron NI en matemáticas (INEE, 2018) con los siguientes datos:

- Escuela Benito Juárez con clave del centro de trabajo (CCT) 15EPR0953U, obtuvo un 77.3%.
- Escuela Adolfo López Mateos, CCT 15EPR1656A, 74.3%.
- Escuela Juan Escutia, CCT 15EPR2815F, con el 69.6%.

Esto también evidencia una problemática más profunda relacionada con la formación y preparación de los docentes encargados de impartir la asignatura. Los modelos de conocimiento para la enseñanza de las



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

matemáticas, como los propuestos por Shulman (1986), Ball (2008) y Godino (2009) subrayan la importancia del "Conocimiento Pedagógico del Contenido", el cual integra tanto el dominio de los conceptos matemáticos como las estrategias didácticas adecuadas para su enseñanza. Según estos modelos, un docente competente no solo debe entender los principios matemáticos, sino también ser capaz de anticipar las dificultades de los estudiantes y adaptar su metodología de enseñanza a las necesidades del aula.

En Chile, Pichiera y Vásquez (2018) realizan la investigación *Conocimiento didáctico – matemático para la enseñanza de la Matemática elemental en futuros profesores de educación básica: diseño, construcción y validación de un instrumento de evaluación*, bajo un enfoque Ontosemiótico considerando los cuatro ejes del currículo chileno para educación básica: Números, Geometría, Álgebra y Datos-azar y aterrizándolo las siguientes habilidades: resolución de problemas, representar-modelar, argumentar y comunicar.

El Enfoque Ontosemiótico (EOS) establece una serie de conocimientos y fases que se relacionan para la óptima enseñanza de las matemáticas, bajo el Modelo de Conocimiento Didáctico Matemático (CDM). Los componentes del CDM propuestos por Pino y Godino (en Gonzáles y Eudave, 2018) se muestran en la Tabla 1.

Estas dos grandes dimensiones (Matemática y Didáctica) son tratadas bajo la fase Epistémica. Es decir, incluye un conocimiento para la enseñanza, esto es, un profesor debe ser capaz de resolver una tarea siguiendo diversos procedimientos y acciones, lo que implica contar con varias maneras de representar un objeto matemático, además, debe de disponer de distintos argumentos y justificaciones al momento de resolver una tarea matemática (González y Eudave, 2018, p. 38). Conocimientos matemáticos relativos al contexto institucional en que se realiza el proceso de estudio y la distribución en el tiempo de los diversos componentes del contenido (problemas,

lenguaje, procedimientos, definiciones, propiedades, argumentos) (Pinchiera y Vásquez, 2018, p.27).

En el caso de nuestro país el plan y programa de educación básica para la asignatura de matemáticas, consta de tres estándares curriculares que pretenden utilizar los conocimientos matemáticos en las áreas de: 1) sentido numérico y pensamiento algebraico; 2) forma, espacio y medida; 3) manejo de la información. Con la intención de que los alumnos sepan comunicar e interpretar cantidades con números, enteros y decimales, resuelvan problemas mediante algoritmos convencionales, utilicen sistemas de referencias para ubicar puntos en un plano o interpretar mapas y lleven a cabo procesos de recopilación, organización, análisis y presentación de datos (Secretaría de Educación Pública [SEP], 2022, p. 63).

Considerando las similitudes entre el currículo de educación básica chilena y en México, se retoma esta investigación como base para el desarrollo de esta propuesta.

En México la institución encargada de formar a los futuros docentes son las Escuelas Normales. En la ciudad de México la, Benemérita Escuela Normal para Maestros (BENM) bajo la coordinación de la Dirección General de Educación Superior para el Magisterio (DGEsUM) se tiene acceso a los planes y programas de estudio para la Licenciatura en Educación Primaria. En la Tabla 2 se muestran los elementos más sustanciales de cada plan de estudios de la Licenciatura en Educación Primaria que se consideraron para esta investigación.

Las estrategias para el abordaje de las unidades temáticas son el desarrollo de situaciones didácticas en los programas tienden a que el futuro docente sea un agente activo en el proceso de resolución y aprendizaje lo cual le permitirá desarrollar habilidades conceptuales, procedimentales y actitudinales (CEVIE, 2024) Continuando con el Enfoque Ontosemiótico EOS cabe mencionar la idoneidad didáctica en un



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

proceso de instrucción, este concepto debe entenderse como lo óptimo y adecuado para que tanto los significados logrados por los que aprenden (estudiantes) se vean correspondidos con los significados pretendidos o implementados de los que enseñan (docentes) considerando las

variables del entorno considerando tanto recursos como circunstancias (Font, 2018). Esta idoneidad está dada por las seis fases ya mencionadas: epistémica, cognitiva, interaccional, mediacional, afectiva y ecológica.

Tabla 1. Componentes del Conocimiento Didáctico Matemático. Basado en Pino y Godino, 2015.

Dimensión	Tipo de conocimiento	Definición	Subcategoría	Faceta
Matemática	Conocimiento Común del Contenido (CCC)	Conocimiento sobre un objeto matemático concreto que se considera suficiente para resolver problemas o tareas propuestas en el currículo de matemáticas.		
	Conocimiento Ampliado del Contenido (CAC)	Se refiere al conocimiento que tiene el profesor acerca de las nociones matemáticas que se están estudiando y su relación o vinculación con otros cursos de la currícula.		
Didáctica	Conocimiento Especializado (CE)	Capacidad de un profesor de identificar el conocimiento presente ante una determinada situación problemática en relación con su contenido. Se fundamenta en procesos de instrucción matemática.	Conocimiento del Contenido en relación con el Estudiante (CCEst). Capacidad de un profesor para describir los tipos de configuraciones cognitivas que presentan los estudiantes al resolver un problema, describir los conflictos de aprendizaje que presentan los estudiantes y las estrategias que puedan emplear para dar solución a un problema.	Cognitiva. Conocimiento acerca de las características y formas de pensar, conocer y actuar de los estudiantes, esto permite planificar la enseñanza considerando los conocimientos previos de los alumnos e infiriendo su zona de desarrollo próximo.
			Conocimiento del Contenido en relación con la Enseñanza (CCen). La reflexión que realiza el profesor acerca del proceso de Enseñanza-Aprendizaje (E-A), y la identificación de consecuencias que pueden tener sobre el aprendizaje los modelos de la clase.	Afectiva. Conocimientos necesarios para comprender y tratar los estados de ánimo de los estudiantes.
			Conocimiento del Contenido en relación con el currículum (CCcu). Tiene relación con el contexto donde se desarrolla el proceso de E-A, incluye la fase:	Interaccional. Conocimientos para establecer, realizar y valorar las interacciones en el proceso de aprendizaje matemático, en las relaciones maestro-alumno, alumno-alumno, alumnos-contenido y profesor-alumno-contenido.
				Mediacional. Conocimientos para prever, emplear y valorar los diversos recursos materiales o tecnológicos que favorecen el aprendizaje.
				Ecológica. Conocimientos del profesor acerca del currículo del nivel educativo en el que se desempeña y las relaciones con otros currículos, así como con aspectos sociales, políticos y económicos que condicionan la enseñanza y aprendizaje matemático.



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

Tabla 2. Planes de Estudio 2012 y 2018. Educación Normal. Basado en DGEsUM, 2024 (a b,c,d,e).

Plan	Asignatura	Asignatura
2012	Aritmética: su enseñanza y aprendizaje	De los números en contexto a su fundamentación conceptual
		Problemas de enseñanza relacionados con las operaciones aritméticas
		Aspectos didácticos y conceptuales de los números racionales y los números decimales
		Desarrollo del razonamiento proporcional
	Álgebra: su enseñanza y aprendizaje.	Acercamiento a los conceptos función y ecuación
		Comportamiento de funciones lineales, cuadráticas y racionales
		Procedimientos para operar con expresiones algebraicas y resolver ecuaciones
	Geometría: su enseñanza y aprendizaje.	Forma y espacio
		Medida y cálculo geométrico
		La geometría como objeto de enseñanza en la escuela primaria
	Procesamiento de información estadística	Estadística
		Probabilidad y muestreo
		Inferencia Estadística
		Vinculación con el eje manejo de la información
2018	Aritmética. Números naturales	La aritmética, su enseñanza y aprendizaje en el plan y programas de estudios de educación primaria
		Estrategias de enseñanza aprendizaje para el desarrollo del concepto de número y el sistema numérico decimal
		Estrategias de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo del sentido numérico al resolver problemas de suma y resta con números naturales
		Estrategias de enseñanza aprendizaje para el desarrollo del sentido numérico al resolver problemas de multiplicación y división con números naturales
	Aritmética. Números decimales y fracciones	Las fracciones, su enseñanza y aprendizaje en el Plan y programas de estudio de educación primaria
		Estrategias de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo del concepto de fracción y sus operaciones
		Los números decimales, su enseñanza y aprendizaje en el Plan y programas de estudio de educación primaria
		Estrategias de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo del concepto de número decimal y sus operaciones
	Álgebra	Contextualización profesional: Álgebra en la educación primaria
		Conocimientos matemáticos
		Álgebra y su didáctica
	Geometría	¿Para qué enseñar Geometría en la educación primaria?
		La Geometría en el aula
		Materiales didácticos y actividades para practicar en el aula.
	Probabilidad y estadística	Imágenes que dicen mucho: estadística descriptiva
		Quién participa: La muestra sí importa
		Prediciendo el futuro: la probabilidad y su aplicación en la educación



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

Los conceptos de idoneidad y competencia están relacionados ya que un buen docente de matemáticas movilizara habilidades, conocimientos y actitudes en la solución de un problema, (hito central del EOS) tanto por la competencia matemática propia del problema como por su intervención didáctica al diseñar, aplicar, valorar secuencias de aprendizaje propias o de otros, mediante de técnicas y análisis de calidad que a su vez le permitan implementar mejoras llegando así a una dimensión meta didáctica-matemática del propio Conocimiento Didáctico Matemático (Font, 2018).

Este estudio tiene como objetivo determinar el conocimiento que posee el docente en el área de las matemáticas y su forma de enseñanza por medio de la recolección y análisis del contenido para proponer una mejora en la didáctica. Partiendo del supuesto que, si al identificar el conocimiento que posee el docente en matemáticas y su forma de enseñanza, se conocerán las áreas de oportunidad en los profesores de las escuelas turno vespertino (en lo sucesivo T.V) de la zona escolar P111.

2. Materiales y métodos

Como se mencionó previamente parte fundamental de esta investigación es el trabajo realizado por Pincheira y Vásquez (2018) el instrumento generado de dicho proyecto fue el que se retomó para este trabajo. El instrumento original está conformado por seis situaciones problemáticas las cuales abordan los ejes temáticos del currículo de educación básica chileno, cada uno de estos planteamientos tiene preguntas que buscan indagar sobre el conocimiento común, ampliado y especializado del docente en el plano didáctico-matemático.

El instrumento original fue sometido a juicio de expertos para su validación y objetivación en esta investigación, los cuales propusieron dos planteamientos más, que abordan temas de porcentaje y recta numérica mismos que forman parte del plan y programa de estudio de educación básica en nuestro país. Se trabajaron y revisaron por los expertos los nuevos reactivos y

fueron aceptados. De tal manera, que el instrumento aplicado a las docentes consta de ocho situaciones problemáticas que abarcan los ejes curriculares de matemáticas para la educación básica.

En este sentido y de acuerdo con Pincheira y Vásquez (2018) tanto los planteamientos como las preguntas derivadas de los mismos permiten evaluar las categorías y subcategorías del conocimiento didáctico-matemático, de ahí que aquellas que impliquen “resuelva el problema planteado” evaluarán el conocimiento común del contenido (CCC); aquellas que impliquen “¿Con qué conceptos más avanzados del currículo...?” hacen referencia al conocimiento ampliado del contenido (CAC); “¿qué conceptos y/o propiedades matemáticas deben usar los alumnos...?” para evaluar el conocimiento especializado (CE); cuando se solicite “describa las posibles dificultades presentes en las respuestas incorrectas” para evaluar el conocimiento del contenido en relación a los estudiantes (CCest); al cuestionar ¿Qué estrategias utilizaría como profesor...? Para evaluar el conocimiento del contenido en relación con la enseñanza (CCen); y finalmente con “¿Para qué curso considera usted...?” evaluará el conocimiento del contenido en relación con el currículo (CCcu) (Pincheira y Vásquez, 2018). En el Anexo 1 se presenta el instrumento utilizado.

Para llevar a cabo esta investigación, se empleará una metodología de corte cualitativo. Este enfoque permitirá obtener una comprensión integral del conocimiento que poseen los docentes de matemáticas de sexto grado y cómo este influye en su enseñanza. Las preguntas de la entrevista están diseñadas para explorar cómo los docentes abordan la enseñanza de conceptos matemáticos, cómo adaptan su enseñanza a las necesidades de los estudiantes, y qué estrategias emplean para fomentar el pensamiento matemático. Esta técnica cualitativa permitirá profundizar en la experiencia de los docentes y conocer de primera mano sus percepciones sobre la enseñanza de las matemáticas. El instrumento fue aplicado mediante un formulario de Google,



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

dicho formulario constaba de tres partes: La primera, a manera de introducción e indicaciones para el llenado del cuestionario: La segunda hace una recogida de datos generales sobre el participante y la tercera ya es el instrumento como tal.

El análisis cualitativo se centrará en los datos obtenidos a través de las entrevistas semiestructurada. A partir de las respuestas enviadas se generó un documento en Excel el cual fue importado al software ATLAS.ti v 24 donde las fuentes de información se clasificaron y agruparon, posteriormente se identificaron las citas para relacionarlas, con los códigos que previamente se habían creado a partir de los constructos que guían esta investigación y obtener así las redes del análisis del contenido respecto de las respuestas de las informantes clave, lo cual permitió adentrarse en la manera en que el conocimiento del docente se refleja en su práctica pedagógica.

El análisis de contenido será la principal herramienta metodológica para procesar esta información. En este proceso, primero se llevará a cabo una codificación abierta, donde se identificarán y agruparán las principales temáticas relacionadas con las percepciones y prácticas docentes. Estas temáticas podrían incluir aspectos como las estrategias didácticas utilizadas, los recursos pedagógicos empleados, las dificultades percibidas por los docentes al enseñar matemáticas, y las formas en que adaptan su enseñanza a las necesidades de sus estudiantes.

Una vez identificadas las categorías temáticas, se procederá a una codificación axial, que permitirá establecer relaciones entre las distintas categorías y profundizar en cómo el conocimiento del docente se refleja en su práctica pedagógica.

3. Resultados y discusión

Por lo que respecta a los datos generales. Todas las informantes son mujeres. Dos de las informantes son egresadas de la Universidad

Nacional Autónoma de México (UNAM), de diferentes sedes, pero con la licenciatura en Pedagogía, solo una de las tres, es egresada de una Escuela Normal de Especialización, ninguna tiene un estudio superior a la licenciatura y sus años de servicio tienen una media de 19 años. En lo referente a los planteamientos se observa:

En la dimensión matemática. Comprende el Conocimiento Común del Contenido (CCC) y el Conocimiento Ampliado del Contenido (CAC), cuyo objetivo particular es identificar si el docente posee los conocimientos matemáticos suficientes para impartir la clase en 6° grado de primaria.

Las respuestas proporcionadas en los subítems 2a, 5a, 7a y 7c que atienden justo al CCC, se identifica:

- Se establecieron veinticinco relaciones entre los informantes y el Conocimiento Común del Contenido (CCC), esto refiere que las docentes saben identificar los Ejes Curriculares Del Plan De Estudios Para La Enseñanza De Educación Básica 2011, referentes a: 1) Sentido numérico y pensamiento algebraico, 2) forma espacio y medida y 3) manejo de la Información.
- Capacidad para resolver y argumentar la solución a secuencias matemáticas.
- Reconocimiento de medidas de tendencia central.
- Resolución de problemas que implican más de una operación.

Es decir, las docentes saben de matemáticas, dominan lo que estos subtemas ponderan, e incluso en sus respuestas se aprecia una cierta forma de trabajo y de resolución de problemas, haciendo referencia en parte la didáctica que emplean con sus estudiantes. Esto indica que el nivel de los docentes en relación con el CCC es óptimo.

Por lo que respecta al Conocimiento Ampliado del Contenido (CAC) a los subtemas 6c y 8b, se obtuvo por parte de los docentes lo siguiente:



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

- Existen seis relaciones entre los informantes y el Cocimiento Ampliado del Contenido (CAC), es decir las docentes pudieron identificar correctamente como se vincula un contenido de un grado específico en relación con toda la malla curricular de la educación primaria. Identificaron que los problemas de porcentaje y regla de tres corresponden a quinto y sexto de primaria; así como, que el reconocimiento y manejo de las fracciones se inicia en segundo grado y se consolidan en quinto año.
- Que las complejidades de los planteamientos corresponden a niveles superiores, así como a los temas con los que puede relacionarse en el futuro inmediato de la educación básica.
- Las tres participantes reconocen explícitamente que conceptos de medición y figuras geométricas y recta numérica se pueden abordar desde los primeros años, sin embargo, estos se ven a lo largo de los seis años con diferente grado de complejidad.

Finalmente, en los planteamientos donde tenían que adjuntar evidencia sobre la resolución de un problema las informantes 2 y 3 muestran mayor estructura y secuenciación en la resolución de los mismos, en ambos casos el procedimiento para llegar al resultado es muy similar. Ambas subrayan los datos en el problema, los escriben en un apartado, posteriormente realizan algún tipo de representación gráfica dibujos que dan cuenta de la situación planteada, posteriormente realizan la operación y dan el resultado numérico de acuerdo a lo preguntado en el problema, todo de manera muy estructurada y esquemática.

En la dimensión didáctica. Para el segundo constructo Enseñanza de las Matemáticas, comprende la dimensión del Conocimiento Especializado (CE) y a las subcategorías Conocimiento del Contenido en relación con los Estudiantes (CCest), Conocimiento del Contenido con relación a la Enseñanza (CCen) y al Conocimiento del Contenido en relación al currículo (CCcu), los cuales pretenden dar cuenta

sobre determinar la forma de enseñanza en las matemáticas de los profesores que imparten 6° grado de primaria.

En el Conocimiento Especializado (CE) que es aquel que debe manejar un profesor, se identificaron 18 relaciones, es decir, que las participantes cuentan con las habilidades y manejo de la información pertinente para enseñar matemáticas, esto respecto en la capacidad de las docentes en la identificación del contenido, las posibles respuestas a dar por los estudiantes, el tema o contenido que debe abordarse en determinado planteamiento, como llevar un conocimiento común a una forma de enseñanza así como los conocimientos previos con los que se necesita contar para que el nuevo aprendizaje se consolide, en este mismo sentido la manera de evaluar y constatar que el conocimiento fue aprehendido por el estudiante así como las diversas maneras de llegar a un resultado para el caso de Los subtemas 1a,1b,4d,6b,7b y 8c, las tres docentes dan muestra de conocer los temas, poderlos vincular con las posibles respuestas, así como la manera de constatar el logro del aprendizaje, las respuestas obtenidas se complementan y coinciden entre sí, lo cual es un reflejo de que los informantes cuentan con Conocimiento Especializado, al menos en lo que respecta a estos ítems, de manera parcial.

El Conocimiento del Contenido en relación con los Estudiantes (CCest) está vinculado estrechamente con la Faceta Cognitiva y Afectiva, entendida como la capacidad de un profesor para describir los tipos de configuraciones cognitivas que presentan los estudiantes al resolver, un problema, describir los conflictos de aprendizaje que presentan los estudiantes y las estrategias que puedan emplear para dar solución a un problema. Conocimiento del Contenido con relación al Estudiante (CCest), con 21 relaciones sobre la capacidad de los informantes para identificar las configuraciones cognitivas de los estudiantes al resolver un problema, así como las dificultades que pueden presentar y las estrategias que podrían emplear para



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

solucionarlo. Para el caso de los reactivos 1c,2b,3a,4c,5c,7d y 8a las docentes entrevistadas dan cuenta parcialmente de identificar el estadio cognitivo de los estudiantes en relación con el planteamiento a desarrollar, de la misma manera solo una de las tres informantes es capaz de describir el porqué de las respuestas o dificultades que pueden presentar los estudiantes al abordar determinados temas, lo cual también podría ser un reflejo de la comprensión que ellas mismas tienen sobre el tema, o bien de su forma de enseñar. Una constante en las informantes clave es que tienen muy presente la gradualidad de los contenidos, lo que corresponde a cada ciclo escolar, sin embargo, relatan la necesidad de siempre identificar los conocimientos previos para de ahí iniciar el tema. Razón por la cual todas consideran al juego como una herramienta imprescindible para determinar un buen punto de partida ya que además del estadio cognitivo de los niños también, proporciona información sobre el manejo del tema. Otro factor para destacar es que además de las cuestiones matemáticas hacen referencia a la poca comprensión lectora que puede tener el estudiante al momento de darles un problema, así como a otros factores externos que efectivamente pueden limitar o condicionar un buen aprendizaje, estos factores del contexto tales como memoria, atención y concentración.

El Conocimiento del Contenido en relación con la Enseñanza (CCen) hace referencia con la faceta interaccional y mediacional, esto es la interacción entre el profesor y el estudiante y la secuencia orientada a la negociación de los significados, además de los recursos tecnológicos, la asignación de tiempo para los procesos. Por lo tanto, es la reflexión que realiza el profesor acerca de la Enseñanza-Aprendizaje, y la identificación de consecuencias que pueden tener sobre el aprendizaje los modelos de la clase. El Conocimiento del Contenido con relación a la Enseñanza (CCen), veintidós relaciones que invitan a la autorreflexión de las informantes sobre como abordan los contenidos y la consecuencia de ello en los estudiantes, es decir, como son mediadores entre el contenido y los

estudiantes, la interacción e interactividad entre el estudiante, grupo-clase, profesor-alumno, alumno-alumno y profesor-contenido-alumno. Bajo esta directriz las respuestas a los subítems 1d,2d,3b, 4a, 6a,7e y 8d, las informantes clave dan cuenta de sus estrategias y maneras de abordar los contenidos, se observa que la informante uno se limita a proporcionar conceptos lo cual no brinda información suficiente para poder identificar sus estrategias de enseñanza.

Las informantes dos y tres proporcionan más información y tienen coincidencia en el uso de material concreto para el abordaje de los diferentes temas planteados, consideran que antes de la abstracción es menester la manipulación con materiales que van desde hojas de colores, material de reciclaje y objetos del entorno. Un factor que consideran necesario para la enseñanza de las matemáticas son las instrucciones que deben darse, la forma clara y precisa, así como determinada estructura ante la solución de un problema, tal como lectura reiterada del problema, identificar datos, realizar dibujos, considerar diferentes procesos para llegar a una solución, operaciones, hacer preguntas sobre lo solicitado. Otro factor de coincidencia en las tres docentes es que en ocasiones se tiene que reforzar un tema previo para abordar el nuevo, dada la complejidad del mismo. Una última coincidencia entre las tres docentes es la activación de conocimientos previos por medio de preguntas detonadoras, de hecho, el hacer preguntas a lo largo de los planteamientos y sobre los planteamientos mismos les permite tener un panorama sobre la conducción de su clase y la comprensión por parte de los estudiantes.

En lo que respecta al Conocimiento del Contenido con relación al currículo (CCcu) este tipo de contenido reconoce a que fase, grado o curso pertenece el contenido, más de manera horizontal que vertical respecto del currículo escolar, se refiere a la gradualidad y complejidad del tema en relación con los otros contenidos del mismo curso y/o en relación con otros grados. El



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

Conocimiento del Contenido en relación con el Currículum (CCcu), doce relaciones en función a la identificación y contextualización de dónde se desarrolla el proceso de Enseñanza-Aprendizaje y además la capacidad y conocimiento del docente para identificar la gradualidad de un contenido, su transversalidad y reconocimiento de temas por grado y ciclo. De los subtemas correspondientes a este conocimiento se identifica que las tres profesoras puedan identificar claramente con que otros grados se retoma el aprendizaje por el cual se les cuestionó, así como la relación con otros contenidos dentro del mismo ciclo. Por ende, se concluye que identifican pertinentemente la complejidad de los contenidos tanto para primaria baja como alta.

Las anteriores relaciones se pueden sintetizar de alguna manera con la siguiente nube de conceptos y la distribución de códigos generada por ATLAS.ti v. 24 a partir de la codificación de las entrevistas de los informantes clave. En la Figura 1 se puede apreciar la codificación de los constructos y los temas que los conforman, que para mayor apreciación cada uno se le asignó un color, también se registra la frecuencia de cada uno de ellos. Como su nombre lo indica son las palabras más recurrentes y con algún tipo de relación que emplearon las informantes clave al argumentar sus respuestas.

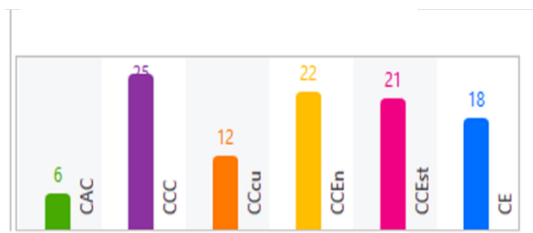


Figura 1. Distribución de códigos.

A partir de las respuestas proporcionadas por las docentes se logra identificar el dominio de los ejes temáticos presentes en los ítems del cuestionario (dígase: números y operaciones, patrones y álgebra, geometría, medición, datos y probabilidades) los cuales a su vez dan cuenta del CCC, CAC y del CE que posee la docente. Destacando que de la misma manera que el

estudio realizado por Pincheira y Vásquez (2018), las docentes cuentan con un buen nivel en el conocimiento común del contenido al abordar los ejes de números y operaciones, álgebra y patrones numéricos; sin embargo, pese a identificar el conocimiento en relación al currículo existe discrepancia en el conocimiento especializado y en el conocimiento ampliado del contenido, pues se identifica un nivel bajo respecto del uso y manejo adecuado de estrategias didácticas en áreas como medición.

Lo anterior coincide con el estudio realizado por Batista (2022) "Conocimiento didáctico-matemático movilizado por futuros profesores de matemáticas", al concluir que el análisis de los datos, realizado a partir de las dimensiones matemática y didáctica del modelo de Conocimiento Didáctico-Matemático (CDM), reveló que los futuros profesores movilizaron satisfactoriamente el conocimiento común del contenido matemático y, parcialmente, el conocimiento ampliado.

Los profesores que participaron del estudio presentan un buen desarrollo del conocimiento común del contenido, sobre matemáticas elementales, pues son capaces de resolver y dar respuesta a las situaciones problemáticas de enseñanza planteada, identificar un patrón y determinar el término de una secuencia, a su vez, son capaces de identificar de buena manera la representación pictórica de las fracciones, como también, explicar de manera total o parcial el concepto de media aritmética. Las dificultades más notorias presentes en el conocimiento especializado del contenido tienen relación con los conocimientos que se ponen en juego desde la faceta interaccional, como lo es la organización de tareas matemáticas, interacciones establecidas dentro del aula, estrategias utilizadas y resolución de dificultades. Así también, se obtuvieron bajos resultados en los conocimientos que se establecen desde la faceta mediacional. Estos son los relacionados con los conocimientos que deben tener los futuros profesores respecto de los recursos adecuados, para favorecer el aprendizaje de los estudiantes, de acuerdo con los distintos escenarios y



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

contenidos a enseñar que deba enfrentar el profesor (Pincheira y Vásquez, 2021).

Ahora bien, la gran mayoría de los artículos revisados hacen referencia al conocimiento docente de futuros profesores, sin embargo, para el caso de esta investigación las profesoras en servicio tienen varios de experiencia lo cual no lleva a un aspecto hasta ahora poco mencionado, en esta investigación, y es la dimensión meta-didáctica-matemática. Considerando que el docente es un sujeto, reflexivo, racional, que toma decisiones, emite juicios, tiene creencias y genera rutinas propias de su desarrollo profesional y que los pensamientos del profesor influyen en su conducta y la determinan, el docente debe de tener las bases necesarias para reflexionar sobre su propia práctica, generando así criterios de idoneidad, a través de la evaluación y reflexión de la práctica en los procesos de enseñanza-aprendizaje (Pino y Godino, 2015).

La relación entre idoneidad y competencia sucede ya que, un buen docente de matemáticas movilizará habilidades, conocimientos y actitudes en la solución de un problema (hito central del EOS) tanto por la competencia matemática propia del problema como por su intervención didáctica al diseñar, aplicar, valorar secuencias de aprendizaje propias o de otros, mediante técnicas y análisis de calidad que a su vez le permitan implementar mejoras llegando así a una dimensión meta didáctica-matemática del propio Conocimiento Didáctico Matemático. Podría resumirse que la didáctica de las matemáticas está conformada por el conocimiento disciplinar, las estrategias, recursos, etc., propios de la intervención didáctica y de la meta didáctica-matemática (Font, 2018).

Enseñar matemáticas requiere mucho más que el dominio del contenido es imperante contar con estrategias que garanticen una asimilación de situaciones intangibles, si bien el material didáctico es un recurso de mayor o igual importancia lo es la estrategia que diseña el

docente para que manipulación de los objetos tenga sentido y razón de ser.

Al respecto, debe entenderse como criterio sistémico para el diseño, implementación y valoración de la enseñanza, mediante seis idoneidades parciales (epistémica, ecológica, cognitiva, afectiva, interaccional y mediacional) (Godino, 2013). Y en este mismo sentido cabe mencionar la relevancia que tiene diseño y análisis de tareas para el desarrollo del conocimiento didáctico-matemático. Watson y Mason (en Godino, 2013 p.2) mencionan que Tarea en el sentido amplio incluye la actividad que resulta cuando los aprendices se comprometen con una tarea, incluyendo cómo alteran la tarea con el fin de darle sentido, las maneras en que el profesor dirige y reorienta la atención del aprendiz hacia los aspectos que surgen, y cómo los aprendices son estimulados para reflexionar o aprender a partir de la experiencia de comprometerse en la actividad iniciada por la tarea.

El uso de recursos materiales y tecnológicos en el diseño e implementación de tareas para el estudio matemático es también un componente clave en los procesos de enseñanza y aprendizaje, como se reconoce en las directrices curriculares y los resultados de investigaciones didácticas. Este componente está contemplado en el EOS desde un punto de vista epistemológico: tales medios son concebidos como “objetos que intervienen en la práctica matemática” y, por tanto, hacen posible la práctica al tiempo que la condicionan (Godino, 2013).

Toda esta actividad analítico-reflexiva pone en juego el sistema de conocimientos didáctico-matemáticos sobre la resolución de problemas que el profesor de matemáticas debe conocer, comprender, saber aplicar y apreciar para una enseñanza de las matemáticas con alta idoneidad didáctica. Así, los componentes del CDM, y sus respectivas herramientas de análisis, son útiles para describir y caracterizar minuciosamente los conocimientos iniciales de los profesores durante las fases de estudio preliminar, planificación,



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

implementación y evaluación, de procesos de instrucción sobre objetos matemáticos específicos; y elaborar, posteriormente, ciclos formativos para potenciar y desarrollar los conocimientos contemplados con cada una de las componentes del CDM. Por otra parte, el estudio y adaptación de los criterios de idoneidad (que posibilitan la reflexión de los profesores sobre su propia práctica) a la complejidad intrínseca de objetos matemáticos concretos, es una línea de investigación abierta (Pino y Godino, 2015).

Los constructos y sus respectivos temas que los conforman son los nodos centrales, que de acuerdo con la codificación realizada se establecen las relaciones de apoyo, exclusión y concordancia entre las respuestas de las informantes clave y lo que se buscaba conocer por medio de los ítems.

4. Conclusiones

A partir de los hallazgos encontrados, se acepta que al identificar el conocimiento que posee el docente en el área de las matemáticas y su forma de enseñanza, se tiene una estrecha relación en la didáctica que emplean para la enseñanza de la asignatura, la cual es flexible y tiende a ser modificada de acuerdo con las necesidades de los estudiantes.

En este mismo sentido se identificó que las docentes poseen conocimientos matemáticos suficientes para impartir la clase, sin embargo, tienen un nivel de desempeño limitado respecto del conocimiento didáctico-matemático y con mayor dificultad en temas de probabilidad, datos y medición. Lo cual concuerda con el estudio de Pincheira, Vásquez y Giacobone (2021), de manera tal que es necesario generar programas de formación para el profesorado para abordar de manera exitosa la enseñanza de las matemáticas elementales en educación básica. Los docentes saben matemáticas, pero al momento de transportarlo a la enseñanza su didáctica es limitada, refieren el uso de material concreto, pero no son claras en la estrategia a emplear para resolver planteamientos que involucren estos temas.

Una arista para considerar en los resultados de esta investigación es el hecho de que, se aborda la formación docente considerando que fueron capacitados bajo los planes y programas de la Escuela Normal para Maestros, sin embargo, las informantes clave no cumplen con este parámetro. Aun así, los resultados obtenidos proporcionan información suficiente para los constructos establecidos en esta investigación, sus años de servicio y la experiencia que han logrado adquirir a lo largo de estos, pueden ser factores que ayuden al dominio del Conocimiento Especializado y las subcategorías que lo conforman.

Referencias

1. Ball, D. y Phelps, G. (2008). Content Knowledge for Teaching What Makes it Special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389-407.
<https://doi.org/10.1177/0022487108324554>
2. Centro Virtual de Innovación Educativa – CEVIE- (2024). DGEsUM. Planes de Estudio 2018 Primaria. Recuperado el 01 de agosto de 2024 de <https://www.cevie-dgesum.com/index.php/planes-de-estudios-2018/124>
3. Cevallos, C. y Romero, O. (2020). Conocimiento didáctico del Contenido y Formación del Profesorado: El Programa de L. Shulman. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(10), 539-550.
4. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2022d). Planes de Estudio 2022. Licenciatura en Educación Primaria.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/planes2022/UNTvn2CGAm-4416.pdf>
5. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2022e).



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

- Planes de Estudio 2022. Licenciatura en Educación Primaria.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/planes2022/8Frr8d5vYP-4425.pdf>
6. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2022f). Planes de Estudio 2022. Licenciatura en Educación Primaria.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/planes2022/S3FzpzK4JH-4433.pdf>
7. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2022g). Planes de Estudio 2022. Licenciatura en Educación Primaria.
https://www.dgesum.sep.gob.mx/public/rc/programas/lepri/procesamiento_de_informacion_estadistica_lepri.pdf
8. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2024a). Planes de Estudio 2018. Licenciatura en Educación Primaria. Aritmética, números naturales.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/Planes%202018/LePri/BxZXK9rf40-LePri104.pdf>
9. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2024b). Planes de Estudio 2018. Licenciatura en Educación Primaria. Aritmética, números decimales y fracciones.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/Planes%202018/LePri/U4OfMksi5G-LePri203.pdf>
10. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2024c). Planes de Estudio 2018. Licenciatura en Educación Primaria. Álgebra.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/Planes%202018/LePri/7L4BW7wb7j-LePri303.pdf>
11. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2024d). Planes de Estudio 2018. Licenciatura en Educación Primaria. Geometría.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/Planes%202018/LePri/jN9slbVIOT-LePri404.pdf>
12. Dirección General de Educación Superior para el Magisterio – DGEsUM- (2024e). Planes de Estudio 2018. Licenciatura en Educación Primaria. Probabilidad y Estadística.
<https://dgesum.sep.gob.mx/storage/recursos/Planes%202018/LePri/vTHBaKmBq4-LePri504.pdf>
13. Font, V. (2018). Competencias y Conocimiento del profesor de Matemáticas. Un Modelo basado en el Enfoque Ontosemiótico. Acta Latinoamericana de Matemática Educativa. El Pensamiento del Profesor, sus Prácticas y Elementos para su Formación Profesional. Barcelona, Clame. 749-756.
14. García, M. y Ramos, J. (2020). Perfil emocional de docentes en matemáticas. UNICIENCIA.34 (2), 137-152.
15. Gobierno de México. (2022). Plan Nacional para la Evaluación de los Aprendizajes (Planea). Recuperado el 02 de noviembre de 2022, de <http://planea.sep.gob.mx/bienvenida/>
16. Godino, J. (2004). Didáctica de las Matemáticas para Maestros. Manual para el estudiante. Proyecto Edumat-Maestros. Facultad de ciencias de la Educación. Universidad de Granada. Distribución en internet, por <http://www.ugr.es/local/jgodino/edumat-maestros/>



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

17. Godino, J.D (2009). Categorías de análisis de los conocimientos del profesor de matemática. UNION, Revista Iberoamericana de Educación Matemática, 20, 13-31.
18. González, J., y Eudave-Muñoz, D. (2018). Modelos de análisis del conocimiento matemático y didáctico para la enseñanza de los profesores. Revista Iberoamericana de educación, 54,25-45.
19. Instituto Nacional de Evaluación Educativa – INEE- (2018). PLANEA. Resultados Nacionales 2018, 6° de primaria.http://planea.sep.gob.mx/content/general/docs/2018/RESULTADOS_NACIONALES_PLANEA2018_INEE.pdf
20. Moral Santaella, C. (2006). Criterios de validez en la investigación cualitativa actual. Revista de Investigación Educativa, 24(1), 147- 164.
21. Pincheira, N., Vásquez, C. y Giacomone, B. (2021). Una aproximación al conocimiento didáctico-matemático de futuros profesores de Educación Básica para enseñar matemáticas elementales. 35(2), 1-18.
22. Pincheira, N., y Vásquez, C. (2018). Conocimiento Didáctico-Matemático para la Enseñanza de la Matemática Elemental en futuros profesores de educación básica: diseño, construcción y validación de un instrumento de evaluación. Estudios Pedagógicos, XLIV (1), 25-48.
23. Pino- Fan, L. y Godino, J. (2015). Perspectiva ampliada del conocimiento didáctico-matemático del profesor. *Paradigma*, XXXVI (1), 87-109.
24. Pino, L y Godino, J. (2015). Perspectiva ampliada del Conocimiento Didáctico-Matemático del Profesor. *Paradigma*. XXXVI (1), 87-109.
25. Secretaría de Educación Pública –SEP-. (2011). Planes de Estudio. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/20177/Plan_de_Estudios_2011_f.pdf
26. Shulman, L. (1986). Those who Understand: Knowledge Grow in Teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
27. Shulman, L. (2019). Recuperando los clásicos. Aquellos que Entienden: Desarrollo del Conocimiento de la Enseñanza. Those who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación Docente.*, 23(3), 269-295.
28. Torres, R., Morales, L., y Cáceres, M. y. (2019). Validación de un instrumento para caracterizar el conocimiento didáctico del contenido del profesor de matemáticas. CONRADO. *Revista pedagógica de la Universidad de Cienfuegos*, 15(70), 267-273.
29. Zambrano, M. (2020). El perfil docente y la enseñanza de la matemática (Tesis de Maestría en Educación). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
30. Batista, L. A, Crisóstomo, E. y Macêdo, J. A. (2022). Conocimiento didáctico-matemático movilizado por futuros profesores de matemáticas. *Alteridad*, (17) 2, 194-207.
31. Pino- Fan, L. y Godino, J. (2015). Perspectiva ampliada del conocimiento didáctico-matemático del profesor. *Paradigma*. (XXXVI) 1, 87-109.



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

32. Godino, J. (2013). Diseño y análisis de tareas para el desarrollo del conocimiento didáctico-matemático de profesores. Revista de didáctica de la Estadística, (2), 1-15.

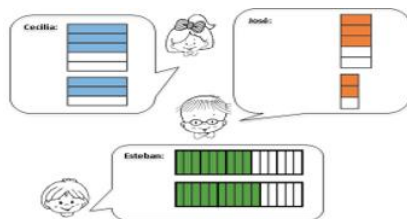


Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

Anexo 1. Instrumento. Basado en Pinchiera y Vásquez (2008).

1. La profesora de 6°A pidió a sus alumnos utilizar un diagrama para representar la adición de $\frac{2}{3} + \frac{3}{5}$. La mayoría de las respuestas que dieron los estudiantes son las siguientes:



Responda

- 1a. ¿Cuál o cuáles respuestas debiera aceptar el profesor como correctas? ¿por qué?
- 1b. ¿qué conceptos y/ o propiedades matemáticas deben tener los alumnos de la profesora de 6°A para dar una solución correcta?
- 1c. Describa las posibles dificultades presentes en las respuestas incorrectas que han llevado a los alumnos a responder de manera errónea.
- 1d. ¿Qué estrategias utilizaría usted como profesor para orientar a aquellos alumnos que no han sabido resolver el problema? Explique a detalle su respuesta.
- 1e. ¿Para qué curso considera pertinente este problema de acuerdo con el currículo actual?

2. La profesora Carla plantea el siguiente desafío a sus alumnos. Observe el patrón de la figura. Siguiendo la secuencia, ¿qué figura debería ubicarse en el lugar 23?



Responda

- 2a. Resuelva el problema planteado por la profesora Carla. Explique su respuesta.
- 2b. Describa las posibles dificultades presentes en las respuestas incorrectas que han llevado a los alumnos a responder de manera errónea.
- 2c. ¿Para qué curso considera usted pertinente este problema de acuerdo con el currículo actual?
- 2d. ¿Qué tipo de recurso utilizaría para representar el problema? Explique cómo lo utilizaría y justifique su elección.

3. Una profesora planteó la siguiente situación aditiva a sus estudiantes. "La tía María preparó 20 empanadas para vender en su negocio. Cuando cerró en la tarde le quedaban 5 empanadas. ¿Cuántas vendió? las respuestas se distribuyen de la siguiente manera:

- a. 5 respondieron 15 empanadas
- b. 18 respondieron 25 empanadas
- c. 3 respondieron 5 empanadas

Responda

- 3a. Señale las posibles dificultades presentes en las respuestas incorrectas.
- 3b. ¿Qué estrategia utilizaría para remediar los errores encontrados?



Artículo de investigación científica

Sandoval-Téllez, 2025

Continuación Anexo 1.

4. Con el fin de abordar el siguiente contenido: Reconocer y describir cuerpos geométricos en el entorno", usted quiere aprovechar la imagen del castillo que aparece en la figura



Responda

- 4a. Indique con qué estrategias conduciría a sus alumnos para que identifiquen los cuerpos geométricos presentes.
4b. ¿Para qué nivel escolar considera usted pertinente la situación problemática planteada?
4c. ¿Qué preguntas haría a sus alumnos?
4d. ¿Cómo evaluaría los aprendizajes logrados? Fundamente

5. En un texto escolar, recomiendan para calcular la media aritmética o promedio entre 4,3,6,5 y 2 construir torres formadas por 4, 3,6,5 y 2 bloques respectivamente, para luego redistribuir los bloques entre las 5 torres hasta que queden todas de la misma altura.

Responda

- 5a. Explique por qué esta altura común sería la media de los números dados.
5b. ¿En qué nivel escolar es útil esta representación de la media? Justifique.
5c. ¿Qué limitaciones tienen este procedimiento para calcular la media?

6. Se le pregunta al curso: "si el auto de la figura mide 3.5 metros, ¿cuánto mide el frente del edificio?"



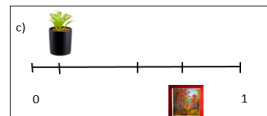
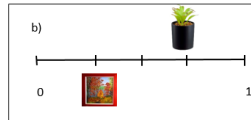
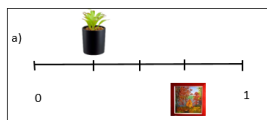
Un alumno señala: "profesor esto no se puede hacer sin regla"

Responda

- 6a. Considerando que el alumno se refiere a una regla graduada, diseñe una actividad breve que permita a los alumnos responder a la pregunta planteada.
6b. ¿De qué forma se podría aprovechar el problema para discutir acerca de cómo controlar los errores al medir?
6c. ¿Con qué conceptos más avanzados del currículo escolar relaciona el contenido involucrado en la resolución de este problema?

8. En la casa, hay una escalera que tiene diez escalones; se te ha encomendado colocar: a) una maceta en el tercer escalón; y b) un adorno en el séptimo. Sin embargo, primero te solicitan lo representes gráficamente con decimales en una recta numérica, con base en 1.

Observa las siguientes opciones y elige la correcta.



Responda

- 8a. ¿Cuál o cuáles son las posibles dificultades a las que se puede enfrentar el estudiante al resolver la actividad?
8b. ¿Qué conocimientos debe poseer el estudiante para poder resolver este planteamiento?
8c. ¿Cuáles son las posibles dificultades a las que se enfrentará el docente y cómo las resolverá?
8d. ¿Qué tipo de estrategia debe emplear el docente para explicar la representación gráfica?



Artículo de investigación científica <https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.5881> Brox, 2025

Recibido: 25-01-2025

Revisado: 26-02-2025

Aceptado: 13-03-2025

Publicado: 01-04-2025

Copper Mountain Mine tailings dam safety review supplement

Suplemento de la revisión de seguridad de la presa de relaves de la Mina Copper Mountain

Daniel Brox^{1,*}¹ Independent researcher, Canada.*Correspondencia: dbrox@ece.ubc.ca

Abstract

Copper Mountain Mine tailings dam slope stability research based on recommendations of the 2021 Tetra Tech Dam Safety Review, including computation of tailings dam factors of safety, satellite imagery, steady state and transient seepage analyses, and assessment of internal erosion risk. 3D dam factors of safety satisfy BC's normal operating legal requirement of 1.5 but are in possible violation of the post-seismic legal requirement of 1.2.

Keywords: Tailings, dam, foundation, seepage, internal erosion, liquefaction.

Resumen

Esta es una investigación sobre la estabilidad de relaves de la presa de la mina Copper Mountain, la cual, se basa en las recomendaciones de la Revisión de Seguridad de Presas de Tetra Tech de 2021. El estudio incluye el cálculo de los factores de seguridad de la presa, imágenes satelitales, análisis de filtraciones en estado estacionario y transitorio, y la evaluación del riesgo de erosión interna. Los factores de seguridad 3D de la presa cumplen con el requisito legal de operación normal de Columbia Británica de 1.5, pero podrían incumplir el requisito legal post-sísmico de 1.2.

Palabras clave: Relaves, presa, cimentación, filtraciones, erosión interna, licuefacción.

1. Introduction

BRITISH Columbia (BC) has 86 mining sites containing a tailings storage facility (TSF), including 57 sites that are closed or under maintenance, 18 in operation, and 11 with

planned future storage facility usage (Emerman, 2022a). While annual productivity of BC's mining industry, valued at 7.3 billion Canadian dollars in 2023 according to the BC Government, remains a vital source of wealth for various communities



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

within the province, previous TSF breaches in Canada and elsewhere provide examples of the human and environmental consequences that can result from TSF failures (Office of the Premier, 2024). These examples include the breach of the Mount Polley Mine tailings dam in BC in 2014 resulting in 40 million dollars of cleanup work, and the failure of the Fundao tailings dam in Brazil in 2015 which resulted in the death of 19 people and charges of manslaughter against 21 executives of Vale and BHP Billiton (Morrison, 2021). The Fundao tailings dam failure also spread iron ore tailings into the Doce River watershed across 40 municipalities, causing economic and environmental damages estimated at 43.8 billion United States (US) dollars by a public civil action, which might serve as warning to BC residents about the economic and environmental consequences of a tailings dam failure along the Fraser River for which financial insurance does not exist (Foy, 2016, Scarpelin, 2022).

Appreciating that productivity is the first priority of BC's mining industry, and tailings dam failure is a financial liability for BC residents irrespective of whether or not they work in the mining industry, effective regulation of tailings dam safety standards is important to ensuring the wealth of the province as a whole. These safety standards, such as the requirement that each tailings dam should have a normal operating factor of safety (FoS) no less than 1.5, are provincially legislated by the Health, Safety, and Reclamation Code for Mines in BC, and regulated through Dam Safety Reviews (DSRs) and Independent Third Party Reviews (ITPRs) (Ministry of Energy, Mines, and Petroleum Resources, 2008). However, not all Canadian Dam Association TSF safety guidelines are provincially legislated TSF operation requirements, such as the guideline that any dam whose failure is predicted to result in loss of more than 100 human lives should have an annual risk of failure no greater than 0.001 percent, as calculated using the Silva-Lambe-Marr method (Emerman, 2022b). As a result, there exists at least one example of an extreme consequence

TSF, namely the Copper Mountain Mine TSF near Princeton BC, for which continued usage is planned to increase the TSF height, despite the fact the facility's annual risk of dam failure has been estimated at 0.1-1 percent. Moreover, the modified upstream construction of the Copper Mountain Mine TSF dams presents an established risk factor for dam liquefaction failure, as exemplified by the fact that countries such as Chile have outlawed upstream construction of sand tailings dams (Villavicencio, 2014).

Given the possible consequences of tailings dam failure in BC, it is important for the province's research faculty to support ITPRs in regulation of BC Mining Law, so BC residents do not assume unreasonable human and economic risks from mining activities, and industrial problem solving guides academic research. To this end, it is logical that ITPRs may be authorized by the BC Government when new information regarding TSF dam slope stability is obtained during 5-year periods between consecutive DSRs, and that these ITPRs encourage involvement of Canadian university faculty with relevant tailings dam engineering expertise. Such an ITPR oversight mechanism could allow for more transparent and robust adherence to provincially legislated tailings dam safety standards in comparison to the current regulatory system, which defers all rigorous engineering oversight of tailings dam safety standards to professional engineers hired by mine owners (Tetra Tech, 2021). Therefore, the purpose of this article is to provide an example of how academic investigation of tailings dam safety standards is of value to BC public interests.

The outline of the article is as follows:

- Section 2 reviews the Copper Mountain Mine TSF safety record, as documented by the provincially legislated 2021 Tetra Tech DSR and annual dam safety inspections (ADSIs) conducted by the Engineer of Record.
- Section 3 reviews the history of TSF foundation investigations and presents



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

Morgenstern-Price FoS computations for West and East Dams.

- Section 4 presents an assessment of TSF beach lengths based on Sentinel-2 satellite image processing.
- Section 5 presents TSF drain performance, 2023 piezometer data, 2D steady state seepage analyses, and 2D probable maximum flood transient seepage analyses.
- Section 6 presents an assessment of TSF dam internal erosion failure modes.
- Section 7 presents an explanatory analysis of East Dam inclinometer measurements.
- Section 8 presents post-liquefaction stability analyses of the TSF dams.
- Section 9 concludes by discussing whether or not current Copper Mountain Mine TSF dam operation is in compliance with the Health and Reclamation Code for Mines in BC, and the possible need for dam rehabilitation operations going forward.

2. TSF Safety Record

This section contains a summary of possible dam safety concerns reported by the 2021 Tetra Tech DSR, and the Sections of the current document in which these slope stability concerns are addressed (Tetra Tech, 2021). A list of all items of possible dam safety concern obtained directly from ADSI reports 2014 onwards is also presented.

2021 Tetra Tech DSR Summary:

- Investigations which penetrated into the foundation upstream of the starter dams are limited, with only one or two boreholes penetrating the foundation materials to a relatively limited depth (less than 10 m). Bechtel advanced several boreholes in the foundation material prior to the start of mining upstream of the starter dams, but it is unclear if the results of this investigation are incorporated into the geologic model used for design. Additional foundation investigation upstream of the starter dams would be a benefit to improving accuracy of

the foundation material model in these locations (see Section 3).

- Dam stability analyses should use the most recent material parameter information, consider the impact of ponded water against dam crests during a flood event (i.e. beach loss), account for seepage monitoring data suggesting the phreatic surface upstream of the starter dams is above the tailings/cycloned sand interfaces, account for the 3D effect of East Dam valley buttressing on dam stability as necessary to select a representative 2D model cross section of the dam for stability analysis, and account for the possibility that dams may not be as stable at intermediary stages of construction as they are at their ultimate elevation (see Sections 3, 4, 5, 7, and 8).
- No operational piezometers at the crests of the West or East Dams as necessary for measuring the current location of the phreatic surface level at the dam crests which was increasing prior to 2016 (see Section 5).
- Liquefaction hazard presented by water saturation of cycloned sands in downstream slopes should be reviewed (see Section 8).
- Potential for concentrated leaks should be further reviewed (see Section 6)
- Potential for backward erosion piping should be further reviewed. This includes backward erosion piping initiating at dam toes and at dam abutment contacts where internal erosion has been identified as a credible failure mode (see Section 6).
- Potential for contact erosion at West Dam historic rock crest drain and tailings tunnel should be further reviewed (see Section 6).
- Potential for suffusion of foundation material via exit pathways downstream of the dam should be assessed (see Section 6).
- No explanation for inclinometer movements in East Dam since 2018 has been documented (see Section 7).



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

2014-2022 ADSI Reports Items:

- East Dam rock crest drain pipe is partially buried and clogged with sand at toe area outlet (2014).
- Tailings slimes on East Dam crest drain fabric at north end of drain (2014).
- Borehole drilling indicate lacustrine silt present in West Dam foundation is not continuous as previously assumed, and lacustrine silt is present at East Dam toe (2016).
- East Dam rock crest drain damage scheduled for investigation and repair (2016).
- Minor transverse crack observed on West Dam crest near north abutment (2016).
- Piezometer located in north abutment toe of East Dam shows artesian pressures (2016).
- West Dam toe scheduled for excavation to clean toe drain outlets (2016).
- East Dam seepage water noted 30m downstream of toe drain outlet (2016).
- Minor settlement cracking observed at upstream side of the south abutment of the West Dam (2017).
- Several small sinkholes, less than 0.5 m in diameter, were observed at the West Dam where the downstream sand shell contacts the coarse rockfill of the Fresh Water Booster access road (2017).
- West Dam south abutment tunnel plug face half submerged by water, water dripping from the ceiling (2017).
- Dam safety review recommends installing drain at crests of both dams that should be connected to slope drains, and developing beach at West Dam south abutment to prevent ponding of water against dam crest (2017).
- Turbid seepage observed flowing out of East Dam historic rock crest drain outlet pipe where it terminates on top of the sand and gravel filter of the dam toe drain (2018).
- Sand boils observed in the foundation sand and gravel downstream of the end of the toe West Dam toe drain, indicative of artesian pressures in the sand and gravel foundation (2018).
- Sonic drilling of a single hole in West Dam foundation and two holes in East Dam foundation. Normally consolidated silts and clays verified to exist upstream and downstream of the starter dam (up to 6.9 m thick) which represent lacustrine sediments deposited in the original Smelter Lake (2019).
- Tension cracking along north abutment of downstream slope of East Dam (2019).
- Cycloned sand deposition on West Dam caused gully and partial burying of sand berm. Slope required regrading to 2:1 (2019).
- Seepage observed on West Dam seepage collection pond slope upstream of monitoring station (2019).
- West Dam rock crest drain flow decreasing indicating that the outlet pipe may be becoming crushed within the dam (2020).
- Observed depression and tension cracking at West Dam south abutment (2020).
- Seepage flow of approximately 40L/s into channel downstream of the West Dam toe drain outlet reported for the first time (2020).
- TSF pond volume measured at 2.5 million cubic meters in December 2021, exceeding target maximum of 2 million cubic meters (2021).
- More water dripping from ceiling of West Dam tunnel plug than during previous inspections (2021).
- East Dam south abutment upstream crest depression and cracking (2021).
- Oversteepened 1.5:1 slopes above East Dam toe drain collector (2021).
- During the onset of 2021 freshet conditions, flow loss observed into the base of the Wolfe Creek realignment channel within the Upper Wolfe Creek section, downstream of the Copper Mountain Road culvert crossing. The flow loss observation led to channel upgrades to include a liner in a previously unlined area, and localized liner repair work



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

- along the channel.
- Increased toe drain flows at both dams observed during January and February (2022).
- Wet spot located on filter material 50m from East Dam collector inlet (2021).
- Depression observed on the East Dam toe drain collector near the inlet with radial cracks in April (2022).
- Localized water saturated zone of cycloned sand observed over the East Dam toe drain collector in May (2022).
- East Dam terminus pond showing silt build up in September (2022).
- Downstream slopes of both West and East Dams have oversteepening in localized areas (2023).
- Shotcrete broken off and debris floating in water inside the West Dam tunnel plug (2023).
- Cyclone sand fines observed accumulating at a low point of the East Dam toe drain collector (2023).
- Erosion and sediment deposition into the East Dam seepage collection ditch observed (2023).
- Seepage observed on West Dam access road below collection pond, indicating seepage is bypassing lower collection pumping system (2023).
- Depression observed at north abutment talus slope of West Dam (2023).
- Cracking at West Dam north abutment upstream slope (2023).
- Sudden 20L/s decrease in average East Dam toe drain seepage flow starting in September (2023).

3. Foundation Investigation

With reference to current Engineers and Geoscientists of BC (EGBC) TSF foundation investigation guidelines, the preconstruction foundation investigation of Copper Mountain Mine TSF performed in the years 1968-1971 has been reviewed for completeness (Bechtel Ltd, 1971, EGBC, 2016). In total, 19 and 21 boreholes were drilled at the West and East

Dam locations and core sampled, of which 9 and 7 were drilled down through bedrock. This foundation investigation does not report that a geophysical survey (e.g. seismic reflection) was conducted for the purpose of characterizing foundation material between boreholes. In November 1970, the foundation investigation concluded that upstream of the planned locations for the West and East starter dams the foundation consists of loose to compact sand and silt with layers of organic silt, underlying the existing Smelter Lake, that is not capable of supporting a dam without removal of silt, flattening of dam slopes, and/or berm construction. This structural concern appears to have been addressed in 1971 by locating starter dams west and east of organic silt deposits and imposing constraints on the upstream slopes of the tailings dams constructed on top of these starter dams.

In 2010, as part of mine reactivation, seismic reflection, seismic refraction, and multi-channel analysis of surface waves (MASW) tests were conducted to map the material structure of existing dams and downstream foundations (AMEC, 2011). Lacustrine clay was not detected by any of these geophysical surveys, perhaps for the following reasons:

- The clay layer, being at most 6.9 m thick, was too thin to be detected by seismic reflection with quarter wavelength resolution.
- The clay layer, being of higher P-wave velocity than the material layer below it, could not be detected by seismic refraction.
- The combination of the clay layer thickness and overburden rendered the layer undetectable by MASW (Crocker, 2021).

Additional borehole drilling was conducted between 2011 and 2015 to locate glaciolacustrine and lacustrine material layers in the West and East Dam foundations (AMEC, 2011, AMECFW, 2015). In 2019, additional borehole drilling was conducted for the purposes of investigating the foundation as required for continued West Dam



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

construction and piezometer/inclinometer installation, with 3 holes drilled in the West Dam downstream slope and 2 holes drilled in the East Dam downstream slope. This 2019 drilling confirmed the presence of lacustrine clay in the East Dam foundation.

3.1. 1D Consolidation Calculation

A 1D consolidation calculation has been performed to verify whether or not foundation clay should be treated as an undrained material in 2D and 3D limit equilibrium dam slope stability analyses. The foundation clay is assumed to be 1.5 m thick in the West Dam foundation and 6.9 m thick in the East Dam foundation based on the 2021 ADSI, and a coefficient of consolidation of $c_v = 2.28 \text{ m}^2/\text{year}$ is assigned to the clay from literature (Schneider, 2022). This reference value for the coefficient of consolidation is conservative with respect to results of consolidation tests on clay in the West Dam foundation, which for a sample height of approximately 25 mm returned a 50 percent consolidation time of approximately 10 minutes, corresponding to a coefficient of consolidation of $c_v = 7.53 \text{ m}^2/\text{year}$ (Amec Foster Wheeler, 2016). The primary consolidation completion percentage for 1 month/1 year for the West and East Dams are calculated to be 65/100 and 14/50 percent of complete consolidation. This implies that while excess pore pressure in the West Dam foundation clay layer dissipates during dam construction, the East Dam foundation clay should be treated as an undrained material, and for this reason the SHANSEP material model has been selected to model foundation clay for conservative computation of dam limit equilibrium FoS values (Ladd, 1974, Zabolotnii, 2022).

3.2. 2D Limit Equilibrium Analysis (2020)

Figure 1 shows the FoS=1.6 result of applying the 2D Morgenstern-Price limit equilibrium method in Rocscience Slide2 to compute the FoS of West Dam cross section B1 using an approximation of the 2020 KCB model, including the reported phreatic surface level, assignment of drained Mohr-Coulomb material shear strengths to dam construction and sand/gravel foundation

materials, assignment of undrained SHANSEP material shear strength to lacustrine clay foundation material, and the reported critical slip surface. Material models/parameters used are listed in Table 1, in which the Mohr-Coulomb and SHANSEP models are abbreviated as MC and S. In this table, the densities of the sand and gravel foundation, lacustrine clay, starter dam, and old/new tailings are water saturated densities, while the density of cycloned sand is an unsaturated wet density.

Figure 1 shows the FoS=1.7 result of applying the 2D Morgenstern-Price limit equilibrium method to compute the FoS of East Dam cross section A2 using a model approximating the 2020 KCB model, including the reported phreatic surface level, assignment of drained Mohr-Coulomb material shear strengths to dam construction and sand/gravel foundation materials, assignment of undrained SHANSEP material shear strength to lacustrine clay foundation material, and the reported critical slip surface. It is important to note that neither the West nor East Dam 2D FoS computations reported here used a computer search algorithm to determine the dam critical slip surface, implying these 2D FoS values are overreported. It is also noted that in 2016, AMEC reported an end-of-construction FoS of 1.3 for a model of East Dam cross section A2 in which a continuous lacustrine clay layer was present in the foundation, while in 2020, KCB reported an FoS of 1.9 for the same cross section at time-of-construction.

Table 1. Slide2 model parameters.

Material	Model	Parameters
cycloned sand	MC	$c = 0, \phi = 32, 18 \text{ kN/m}^3$
new tailings	MC	$c = 0, \phi = 27, 17 \text{ kN/m}^3$
lacustrine clay	S	$S_u/\sigma_v' = 0.24, 18 \text{ kN/m}^3$
starter dam	MC	$c = 0, \phi = 36, 21 \text{ kN/m}^3$
sand and gravel	MC	$c = 0, \phi = 36, 23 \text{ kN/m}^3$
old tailings	MC	$c = 0, \phi = 32, 20 \text{ kN/m}^3$

3.3. 3D Limit Equilibrium Analysis (2025)

Figure 2 shows the result of computing 3D FoS values for the West Dam and East Dam in 2025 using Rocscience Slide3. The 3D models are based on valley topographic data provided by the



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

foundation investigation documentation and 2016/2023 ADSI reports, and dam construction projections based on the 2023 ADSI report. Because the foundation investigation documentation showed boreholes in the vicinity of the West and East starter dams having average surface/bedrock elevations of 810.4 m/795.4m and 811.8 m/781.6 m, while the 2023 ADSI specifies the West and East starter dam base elevations for sections B1 and A2 as being 800 m, foundation topography was simplified by assuming uniform surface/bedrock elevations of 800 m/780 m, noting that the sand and gravel material in the foundation below the elevation of the surface lacustrine clay layers is not anticipated to affect

failure dynamics. Model phreatic surfaces are based on calibration of FEFLOW 2D 2025 seepage analyses to 2023 piezometer data, assuming water is ponded against the dam crests during a probable maximum flood event. For critical slip surfaces determined by the Slide3 classic ellipsoidal particle swarm search, the Morgenstern-Price FoS value is 1.6 for the West Dam, and 1.9 for the East Dam. The fact that neither 3D slip surface passes through the tailings and clay foundation demonstrates the importance of the narrowness of the TSF valley to enhancing stability of the dam slopes.

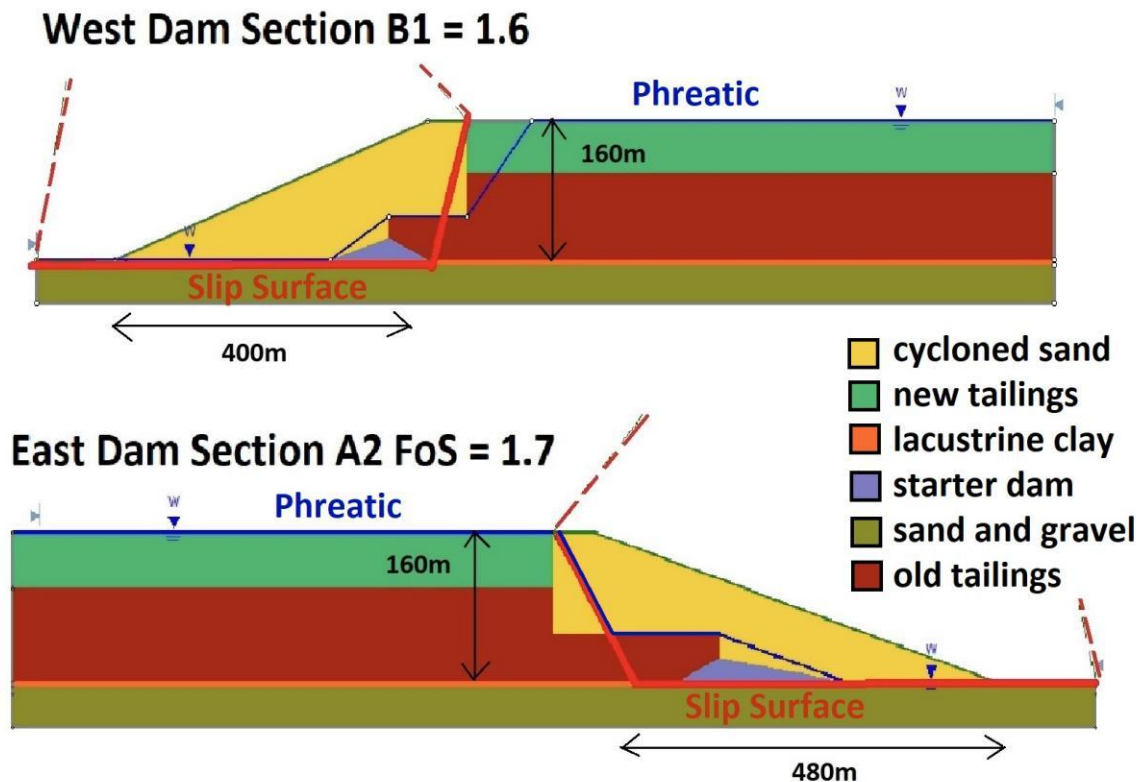


Figure 1. Morgenstern-Price computed FoS for West and East Dam 2D cross sections B1 and A2.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

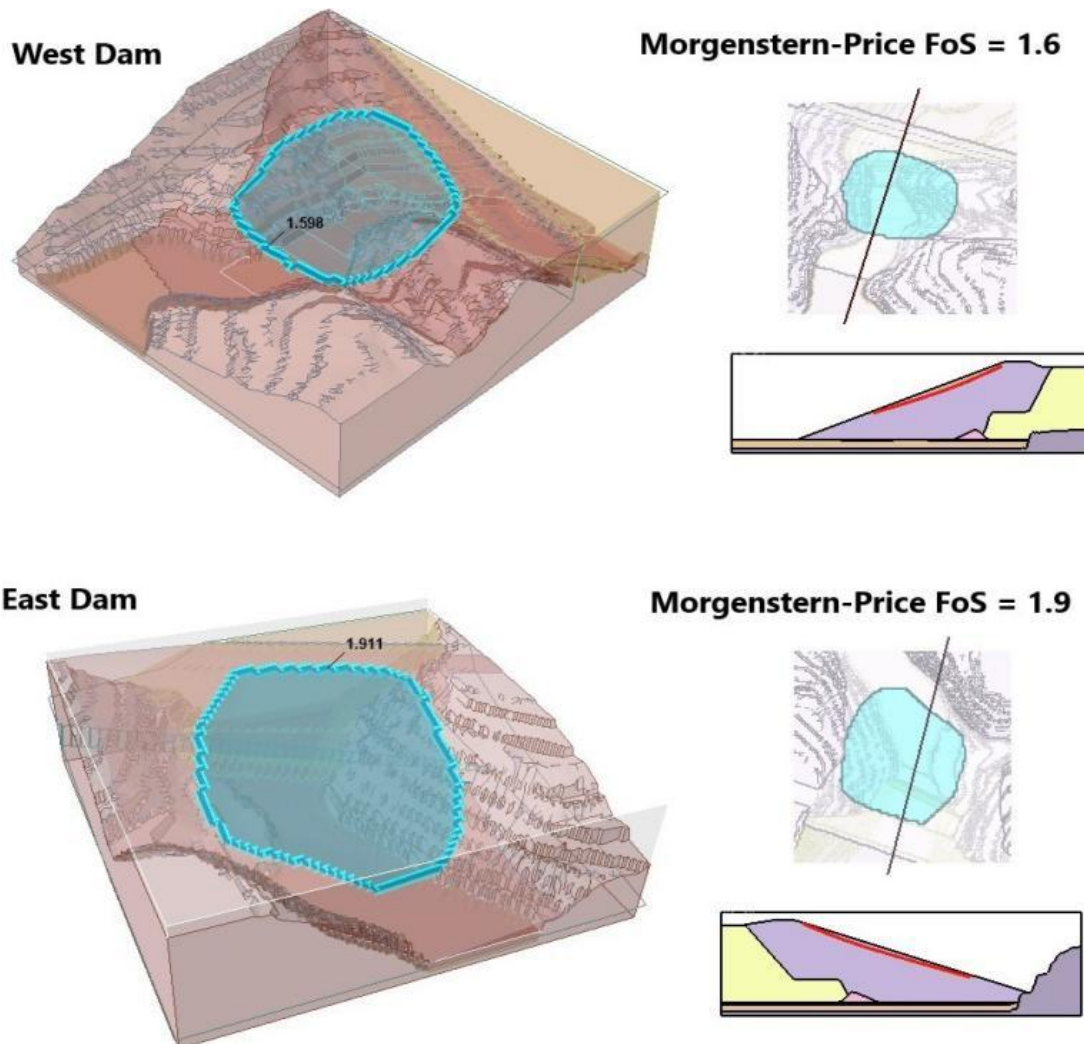


Figure 2. West Dam and East Dam 2025 3D Morgenstern-Price FoS values computed for critical slip surfaces determined by Rocscience Slide3 classic ellipsoidal particle swarm search. Phreatic surface levels are based on 2D FEFLOW seepage analysis of probable maximum flood conditions.

4. Tailings Beach Lengths

Measurements of the East and West Dam tailings beach lengths provided in ADSI reports state the tailings beach lengths exceed minimum design specifications for each year from 2014 through 2023, as shown in Table 2. Each beach extends from an edge of the tailings pond to the nearest dam crest. The phreatic surface levels beneath the beaches depend on various factors including the pond elevation, the rate of tailings

deposition, and the gradient of tailings grain size and permeability across the beach.

As verification of reported beach lengths, beaches can be imaged with Sentinel-2 satellites and beach images can be processed to display normalized difference water index (NDWI):

$$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8}, \quad (1)$$



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

to detect presence of surface water, where B3 and B8 are the satellite measured reflectances in the green and near-infrared bands (Du, 2016, O'Donovan, 2022). Figure 3 shows images of the Copper Mountain Mine TSF on September 14, 2023, filtered in the red band B4 (left) and binary processed to display $NDWI > 0.2$ (right) to identify presence of surface water. Figure 3-bottom shows an image of the TSF on July 5, 2024, filtered through band B2 (blue-490 nm), in which circular surface structures of approximate diameter 60 m and 100 m with optical reflectivity less than surrounding dam material are visible on the West and East dam downstream slopes. This difference in reflectivity of blue light suggests the structures were not formed by a sprinkler system.

Table 2. ADSI reported tailings beach lengths.

Year	West/East Beach Length (m)
2014	> 500 / > 200
2015	> 300 / > 100
2016	> 500 / > 300
2017	> 500 / > 300
2018	> 500 / > 300
2019	> 500 / > 400
2020	> 300 / > 300
2021	> 600 / > 500
2022	> 300 / > 300
2023	> 600 / > 500

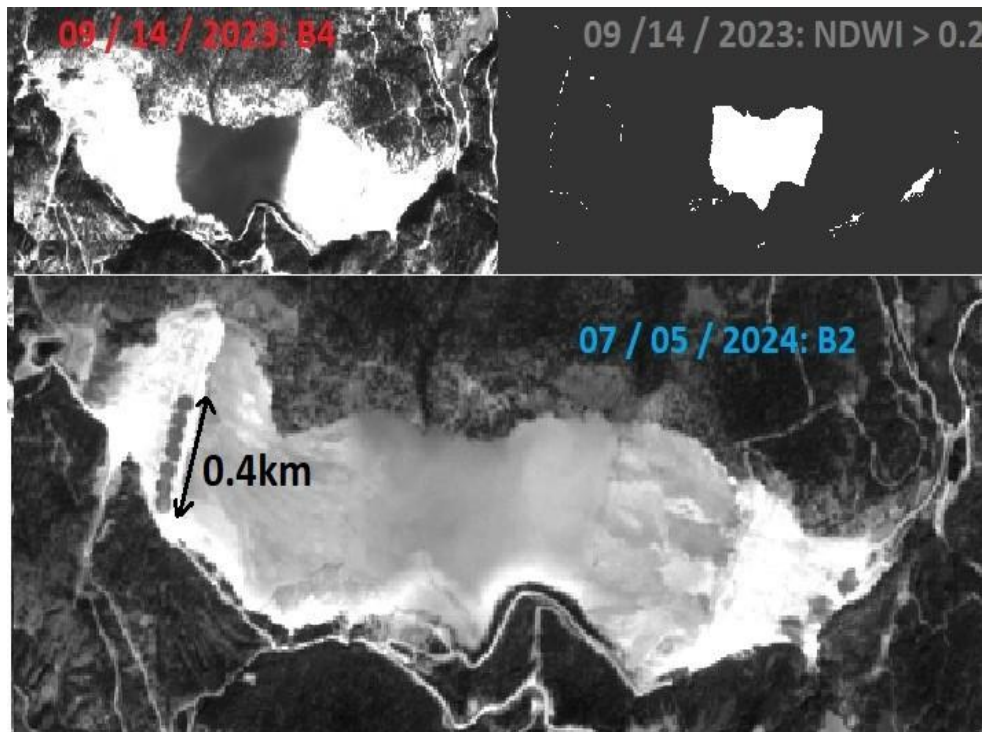


Figure 3. Sentinel-2 images Copper Mountain Mine TSF, dated 09/14/2023 (top), and 07/05/2024 (bottom). Top images show the TSF in red band B4 (left), in which boundaries of the tailings pond are clear, and the same image binary processed for the condition $NDWI > 0.2$ (right) to identify presence of water at the surface of the TSF. The bottom image shows the TSF in blue band (B2) in which 7 circular structures on the West Dam crest/downstream slope of approximate diameter 60 m and 3 circular structures on the East Dam downstream slope of approximate diameter 100 m are visible, and distinguishable from dam downstream slope, beach, and tailings pond materials by their reflectance in blue, red, and infrared bands.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

5. Seepage Analysis

In this Section, ADSI reported drain seepage flows and piezometer readings are reviewed, and used to calibrate steady state and transient seepage analyses. The purpose of the steady state seepage analysis is to determine whether or not the dam drains are working as designed and estimate the 2023 phreatic surface levels and pore water pressures within the dams. The purpose of the transient seepage analysis is to determine the increase in phreatic surface level and pore water pressure within the dams occurring with a probable maximum flood for use in 2025 limit equilibrium analyses.

5.1. Drainage

A list of the TSF drains constructed with an approximate date of construction is listed in Table 3. Not included in this list is an East Dam chimney drain which is not included in the AMEC2016 seepage analysis of the dam (Golder Associates, 1979). An important detail of the starter dam toe drain and starter dam drainage blanket construction is that while the starter dam toe drains were constructed with both coarse and fine filters to avoid clogging with silt and/or clay, the drainage blankets were constructed with a coarse filter only (Bechtel Ltd, 1971). Previous engineering reports also suggest the finger drains constructed before mine deactivation in 1996 were constructed with coarse filters only. This information is important because it points to the possibility of gradual clogging of the drainage blankets and/or finger drains in the West and/or East Dams by silt and/or clay existing in the foundation.

Table 3. TSF drains.

Name	Time
Starter Dam Toe Drains	1972
Starter Dam Drainage Blankets	1972
Finger Drains	1972-?
Rock Crest Drains	1982
Drainage Crest Drains	2014
Toe Drain Extensions	2017

Annually averaged seepage flows through rock crest and toe drain outlets of the West and East

Dams are shown in Table 4. Noticeable from this table is that after 2020, both the West and East Dam rock crest drain outlets show close to zero seepage flow each year, as attributed by ADSI reports to possible damage of the West Dam rock crest drain outlet pipe and cement grouting of the East Dam rock crest drain outlet. This drain malfunction is important, because in the 1980s, when dam upstream construction began and dam centerlines began moving upstream of the starter dam centerlines, it was documented that rock crest drain construction would be essential for avoiding water saturation of cycloned sand prone to liquefaction (Golder Associates, 1981).

Table 4. ADSI reported drain seepage flows.

Year	West: Sump/T/RC (L/s)	East: T/RC (L/s)
2014	?/?/0.5	54/0
2015	20/3.4/0.3	19/0
2016	30/5/0.2	25/0
2017	40/6/0.2	24/0
2018	50/5/0.2	34/0
2019	60/?/0.1	30/0
2020	20/?/?	?/?
2021	15/?/0	26/0
2022	15/?/0	25/0
2023	10/?/0	?/0

Another observation about Table 4 is that the West drain seepage flows include seepage out of a West Dam recycle sump weir, as stated in ADSI reports. The fact that the seepage outflow from the sump is significantly greater than both the toe and rock crest drain outlet flows suggests the sump may be a collector for seepage flow through the West Dam foundation with unfiltered exit (Klohn, 1979). This possibility is also evidenced by ADSI reported seepage out of the sump steadily increasing between 2014 and 2019, as might occur with enlargement of one or more high permeability channels within the foundation due to internal erosion, before decreasing in 2019 with installation of a West Dam seepage return system.

To quantify the origin of West Dam recycle sump seepage inflow, it is noted that based on the 2014 ADSI reported min/max readings 835.6 m/837.4 m and 820.5 m/822.5 m of piezometers VWP10-05W-3 and VWP10-04W-3 installed in the West



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

Dam foundation immediately upstream of the starter dam, the approximate gradient in total hydraulic head across the starter dam through the foundation was 15 m over a length of 70 m, which for a sand and gravel foundation of permeability $1e^{-3}$ m/s and approximate cross sectional area of 1000 m² beneath the starter dam amounts to a foundation flow of:

$$(15 \text{ m}/75 \text{ m}) (1e^{-3} \text{ m/s}) (1000 \text{ m}^2) = 200 \text{ L/s. (2)}$$

This calculated flow is sufficient to account for the increasing West Dam recycle sump seepage flow rates reported before 2020.

5.2. 2023 Dam Crest Piezometer Data

The 2023 ADSI indicates piezometers have been installed at both West and East Dam crests. Piezometer VWP22-02W-3 installed at elevation 899.9m approximately 100 m upstream of the West starter dam recorded min/max total head readings of 900.2 m/900.4 m, and piezometer VWP23-01E-3 installed at elevation 903.0 m approximately 200 m upstream of the East starter dam recorded min/max total head readings of 909.9 m/914.3 m. For comparison across time, in 2015, piezometer VWP10-05W-2 installed at elevation 845 m approximately 100m upstream of the West starter dam recorded min/max total head readings of 851.7 m/854.4 m (2015 red light > 902 m), and piezometer PZ12-05E installed at elevation 845 m approximately 100 m upstream of the East starter dam recorded min/max total head readings of 859.5 m/860.1 m (2015 red light > 875 m).

5.3. 2D Steady State Seepage Analysis (2023)

2D steady state seepage analyses of West and East Dams have been computed with FEFLOW to investigate:

- Relative size of dam seepage flows above and through the foundation.
- Whether or not dam blanket and/or finger drains are clogged.
- Approximate phreatic surface levels and pore pressures calibrated to 2023 piezometer readings.

Figure 4 shows the FEFLOW computed 2023 steady state phreatic surface level and hydraulic head isolines for the entire TSF and its foundation analyzed as a simplified 2 dam system in which constructed drains are omitted, beach lengths are zero meters, and the material permeabilities listed in Table 5 have been used. This analysis indicates the 2023 hydraulic head in TSF foundation upstream of West and East starter dams is approximately constant at 810 m. The total seepage flows out of the West and East Dams are computed to be 1.4 L/s/m and 1.2 L/s/m, and in both cases more than 90 percent of this flow passes through the foundation. These seepage analysis results are in contrast to 2014 piezometer readings of VWP10-05W-3/VWP10-01E-3 in West/East Dam upstream foundations in excess of 835 m/845 m, pointing to the importance of accounting for transient seepage conditions and the effect of 3D TSF geometry on seepage flow, including any low permeability path from the TSF pond through the TSF abutments into the foundation (Klohn Crippen, 1998).

Table 5. Dam material permeabilities.

Material	K_s (m/s)	K_v/K_h
fluvial sand/gravel	$1 \cdot 10^{-3}$	1
lacustrine clay	$2.5 \cdot 10^{-7}$	1
bedrock	0	1
starter dam	$1 \cdot 10^{-6}$	1
tailings	$1 \cdot 10^{-7}$	0.05
cycloned sand	$5 \cdot 10^{-5}$	1
drains	1	1

Figure 5 shows West/East Dam FEFLOW steady state seepage analyses with drain function and boundary conditions adjusted to obtain approximate agreement of hydraulic heads with 2023 readings of West/East Dam piezometer readings. For both dams, an upstream foundation total head of 830 m was assigned based on readings of piezometer VWP12-01E-2 and results of analyzing the 2 dam system. For the West Dam, to obtain agreement with downstream piezometer VWP22-04W-1 and VWP22-03W-3 readings of 811 m and 827.5 m, it was necessary to assume 100 m of the blanket/finger



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

drain system downstream of the starter dam has been clogged, and to obtain agreement with piezometer VWP10-04W-1 and VWP22-02W-3 readings of 859.5 m and 900 m it was necessary to assume a beach length of zero meters. For the East Dam, to obtain agreement with downstream piezometer VWP23-04E-2 and VWP19-01E-3 readings of 815.3 m and 834 m, it was necessary to assume 200 m of the blanket/finger drain system downstream of the starter dam has been clogged, and to obtain agreement with piezometer VWP23-03E-2 and VWP23-01E-3 readings of 855 m and 911.5 m it was necessary to assume a beach length of zero meters. After this initial adjustment of drain permeability and seepage flow boundary conditions, material and drain permeabilities were calibrated to 2023 piezometer readings using FePEST. For both West/East Dam FePEST permeability calibrations, the effect on phreatic surface position was not substantial, but calibrated cycloned sand permeability $5e^{-7}$ m/s was two orders of magnitude lower than reported in the 2021 DSR, and calibrated permeabilities ranged from $3.3e^{-5}$ m/s to $5.8e^{-3}$ m/s for sections of drain 0-100 and 100-200 meters downstream of the starter dams. Inclusion of draitube crest drainage in West and East Dam steady state seepage analyses as FEFLOW fluid transfer boundary conditions was not observed to have any effect on phreatic surface level of pore water pressure due to location of the drains above the phreatic surface.

In light of ADSI reported beach lengths, the steady state analysis assumption of zero meters beach length in setting the upstream pore water pressure boundary condition requires further justification. Therefore, it is noted that were the tailings beaches to have constant void ratio and water saturated vertical permeability down to the foundation, and maintain constant phreatic surface levels and hydrostatic pore water pressure gradients beneath their surfaces with deposition of new tailings, the inflow of water at the beach surface due to new tailings deposition should equate to the beach vertical permeability. For the Copper Mountain Mine tailings dams this

inflow of water comes from deposition of approximately 5 m of water saturated material with porosity 0.5 per year, equating to a water inflow rate of $8e^{-8}$ m/s. This value is greater than the permeability of the regions of consolidated tailings underlying the beaches beneath the dam crests, which may be as low as $1e^{-8}$ m/s, suggesting the path of least resistance for water from new hydraulic fill to drain through the dams is through the tailings beach/cycloned sand region where rock drains, now decommissioned, were constructed in the 1980s. Given this constraint on pore water flow, steady state seepage analyses of the dams assuming zero meters beach length should be regarded as approximate descriptions of transient seepage conditions in the dams in which the phreatic surface levels are consistently rising upstream of the starter dams.

5.4. Probable Maximum Flood Analysis (2023)

The 2021 DSR provided hydrologic loading analysis of the Copper Mountain Mine TSF in accordance with EGBC dam hydrologic loading guidelines (EGBC, 2022). The 2021 DSR determined the probable maximum flood to occur with an all-season 72-hour probable maximum precipitation of 540 mm for the TSF catchment of 5.25 km². The DSR also recommended:

- Calculation of wind/wave effects specified by the Canadian Dam Association 2013 Dam Safety Guidelines
- Stability analyses to identify what minimum beach widths are required to maintain stability under inflow design flood conditions.

According to the Canadian Dam Association 2013 Dam Safety Guidelines, extreme consequence dam freeboards should be sufficient so that (Canadian Dam Association, 2013):

- No overtopping by 95 percent of the waves caused by the most critical wind with a frequency of 1/1000 year when the reservoir is at its maximum normal elevation.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

- No overtopping by 95 percent of waves caused by the 1/100 year critical wind when the reservoir is at its maximum extreme

level during passage of the probable maximum flood.

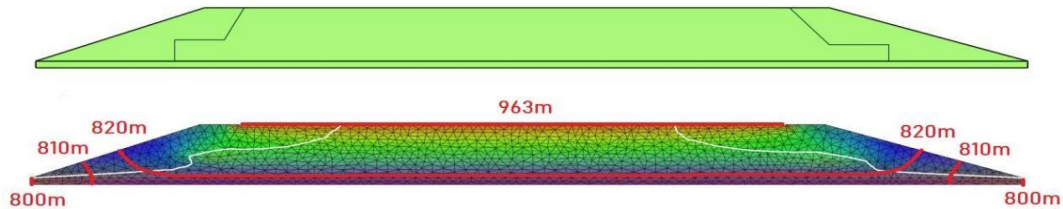


Figure 4. West/East Dam FEFLOW steady state analysis of 2023 2 dam system indicates hydraulic head in TSF foundation upstream of West and East starter dams is approximately constant at 810 m.

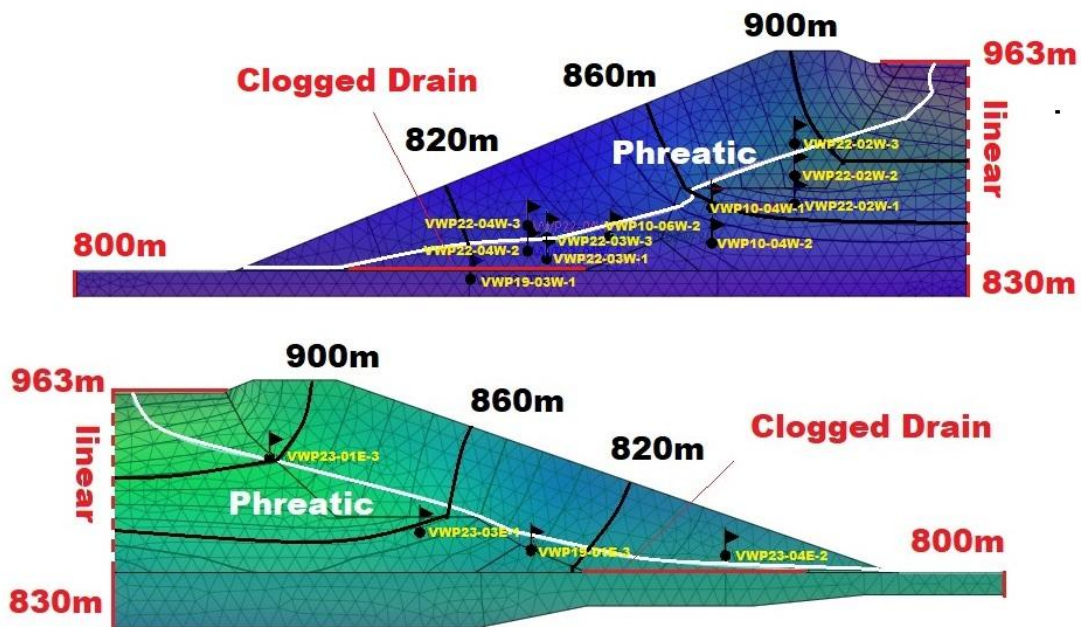


Figure 5. West/East Dam FEFLOW 2023 steady state seepage analysis with drain function, boundary conditions, and material permeabilities calibrated to 2023 piezometer readings.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

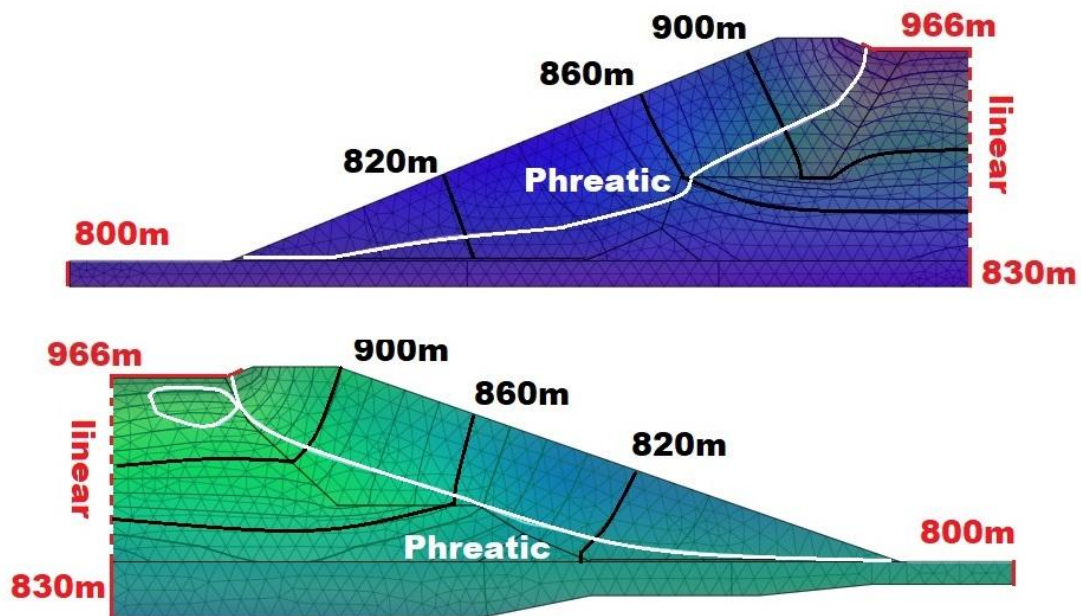


Figure 6. West/East Dam FEFLOW 2023 transient seepage analysis results 30 days after 72 hours probable maximum flood decreases dam freeboard by 3 m.

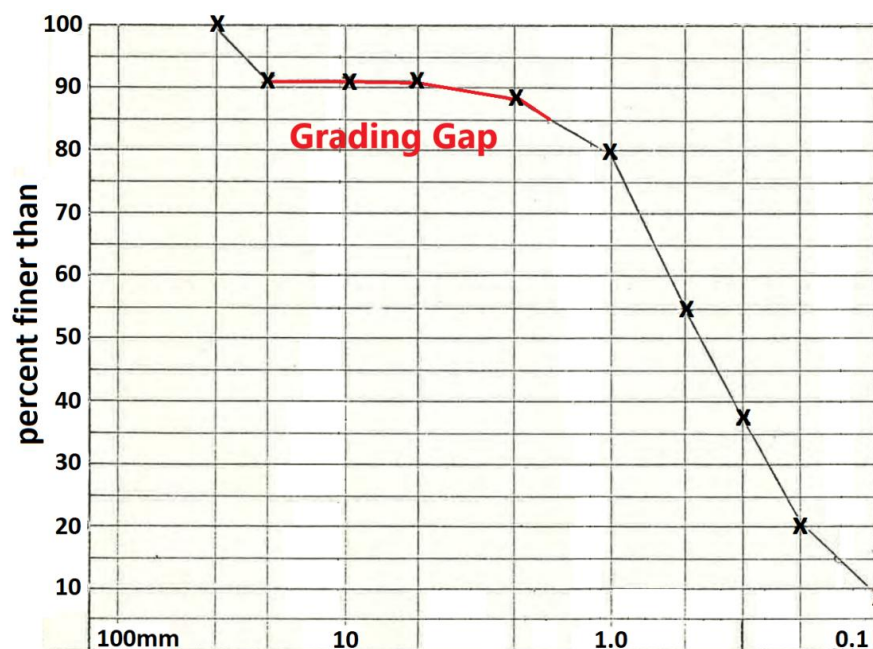


Figure 7. Grain size distribution curve for silty gravelly sand 17.2 to 18.7 feet deep in borehole SL-9 in the East Dam foundation.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

Minimum freeboard requirements can be determined based on United States Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs (United States Army Corps of Engineers, 2018). Specifically, if the 1/1000 and 1/100 year critical winds at Copper Mountain Mine TSF, corrected to 10 meter elevation, are taken to be 160.9 km/h (100 miles/h) and 128.7 km/h (80 miles/h), and the effective fetch length of the TSF is taken to be 1.6km (1 mile), the significant wave heights are 1.2m (4 ft) and 0.9m (3 ft). These significant wave heights are the average height of the highest 1/3 of waves, whereby the wave heights exceeded by 2 percent of waves are 1.7 m and 1.3 m. The wind setups S for these waves, defined by the formula:

$$S = \frac{(\text{windspeed})^2 (\text{fetch})}{(62000 \text{ m/s}^2)(\text{depth})}, \quad (3)$$

where 62000 is a metric unit constant proportional to gravitational acceleration, are 0.26 m and 0.17 m assuming a depth of 2.5 m, which summed with the respective 2 percent wave heights yield values of 1.96 m and 1.47 m, both less than the 2m of wave run up allowed for by the KCB design (Klohn Crippen Berger, 2021).

The design minimum freeboard of 2m assumes an initial freeboard of 5 m is decreased by occurrence of a probable maximum flood. Because the 2023 ADSI reports a freeboard of 10 m, transient seepage analysis has been performed assuming an increase in water level of 3 m takes place with occurrence of a probable maximum flood of duration 72 hours, and that a month is required to pump the flood water out of the reservoir to return the pond height to its original level. Figure 6 shows the West/East Dam transient seepage analysis in which phreatic surfaces are not significantly changed from steady state levels, but the hydraulic head of water saturated cycloned sand and tailings beneath the dam crests is increased by 10-20 m.

6. Erosion Failure Modes

D15 and D85 measurements of foundation sand and gravel, impounded copper tailings, cycloned sand, and lacustrine clay are shown in Table 6. The foundation sand and gravel measurements are for a soil sample from borehole SL-9 in the East Dam foundation, copper tailings measurements are reference values, the cycloned sand measurements are for a sample of cycloned sand located 200 feet upstream of the West Dam starter dam, and the lacustrine clay measurements are for a sample obtaining from borehole BH15-01W-A in the West Dam foundation during the 2015 site investigation (Amec Foster Wheeler, 2016; Bechtel Ltd, 1971; Golder Associates, 1981; Wang, 2018).

Table 6. Dam material grain sizes.

Material	D15 (mm)	D85 (mm)
Foundation Sand/Gravel	0.07	3
Copper Tailings	0.04	0.1-0.2
Cycloned Sand	0.05	0.1-0.3
Lacustrine Clay	0.001	0.015

6.1. Backward Erosion Piping

According to Table 6, the piping compatibility condition:

$$D15(f) < 5 \cdot D85(s), \quad (4)$$

is satisfied for all pairs of materials listed. However, these compatibility condition is nearly violated for foundation sand/gravel and lacustrine clay, and does not rule out backward erosion piping of foundation material due to unfiltered seepage exit points (Klohn Leonoff, 1990). Based on ADSI report concerns, different possible pathways for backward erosion piping through foundation material have been listed:

- Piping through foundation from unfiltered vertical or horizontal exit downstream of dam toe: (West Dam) Foundation toe piezometer PZ10-02W shows a marked decrease in total head reading from 806.6 m/806.9 m min/max in 2016 to 801.7 m/803.3 m in 2017 before increasing to



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

803.3 m/804.6 m in 2020. This data is possible evidence for internal erosion pipe formation through the West Dam foundation beneath the toe before collapse in 2020. Increases in 2020 total head readings of piezometers PZ12-04W and PZ12-05W to maxima 820.2 m and 820.8m beyond design threshold also constitutes possible evidence for collapse of an internal erosion pipe. (East Dam) 2023 ADSI reports direct observation of sediment deposition in East Dam seepage collection area due to internal erosion. East Dam toe piezometer PZ15-02E shows a marked increase in total head reading from 809.7 m/813.5 m min/max in 2022 to 821.3 m/821.3 m in 2023 after a marked decrease in seepage flow from the East toe drain outlet is reported starting in 2023. This data suggests an internal erosion pipe may have formed through the East Dam foundation beneath the toe before collapsing in 2023.

- Piping through embankment and/or foundation from unfiltered exit at dam abutment: (West Dam) 2023 ADSI reports direct observation of unfiltered exit point for West Dam seepage beyond abutments.
- Seepage exiting downstream slope causing pipe formation through embankment and/or foundation: (East Dam) 2022 ADSI reports observation of water saturated zone of East Dam cycloned sand on downstream slope. Probability of initiation of backward erosion piping asserted to be 1 if seepage is observed exiting dam downstream slope (United States Army Corps of Engineers, 2025).
- Seepage exiting damaged drain outlet initiating pipe formation: (West Dam) Seepage exiting the rock crest drain defect may or may not initiate formation of soil erosion and cavity formation depending on hydraulic gradient in the soil, size of the defect in the pipe, and the size of soil particles surrounding the defect (Dave, 2023).

6.2. Concentrated Leak Erosion

Based on ADSI reports, the following possible locations for concentrated leak erosion of the West Dam embankment have been identified:

- Leak at West/East Dam abutments: Multiple ADSI reports describe observation of cracks at dam abutments, but it has not been reported that abutment material was water saturated or seepage is exiting the cracks as necessary for initiation of concentrated leak erosion.
- Leak into plugged West Dam tunnel: 2023 ADSI suggests shotcrete tunnel lining, intended to control water inflow into the tunnel, is partially broken. Therefore, if material constituting the tunnel is fractured to the point of permitting seepage to exit through the tunnel, concentrated leak erosion may be occurring along the exit path. Depending on the extent of the damage to the shotcrete lining, the tunnel may be structurally damaged and/or at risk of collapse (Dean Brox Consulting Ltd, 2024).

6.3. Soil Contact Erosion

Based on Table 6, foundation sand/gravel, copper tailings, cycloned sand, and lacustrine clay grain size distributions satisfy:

$$D_{15}(f) < 7.5 \cdot D_{85}(s), \quad (5)$$

so soil contact erosion is not predicted to initiate at the interfaces between these materials within the West or East Dam (Robbins, 2018).

6.4. Suffusion

A condition on grain size distribution of a material indicating initiation of suffusion is the Kezdi criterion, which states suffusion may initiate if the difference in percent fines content between grain sizes D and $4D$ is less than 15 percent (Kezdi, 1979). Based on the grain size distribution curve for silty gravelly sand recovered from borehole SL-9 in the East Dam foundation, shown in Figure 7, and the Kezdi criterion, the



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

foundation material is susceptible to suffusion because of a gap in grading between 2 and 20 mm grain sizes (Bechtel Ltd, 1971). In principle, this suffusion could result in transport of fine grained sand and/or clay material through the foundation contributing to West and/or East Dam drainage blanket and finger drain clogging (Fry, 2016).

7. East Dam Inclinator Measurements

According to the 2021 DSR, inclinometer 12-02E, immediately downstream of the East Dam starter dam, has shown minimal displacement in the East Dam lower foundation, but in the upper foundation, tailings, and cycloned sand, material displacement rates have remained between 0.02 and 0.03 mm/day from 2018 onward. In 2021, when Wolfe Creek was realigned with construction of an attenuation berm,

inclinometer displacement rates temporarily decreased. A hypothesis offered for these observed displacements is that they are due to secondary creep of water saturated material in the East Dam. As evidence for this hypothesis, it is noted that for a 2 month period lasting from September 24, 2018, to November 20, 2018, the average shear strain recorded by inclinometer 12-02E changed from approximately 30 mm/15 m to 35 mm/15 m, equating to a strain rate of $6.8 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$, which for a clay Maxwell viscosity of $2 \times 10^{12} \text{ kPa s}$ requires a shear stress of 136 kPa to sustain (Bancroft, 2024). As shown in Figure 8 in which results of FLAC2D shear stress computation for 2025 East Dam cross section A1 are displayed, this level of shear stress is attained in the vicinity of the starter dam and its foundation. InSAR and/or ground-based radar measurement of East Dam motion might be used to identify the spatial extent of dam motion.

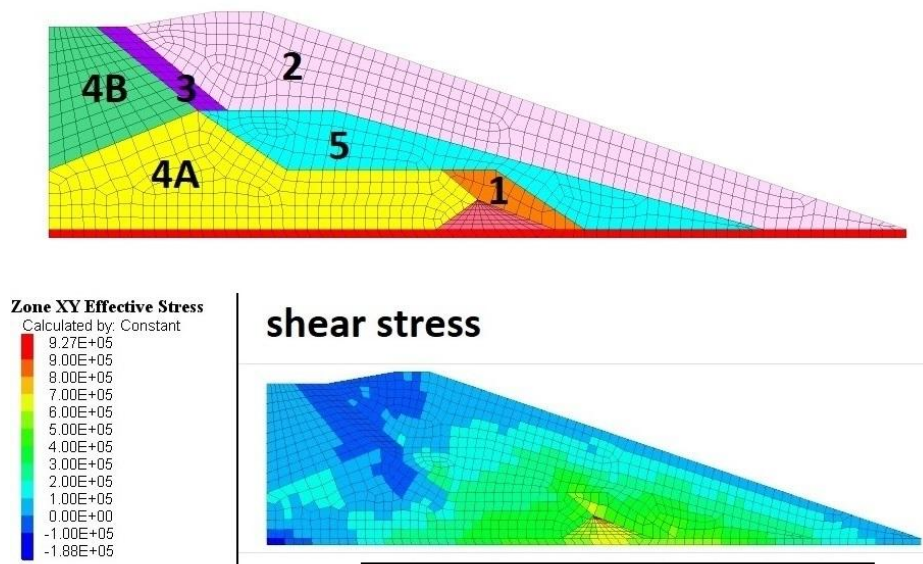


Figure 8. FLAC2D computation of shear stress in 2025 East Dam cross section A1 shows the shear stress in vicinity of starter dam and its foundation exceeds 100 kPa. Dam zone labels 1:compacted cycloned sand, 2:uncompacted cycloned sand, 3:tailings sand + cyclone overflow, 4:tailings slimes, 5:water saturated cycloned sand.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

8. Post-Liquefaction Stability Analisys

For conservative limit equilibrium computation of West and East Dam FoS values accounting for liquefaction of tailings and cycloned sand, it is necessary to assign tailings and cycloned sand zones within the dams residual undrained (e.g. liquefied) shear strengths. Since 3D dam FoS values are both less than 1.0 with assumption of complete liquefaction of the cycloned sand downstream slope, this chapter presents post-liquefaction stability analyses of the West/East Dams, descriptive of dam stability after static or seismic liquefaction triggering, to determine if ongoing dam construction and/or 2025 maximum flood conditions could destabilize dam slopes with liquefaction of tailings and cycloned sand material (Ohio EPA, 2004). An important detail of these analyses is the phreatic surface level, which determines where liquefaction of water saturated dam material requires consideration, and which has been selected to reflect current transient seepage conditions in the TSF dams relevant to static liquefaction assessment rather than long term steady state conditions relevant to post-seismic stability assessment. Because the current Health, Safety, and Reclamation Code for Mines in BC does not explicitly specify a short-term construction FoS legal requirement applicable to post-liquefaction stability analyses, the post-seismic FoS legal requirement has been identified herein as the post-static liquefaction FoS legal requirement.

Post-liquefaction stability analysis starts with a review of dam material zoning and 2019 cone penetration testing to divide the West and East Dam embankments into starter dam, cycloned sand shell, intermediate structural, and tailings zones (International Commission on Large Dams, 2019). Next, dam slope stability is examined for assignment of residual undrained (i.e. post-liquefied) shear strengths to appropriate zones using 3D limit equilibrium analysis in Slide3. These 2025 post-liquefaction stability analyses use FEFLOW seepage analyses of 2025 2D dam models calibrated to 2023 piezometer data to

approximate spring freshet 2025 dam phreatic surface and pore water pressure conditions within the dams.

8.1. Intermediate Structural Zones

The 1989 TSF Design Review assessed stability of the TSF dams against occurrence of a 1/1000 year magnitude 7.5 earthquake (Klohn Leonoff, 1989). Based on tailings deposition method, sieve analyses, and the results of standard penetration tests (SPT) performed at different distances upstream of the starter dams, this review divided the tailings material used for dam construction into 4 zones, I: compacted cycloned sand, II: uncompacted cycloned sand, III: cycloned sand/slimes beach deposits, IV: tailings and slimes, with different effective internal friction angles of 36, 30, 28, and 26, and zone II / III / IV residual undrained shear strengths of 400 psf / 200 psf / 200 psf. The review concluded that for both dams, dam stability or failure depended on the extent of zones III and IV undergoing seismic liquefaction, in that the 2D post-seismic FoS values would be 1.6 / 0.8 / 0.5 in cases where material in these zones liquefied 400+ / 200+ / 0+ feet (122+/61+/0+ meters) upstream of the starter dam centerlines, and that the controlling factor in dam stability would be the extent to which the dams are built over liquefiable materials. For both West and East Dams, critical post-seismic slip surfaces were identified as passing through liquefied tailings above the starter dam, and through the dam downstream slope above the dam toe.

2019 CPT tests of the West Dam at 4 different locations at the crest and downstream slope indicate that for conservative assignment of the state parameter ψ to different parts of the dam, tailings beach material above elevation 880m in the vicinity of the dam crest should be assigned a value of ψ between 0 and 0.1, while water saturated cycloned sand above and downstream of the West starter dam should be assigned a value of ψ between -0.05 and 0. Based on these 2019 CPT test results, the West and East Dams have been divided into 5 zones, as shown for the East Dam in Figure 8, in which a liquefaction



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

susceptible fifth zone consisting of water saturated cycloned sand has been added to the 1989 TSF Design Review zone division.

8.2. 3D Limit Equilibrium Analysis (2025)

Post-liquefaction stability of the West and East Dams has been assessed by assigning residual undrained shear strength ratios of 0.22 and 0.07 to zones 4A and 4B, following the 2020 KCB stability analysis, and 0.055 to zones 3 and 5, assuming an SPT blow count value of 10 for water saturated cycloned sand based on the 1989 TSF Design Review and a residual undrained strength ratio multiplicative factor of 0.0055 (Klohn Leonoff, 1989, Stark, 1992). Figure 9 shows the resulting Morgenstern-Price 3D FoS values of 1.1 and 1.1 computed in Slide3 for the West and East Dams, and the associated critical slip surfaces. Table 7 shows FoS values similarly computed for different values of the unsaturated cycloned sand internal friction angle and water saturated sand SPT blow count. It is noted that while the assignment of residual undrained shear strength ratio 0.055 to zone 5 is overly conservative based on 2019 CPT data, it is not known what current

CPTu data shows in regards to the extent of water saturated cycloned sand and its liquefaction susceptibility (Robertson, 2010). It is also not guaranteed that Slide3 FoS computation is finding West/East Dam critical slip surfaces, although both intelligent search and addition of weak layers were attempted without lowering the returned Morgenstern-Price FoS. Slide3 allowance for tension cracking of the cycloned sand dam crests was not observed to have any effect on FoS or slip surface results.

Table 7. Post-liquefaction FoS values.

West Dam	N=8	N=10	N=20
$\phi = 29^\circ$	0.96	0.99	1.15
$\phi = 30.5^\circ$	1.01	1.04	1.20
$\phi = 32^\circ$	1.06	1.09	1.25
$\phi = 33.5^\circ$	1.11	1.15	1.31
$\phi = 35^\circ$	1.17	1.20	1.36
East Dam	N=8	N=10	N=20
$\phi = 29^\circ$	0.95	0.99	1.21
$\phi = 30.5^\circ$	0.99	1.03	1.25
$\phi = 32^\circ$	1.04	1.06	1.30
$\phi = 33.5^\circ$	1.09	1.14	1.35
$\phi = 35^\circ$	1.14	1.20	1.41

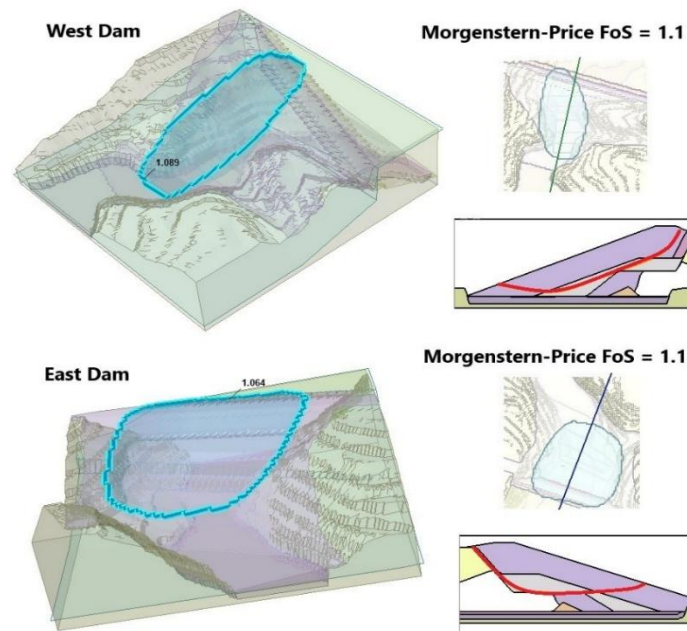


Figure 9. Post-liquefaction Morgenstern-Price FoS computation results in Slide3.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

9. Conclusion

2025 3D limit equilibrium analysis FoS values for Copper Mountain Mine West and East Dams are 1.6 and 1.9 with assumption of phreatic surface levels based on 2023 piezometer data. Both these values are above the normal operating legal limit of 1.5, as specified by the Health and Reclamation Code for Mines in BC, but significantly lower than the values of 2.2 and 2.2 reported by KCB in 2020 (Government of BC, 2018). These results support the 2021 DSR recommendation to update Copper Mountain Mine TSF dam FoS computations, and suggest BC public access to tailings dam slope stability models could help minimize the chances of major tailings dam failures in the province going forward.

Of immediate concern is evidence for clogging of West and East Dam finger drains leading to unfiltered seepage exit and the formation of internal erosion pipes through both West and East Dams. Historic examples of dam structural failure caused by internal erosion piping suggest instrumental investigation (e.g. electrical resistivity tomography) of internal erosion is warranted, and remedial construction could be required.

Another immediate concern is 2023 ADSI piezometer data indicating parts of the West and East Dam cycloned sand shells are water saturated, an occurrence highlighted as a liquefaction hazard by previous professional engineering investigations (Golder Associates, 1981). This data suggests assumption of peak undrained shear strength for cycloned sand in 3D FoS computations is not conservative, and for this reason, residual undrained shear strengths should be assigned to parts of the West and/or East Dam cycloned sand downstream slopes in post-liquefaction stability analyses. With conservative assignment of these strengths based on SPT testing, 3D post-liquefaction FoS values for both dams are less than 1.2, which is a violation of the Health, Safety, and Reclamation Code for Mines in BC seismic stability requirement. This result suggests instrumental

investigation (e.g. CPTu testing) of dam liquefaction susceptibility is warranted.

The following list itemizes these and other tailings dam slope stability concerns by document Section:

- Section 3 - Without public access to Engineer of Record slope stability analyses, the specification of lacustrine clay presence in the West and East Dam foundations and its effect on normal operating FoS values cannot be independently verified.
- Section 4 - Sentinel 2-satellite images of TSF indicate the presence of circular structures on the West and East Dams of diameter 60 m and 100 m whose absorption of blue light suggests they were not formed by sprinkler system.
- Section 5 - Water saturation of cycloned sand at East Dam toe reported in the 2022 ADSI is possible evidence of finger drain clogging. Further evidence of water saturation of cycloned sand in both West and East Dams is provided by 2023 piezometer data indicating the water tables 100 m upstream of the West Dam and 200 m upstream of East Dam starter dams are at total heads 900.2 m and 909.9 m, which in the case of the West Dam is approximately 50 m higher than measured to be in 2015. This water saturation presents a liquefaction hazard according to 1981 Golder Associates liquefaction assessment.
- Section 6 - Marked increases in West Dam recycle sump outflow before 2020 and East Dam toe drain outlet seepage flow before 2023, preceding decreases in seepage flows and marked increase in piezometer PZ10-02W and PZ15-02E total head readings, are possible evidence of internal erosion pipe formation and collapse.
- Section 7 - FLAC2D computation of shear stress in the East Dam suggests inclinometer displacements can be attributed to secondary creep of water saturated material in the vicinity of the starter dam and its foundation.



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

- Section 8 - Conservative post-liquefaction stability analyses of 2025 West and East Dams indicate FoS values are less than 1.2 with liquefaction of water saturated cycloned sand.

Based on the findings of this supplemental review, a professional engineering ITPR of West/East Dam internal erosion and liquefaction hazard is warranted, and required for initiation of any necessary dam rehabilitation operations. Therefore, at this point in time it is important for the Engineer of Record, with full knowledge of the TSF design and construction history, to publicly state their current appraisal of TSF dam structural stability so there can be public and private engineering consensus regarding what if any additional structural testing and rehabilitation operations are required.

If internal erosion is identified by direct measurement as an ongoing threat to dam stability, construction of conventional seepage cutoffs through the West and/or East Dam foundations may not be viable if this construction decreases dam stability by increasing pore water pressures within the dams. Rather, construction of additional foundation drainage and/or filtering of unfiltered seepage exits may be necessary (Cedergren, 1997, Varnier, 2018).

If liquefaction triggered slope instability is identified by direct measurement as an ongoing threat to dam stability, wick drainage of excess pore water pressure in the tailings beaches and/or relief well drilling down into the foundation may be necessary. To avoid the complication of correctly predicting liquefaction triggers, it is noted that current best practice is to assume liquefaction could be triggered and design/construct dams to a post-seismic stability standard $FoS > 1.1$ (International Commission on Large Dams, 2019, O'Brien, 2020).

Statements and Declarations

Funding: The author declares that they did not receive funding for this work.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Ethics Approval: Not applicable.

Data Availability: Contact the author if you require the .stl or Slide3 model files used for this research.

Author's Contribution: Not applicable.

References

1. Amec Earth and Environmental (AMEC) (2011). *Copper Mountain Mine Reactivation Tailings Management Facility: Final Design Reporting. Submitted to: Copper Mountain Mining Corporation., Doc. Ref.: VM00482.2011.500.*
2. Amec Foster Wheeler (2016). *Copper Mountain TMF - West Dam stability update: Report prepared for Copper Mountain Mine (BC) Ltd., Doc. Ref.: VM00428D.1.300.*
3. Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure (AMECFW) (2015). *Tailings Management Facility 2014 Annual Review & As-Built Report. Submitted to: Copper Mountain Mine (BC) Ltd., Doc. Ref.: VM00482D.1.200.*
4. Bancroft, M., & Yong, S., (2024). *Estimating shear stress within a clay foundation using the Burgers-creep model.*
5. Bechtel Ltd (1971). *Design Report for Smelter Lake Tailings Dams. Prepared for: Similkameen Mining Company Ltd.*
6. Canadian Dam Association (2013). *Dam Safety Guidelines 2007 (2013 Edition).*
7. Cedergren, H.R., (1997). *Seepage, drainage, and flow nets. John Wiley and Sons.*
8. Croker, A.J., Vantaseel, J.P., Arslan, U., & Cox, B.R., (2021). *Limitations of the*



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

- multichannel analysis of surface waves (MASW) method for subsurface anomaly detection. Proceedings of the 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Budapest, Hungary. 26-29.*
9. Dave, M., & Juneja, A., (2023). *Erosion of soil around damaged buried water pipes—a critical review. Arabian Journal of Geosciences. 16(5):317.*
 10. Dean Brox Consulting Ltd, (2024). *Key principles for hydropower tunnel design, construction and operation.*
 11. Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X., (2016). *Water bodies mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. Remote Sensing. 22;8(4):354.*
 12. Engineers and Geoscientists of B.C., (2016). *Site Characterization for Dam Foundations in B.C.*
 13. Engineers and Geoscientists of B.C., (2022). *Practice Advisory. Determining Dam Hydrologic Loading.*
 14. Emerman, S.H., (2022a). *The Risk of Tailings Dam Failure in British Columbia: An Analysis of the British Columbia Existing and Future Tailings Storage Database. Report prepared for BC Mining Law Reform and Skeena Wild Conservation Trust.*
 15. Emerman, S.H., (2022b). *The Use of the Silva-Lambe-Marr Method for Estimating the Annual Probability of Failure of the Tailings Dams at the Copper Mountain Mine, British Columbia, Canada. Report prepared for Confederated Tribes of the Colville Reservation.*
 16. Foy, J., (2016). *Mine pollution looms over BC's rivers and salmon. Wilderness Committee 35(1).*
 17. Fry, J., (2016). *Lessons on internal erosion in embankment dams from failures and physical models.*
 18. Golder Associates, (1979). *Report to Newmont Mines Ltd. (Similkameen Division) tailings dam construction location of dam centreline Smelter Lake tailings pond.*
 19. Government of B.C., (2018). *Dam Safety Guidelines: Inspection and Maintenance of Small Dams.*
 20. Golder Associates, (1981). *Report to Newmont Mines Ltd. (Similkameen Division) technical appraisal - tailings facilities Smelter Lake tailings pond.*
 21. International Commission on Large Dams, (2019). *Tailings Dam Design Technology Update.*
 22. Kezdi, A., (1979). *Soil physics: selected topics. Elsevier.*
 23. Klohn, E.J., (1979). *Seepage control for tailings dams. Proceedings, First International Conference on Mine Drainage, Miller Freeman Publications, San Francisco, CA.*
 24. Klohn Crippen, (1998). *Similco Mines Ltd. - Tailings Pond - Annual Review 1998. Klohn Crippen.*
 25. Klohn Crippen Berger, (2021). *CMM Tailings Management Facility 2020 Dam Safety Inspection Report. Submitted to: Copper Mountain Mine (BC) Ltd., Doc. Ref.: CMMTMF-84431-EM-140-10000.*
 26. Klohn Leonoff, (1989). *Similco Mines Ltd. - Design Review of Tailings Facility.*
 27. Klohn Leonoff, (1990). *Similco Mines Ltd. - Design Report Tailings Pond.*



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

28. Ladd, C.C., & Foott, R., (1974). *New design procedure for stability of soft clays. Journal of the geotechnical engineering division.* 100(7):763-86.
29. Ministry of Energy, Mines, and Petroleum Resources, Division of Mines and Minerals, (2008). *Health, Safety and Reclamation Code for Mines in British Columbia.* Victoria, B.C.
30. Morrison, K.F., (2021). *Tailings dam failures and regulatory or social response. Mining Engineering.*
31. Office of the Premier (2024) *B.C. grows critical minerals sector, sustainable jobs.* <https://news.gov.bc.ca/releases/2024PREM0003-000063>.
32. Ohio EPA, (2004). *Geotechnical and Stability Analyses for Ohio Waste Containment Facilities. Geotechnical Resource Group, State of Ohio Environmental Protection Agency.*
33. O'Brien, K., O'Brien, T., & Robinson, B., (2020). *Using the NorSand constitutive model as a tool in assessing the static and dynamic stability of tailings slopes containing contractive material. ICOLD Tailings Dam Safety Bulletin Draft.*
34. O'Donovan, C., Adam, E., & Torres-Cruz, L.A., (2022). *Remote sensing of the decant pond of tailings dams: Insights from a South African case study. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy.* 122(4):167-72.
35. Robbins, B.A., & Griffiths, D.V. (2018). *Internal erosion of embankments: A review and appraisal. Rocky Mountain Geo-Conference (pp. 61-75). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.*
36. Robertson, P.K., (2010). *Evaluation of flow liquefaction and liquefied strength using the cone penetration test. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.* 136(6):842-53.
37. Scarpelin, J., Agostinho, F.D., de Almeida, C.M., Giannetti, B.F., & Dias, L.C., (2022). *Valuation of losses and damages resulting from the Fundão's dam failure: An emergency perspective. Ecological Modelling.* 471:110051.
38. Schneider, M.A., Whittle, R.W., & Springman, S.M., (2022). *Measuring strength and consolidation properties in lacustrine clay using piezocone and self-boring pressuremeter tests. Canadian Geotechnical Journal.* 59(12):2135-50.
39. Stark, T.D., & Mesri, G., (1992). *Undrained shear strength of liquefied sands for stability analysis. Journal of Geotechnical Engineering.* 118(11):1727-47.
40. Tetra Tech, (2021). *Copper Mountain Mine Tailings Management Facility 2021 Dam Safety Review.*
41. United States Army Corps of Engineers, (2018). *Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs.*
42. Varnier, P.E., & Toro, J., (2018). *Design of a Centerline Method Tailings Dam using Mine Waste Rockfill in Peru.*
43. Villavicencio, G., Espinace, R., Palma, J., Fourie, A., & Valenzuela, P., (2014). *Failures of sand tailings dams in a highly seismic country. Canadian geotechnical journal.* 51(4):449-64.
44. Wang, X., Wei, Z., Li, Q., & Chen, Y., (2018). *Experimental research on the rheological properties of tailings and its effect factors. Environmental Science and Pollution Research.* 25:35738-47.
45. Zabolotnii, E., Morgenstern, N.R., & Wilson, J.W., (2022). *Mechanism of failure of the*



Artículo de investigación científica

Brox, 2025

*Mount Polley tailings storage facility.
Canadian Geotechnical Journal. 59(8):1503-
18.*



Anexos

GUÍA PARA AUTORES

Los autores que sometan artículos a la revista deberán incluir una carta de exposición de motivos donde expongan la congruencia de su manuscrito con la revista, así mismo, en la misma carta, deben exponer que los autores están de acuerdo con las políticas editoriales de la revista.

Tipos de publicación

Artículos de investigación: Estos deberían incluir de forma completa, clara y concisa el estado del arte, metodología y los hallazgos experimentales obtenidos por el autor (o grupo de autores).

Artículos de revisión: Este tipo de publicación deberá ser producto de una rigurosa revisión bibliográfica y, como fruto de ella debe ofrecer una clara prospectiva del tema. La extensión deberá ser entre las 5000 y 15000 palabras (incluyendo bibliografía).

Contribuciones cortas: Esas serán aceptadas cuando se consideren un avance considerable de un hallazgo experimental y, por lo tanto, se hace de forma preliminar. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras. También son aceptables artículos de revisión cortos (mini review) y estos no deben exceder las 5000 palabras (incluyendo bibliografía).

Artículos de divulgación: Se podrán abordar temas acordes a alguna de las áreas de la revista, su redacción deberá ser orientada hacia el público en general. Este tipo de contribución no debe exceder las 5000 palabras.

Lenguaje

La Mexican Journal of Technology and Engineering aceptará indistintamente contribuciones en español e inglés. Investigadores con lengua materna diferente al inglés, deben presentar un certificado de revisión emitido por alguna agencia de servicio de traducción y corrección de estilo.

Envío de manuscritos

Para enviar manuscritos a la revista es necesario que uno de los autores sea designado como autor de correspondencia. La dirección postal completa y correo electrónico debe señalarse dentro del manuscrito sometido. El autor de correspondencia deberá asegurarse de que el manuscrito sometido cumpla con todos los requerimientos señalados en la guía para autores y asegurarse de tener los siguientes documentos antes del envío:

- El Archivo en Word del manuscrito.
- Archivos individuales de las imágenes utilizadas en el manuscrito en formato JPG o TIFF.
- Archivo JPG o TIFF con el resumen gráfico (opcional).



Anexos

- En caso de utilizar recursos visuales provenientes de otras fuentes debe incluir una carta de permiso para el uso del material de los autores originales o de la editorial responsable.
- Carta de presentación del manuscrito dirigida al editor.

Todos los archivos deberán enviarse al correo electrónico editorial@mexicanjournalte.com. Las notificaciones relacionadas con la decisión del editor y el proceso de revisión serán enviadas al correo electrónico del autor de correspondencia.

Árbitros

En todos los casos los manuscritos sometidos serán arbitrados de forma independiente. Para ello, los autores pueden enviar junto con el documento sometido, un escrito donde sugieran hasta tres árbitros; proporcionando, el nombre del investigador, adscripción y correo electrónico.

Revisión por pares

La revista opera con un proceso de revisión de doble ciego. Todas las contribuciones serán revisadas por el editor de área y, una vez determinada la idoneidad del escrito sometido, se enviará para su revisión a un mínimo de dos revisores expertos quienes evaluarán la calidad científica. El editor del área será el responsable de la decisión final (aceptación o rechazo) de cada manuscrito.

Estructura y formato de las contribuciones

Aspectos generales

Todas las contribuciones que se propongan para su publicación en la *Mexican Journal of Technology and Engineering* deberán ser escritas a doble espacio (incluyendo tablas, figuras y referencias) y, usando Calibri (cuerpo), tamaño 11 en todo el manuscrito. Los márgenes en todos los costados serán de 2.5 cm. Los renglones deben estar numerados (con numeración consecutiva) en todo el manuscrito.

Los artículos deben estar divididos en secciones y subsecciones del artículo deben estar claramente definidas y debidamente numeradas (secciones: 1, 2, 3, ...; subsecciones: 1.1, 1.2, 1.3...). Los apartados básicos de la estructura principal del manuscrito se definen a continuación:



Anexos

Página de encabezado

Título. El título debe estar redactado en español e inglés. Deberá ser breve (20 palabras o menos), conciso e informativo, reflejando de forma sustanciosa el contenido de la contribución. Colocar el título en la página de encabezado. Evitar las abreviaciones, símbolos y fórmulas a medida de lo posible. Cuando sea el caso, nombres científicos deben escribirse en itálicas.

Lista de autores. Los autores deben enlistarse uno por uno colocando en renglones separados el nombre del autor (nombre y apellido), su afiliación, correo electrónico y ID-ORCID. No colocar grados académicos ni cargos laborales.

Las afiliaciones de cada autor deben especificarse colocando el departamento, la institución, estado, país y código postal.

Dentro del listado señalar claramente al autor de correspondencia colocando un asterisco en forma de superíndice al final de su nombre.

Secciones del manuscrito

Resumen. Debe ser redactado en español e inglés, con un máximo de 300 palabras de extensión. Debe estar redactado en el idioma en el que está escrito el artículo.

Palabras clave. Incluir términos que faciliten la búsqueda del artículo en línea, se aceptarán de tres a seis términos simples o compuestos, con mayúscula sólo los nombres propios, separados por comas, con punto al final de la última. Se ubicarán abajo del resumen alineadas al margen izquierdo del texto.

Introducción. Redactar el estado del arte que sustente la relevancia de la investigación y establecer de forma clara los objetivos del artículo. Esta sección no debe contener subsecciones.

Materiales y métodos. Redactar de forma detallada los procedimientos utilizados en el trabajo experimental y, en el caso de realizar procedimientos provenientes de otras fuentes de información, referenciarlos adecuadamente.

Resultados y discusión. Se presentarán los hechos derivados de la aplicación de las metodologías descritas, ordenados de manera lógica y objetiva. Los resultados deben ser descritos de forma clara y precisa, sin recurrir a la repetición de datos de tablas y figuras. En la discusión, se debe interpretar la relevancia de los resultados obtenidos y su comparación con la literatura publicada.

Conclusiones. Deben presentarse de forma categórica, breve y precisa, mencionando las aportaciones específicas al conocimiento con base en los resultados más relevantes del manuscrito.

Agradecimientos. En caso de que los autores lo consideren adecuado, en esta sección podrán reconocer a personas o instituciones que financiaron, asesoraron o auxiliaron en la investigación.



Anexos

Declaraciones y afirmaciones. En esta sección se deben colocar las siguientes declaraciones por separado:

- *Fondos:* Colocar la fuente de financiamiento de su investigación. Si los autores no recibieron financiamiento pueden colocar “Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo”.
- *Conflicto de interés:* Colocar si existen intereses financieros o no financieros relacionados directa o indirectamente con el trabajo sometido. En caso de no existir alguno se puede colocar “Los autores declaran que no existe conflicto de interés”.
- *Aprobación de ética:* Aquellas investigaciones que involucren humanos o animales como objeto de estudio deben incluir una declaración que confirme que el estudio fue aprobado (o se le otorgó una exención) por el comité de ética de investigación institucional y/o nacional correspondiente (incluido el nombre del comité de ética y el número de referencia, si está disponible). En el caso de investigaciones que involucren animales, sus datos o material biológico, los autores deben proporcionar información detallada sobre el tratamiento ético de sus animales en su presentación. En el caso de que la investigación no involucre humanos o animales como objeto de estudio se puede colocar “No aplica”.
- *Disponibilidad de los datos:* Los autores deben declarar sobre la disponibilidad de los datos incluyendo información sobre dónde se pueden encontrar los datos que respaldan los resultados informados en el artículo. Pueden colocar hipervínculos de repositorios de los datos o sugerir que se contacte a los autores colocando la leyenda “Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación”
- *Contribución de los autores:* Incluya la contribución específica de cada autor para la investigación y elaboración del manuscrito. Información acerca de la contribución de los autores puede consultarse en <https://credit.niso.org/>.

Referencias. Las referencias deben presentarse en formato APA.

Tablas. Colocar las tablas al final del manuscrito (como texto editable), en orden de aparición y debidamente numeradas. Las tablas deben de referenciarse en el manuscrito. Colocar encima de la tabla su descripción.

Figuras. Las figuras deben referenciarse en el manuscrito. Colocar al final del manuscrito los pies de imagen y enviar las imágenes en archivos independientes en formato JPG o TIFF. Las imágenes deben contener de 300 a 1000 dpi.

*NOTA: Por su naturaleza, los artículos de divulgación y de revisión bibliográfica están exentos de las secciones de materiales y métodos y, resultados y discusión. Las secciones y subsecciones del cuerpo del manuscrito son determinadas por los autores.