

**CUMBRE NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR,
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**
CNESCTI 2024

7 y 8 de noviembre de 2024

ORGANIZARON



**Academia Nacional de
Ciencias de Bolivia (ANC)**



**Asociación Boliviana para el
Avance de la Ciencia (ABAC).**



**Universidad Mayor de San
Andrés (UMSA).**

Auditorio del Edificio de la Carrera de Informática, Piso 6, de la UMSA
La Paz, Bolivia 2024

Comité Editorial

Editores Generales:

Académicos Manuel Arellano Presidente ANC

Marcos Michel, Secretario General de la ANC

Ing. Gabriel Bustillos Presidente de ABAC

Editores de Educación Superior:

Académicos Carlos Aguirre y Pedro Crespo ANC

Ing. Carlos Fernández ABAC

Editora de Soberanía Alimentaria:

Académica Ximena Cadima ANC

© 2024. CUMBRE NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN – CNESCTI 2024

Academia Nacional de Ciencias de Bolivia (ANC)

Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC)

Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)

Nro. De Depósito Legal: 4-1-642-2025 P.O.

ISBN: 978-9917-9732-1-8

Hecho en La Paz, Bolivia.

La presente publicación es el resultado de la "Cumbre Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – CNESCTI 2024". Los artículos y ponencias aquí presentados son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no expresan necesariamente el pensamiento o la posición institucional de las entidades organizadoras: la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia (ANCB), la Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC) y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Se autoriza la reproducción total o parcial de su contenido, siempre y cuando se cite la fuente.

Índice

I.	Presentación	1
II.	Objetivos y ejes temáticos de la cumbre	2
III.	Lista de conferencistas	3
IV.	Conferencias magistrales	5
V.	Artículos científicos	13
V.I.	Soberanía alimentaria.....	14
	Análisis de viabilidad de un canal alternativo mixto para la comercialización de alimentos frescos conectando a productores y clientes en Cochabamba, Bolivia	15
	Criterio de sustitución: una alternativa para determinar la dosis de encalado en suelos ácidos tropicales	38
	Detección genética forense de restos de Equus asinus (burro) en mataderos clandestinos de La Paz, Bolivia	47
	Evaluación de las estrategias de fermentación en el proceso industrial de elaboración de cerveza para incrementar la generación de dióxido de azufre	58
	Genes WRKY en Malus spp.: Identificación y Análisis de su Rol en la Adaptación a Estrés Abióticos	72
	Tecnologías hidráulicas milenarias que mitigan desastres abióticos y la inseguridad alimentaria	89
V.II.	Educación Superior.....	114
	El papel de la universidad en el desarrollo de Bolivia	115
	Habilidades metacognitivas en estudiantes de educación superior	127
	Psicopoesía Ecológica	136
	Transformación educativa en arquitectura: integración de la inteligencia artificial en la labor docente	155
	Satisfacción universitaria mejorando la calidad de servicio educativo	163
	Propuesta de herramientas informáticas para contribuir al proceso de enseñanza - aprendizaje en la universidad privada Franz Tamayo	172
VI.	Conclusiones y recomendaciones	187
VII.	Anexos.....	190
VII.I.	Programa	191
VII.II.	Lista de asistentes a la cumbre nacional de educación superior, ciencia, tecnología e innovación	198
VII.III.	Fotografías.....	211

I. Presentación

La "CUMBRE NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN – CNESCTI 2024" es un evento científico organizado por la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia (ANCB), la Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC) y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Se llevó a cabo los días 7 y 8 de noviembre de 2024 en el Auditorio del Edificio de la Carrera de Informática, Piso 6, de la UMSA, con la visión de convertirse en el espacio científico más importante del país.

La cumbre contó con la participación de actores clave como universidades públicas y privadas, centros de investigación, autoridades estatales, empresarios privados (por ejemplo, la Cámara Nacional de Industrias), organismos de cooperación internacional (como el Banco Mundial, FAO, GIZ y Embajadas), y fundaciones. Su objetivo principal fue identificar retos y soluciones en torno a la educación superior, la ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación para afrontar desafíos locales, nacionales, regionales y globales.

El eje central de la reunión fue la transformación de la Educación Superior en Bolivia, buscando un futuro basado en el conocimiento y la innovación. Se considera que la Educación Superior es el instrumento clave para el desarrollo sostenible e inclusivo de Bolivia, garantizando el conocimiento y el respaldo para el bienestar de todos. En este sentido, el papel de las universidades es fundamental porque integran la investigación, la educación, el desarrollo profesional y, crucialmente, la crítica intelectual fundamentada.

Sin embargo, para alcanzar este potencial, se deben encarar varios problemas:

- La falta de recursos financieros e infraestructura.
- La necesidad de formar formuladores de políticas que reconozcan la prioridad de un sistema universitario de alta calidad.
- El desafío de desarrollar un nuevo criterio de universidad de clase mundial.
- La carencia de programas de posgrado sostenidos para promover la formación disciplinar e interdisciplinaria avanzada.

Para superar estos desafíos, se requieren acciones ambiciosas en investigación, innovación y educación. El Estado debe jugar un papel fundamental en el financiamiento y fomento de la investigación, y las empresas deben fomentar la colaboración entre universidades y el sector productivo.

Los organizadores enfatizaron que estamos en un momento crucial donde la integración de la innovación pedagógica, el desarrollo de habilidades metacognitivas, el uso estratégico de la tecnología y un fuerte apoyo institucional y estatal son imperativos para lograr las transformaciones urgentes. Es necesario fomentar una cultura de excelencia y responsabilidad para que las universidades bolivianas preparen profesionales competentes y contribuyan a un desarrollo integral y soberano.

Metafóricamente, se plantea la necesidad de transformar las "naves antiguas" (universidades) en "modernas" para transitar un "mar moderno y turbulento". Esto implica:

- Modernizar metodologías y planes de estudio para desarrollar habilidades metacognitivas.
- Mejorar la infraestructura tecnológica y de conectividad.
- Capacitarse en el uso de TIC e IA.
- Ajustar políticas de fomento a la investigación y posgrado.

Solo de esta manera, la "antigua nave" podrá convertirse en un navío de clase mundial, no solo para mantenerse a flote, sino para liderar la expedición hacia una Bolivia basada en el conocimiento y la prosperidad de sus ciudadanos

II. Objetivos y ejes temáticos de la cumbre

Se reconoce ampliamente que la Educación Superior, la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (ESCTI) constituyen las bases del conocimiento y el desarrollo sostenible de toda nación. Por ello, fomentar la generación de conocimiento relevante, promover la investigación aplicada, impulsar el desarrollo tecnológico y, especialmente, financiar programas y proyectos de innovación mediante políticas públicas, se considera que contribuirán significativamente a los modelos económicos de desarrollo sostenible nacionales, permitiendo actuaciones más eficientes y eficaces basadas en evidencias científicas.

En este contexto, la institución de esta Cumbre como el evento científico más relevante del país es crucial. Se concibe como una plataforma nacional vital para compartir conocimientos, analizar estadísticas actuales, debatir problemas, proponer soluciones, descubrir nuevas ideas y forjar colaboraciones que impulsen el nuevo paradigma de nuestra nación.

Además, la presentación de artículos científicos ofrece a los investigadores bolivianos la oportunidad de difundir sus trabajos y propuestas, especialmente a los más jóvenes, para su crecimiento personal y profesional, la obtención de reconocimiento académico y la construcción de una base de datos científica sólida para la formulación de políticas públicas. Asimismo, la Cumbre será un espacio clave para generar acuerdos y compromisos entre entidades públicas y privadas, la sociedad civil y organismos internacionales.

Los objetivos clave de la Cumbre incluyen:

- Fomentar la investigación científica aplicada.
- Promover la escritura y publicación de artículos científicos.
- Promover la colaboración intersectorial y entre pares.
- Crear una hoja de ruta para el desarrollo sostenible del país.

Los Ejes temáticos definidos para la CNEDCTI 2024 fueron: 1) Educación Superior, 2) Transición Energética, 3) Recursos Hídricos, 4) Seguridad Alimentaria y 5) Cambio Climático

III. Lista de conferencistas

Ac. M.Sc. Pedro Crespo Conferencia – Academia Nacional de Ciencias

Ing. Pablo Camacho - Cámara Nacional de Industrias

PhD Pabel Fernández - Asociación Internacional del Agua y Tecnológico de Monterrey

Ing. Diego A. Miranda - Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos IIDEPROQ -UMSA

PhD Andreas Blom – Gerente de la Práctica de Educación del Banco Mundial

Ac. DAEN Dr. Horacio Toro - Academia Nacional de Ciencias

Ing. Mariana Daza – HELVETAS

Ing. Génesis Nava - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

PhD. Rodrigo Roubach - Representante de la FAO en Bolivia

Ing. Geraldine Villa Canaviri - IIDEPROQ – UMSA

PhD Cnel DAEN Dorian Ariel Arce Conde - Escuela Militar de Ingeniería (EMI)

PhD Adhemar Poma - Especialista en Educación y Desarrollo UMSA

PhD Carlos Fernández Mariño – Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC)

Ing. Sergio Ledezma – Agregado de Representación de la FAO Bolivia

Articulist: Ruth Mercedes Laura Choque, Giovana Karla Torrez Juaniquina y Antonio López Andrade

Articulist: Facundo Aliaga, Marco Bedregal y Edgar Salazar (UPB Santa Cruz)

Articulista: Sandra Verónica Carretero Valdez (UMSS-Cochabamba)

Articulist: Benigno Caballero Claure y Rolando Caballero Martínez (UTO, UCB y UAGRM)

Articulist: Ivette Echeverría Rojas, Oliver Saavedra Valeriano

Articulist: Freddy Soria, Carolina Garvizu y Omar Salinas (UCB La Paz)

Articulist: Natalia Maite Romero Seleme, Nury Katya Rosales Rojas, María Mercedes Álvarez Caero, Henry Antezana Fernández

Articulistat: Melisa Maldonado Nogales, Pascual Maldonado López

Articulistat: Winder Felipez, Martha Serrano, Jennifer Villavicencio, Wilson Siñaniz, Willams Pillco y Antonio Costa de Oliveira (UNSXX)

Articulista: Sergio Daga

Articulistat: Daniela Andrea Arteaga Voigt, Ángel Fernando Copa Bazán, Ruddy Luna Barrón

Articulistat: Evelyn Clara Agreda Terrazas y Agatha Da Silva Ovando

Articulistat: Marko Andrade Uzieda, Mariela Iquize Jaillita, Saul Salazar Claros, y Rocio Guzmán

Articulistat: Jhonatan Enrique Ureña Camacho, Oliver Cristian Saavedra Valeriano

IV. Conferencias magistrales

- El M.Sc. Pedro Crespo de la ANC, en su conferencia “La visión de la ANCB sobre la Educación Superior en Bolivia hacia el 2040”, reconoció que las universidades bolivianas son un instrumento clave para el desarrollo sostenible e inclusivo, la soberanía y la fortaleza del país, al ser el centro de origen del conocimiento, investigación, educación, entrenamiento profesional y crítica intelectual. Para cumplir su misión, la libertad académica y autonomía institucional son esenciales para garantizar la calidad en la enseñanza y la investigación. Bolivia debe abandonar su papel pasivo en la globalización, priorizando la investigación, innovación y una educación de muy alta calidad para alcanzar prosperidad y equidad. Sin embargo, la universidad boliviana enfrenta desafíos significativos. Los rankings globales muestran que instituciones como la UMSA, UMSS y la Universidad Católica tienen un posicionamiento bajo en publicaciones a nivel latinoamericano.

Existen limitaciones en la gobernanza, donde los intereses personales y la burocracia pueden obstaculizar la excelencia académica. La oferta sostenida de programas de posgrado es limitada, especialmente maestrías y doctorados, lo que afecta la formación de docentes calificados y la investigación. Los centros de excelencia de clase mundial carecen de recursos financieros e infraestructura, dependiendo a menudo de la cooperación internacional. Es imperativo construir instituciones más sólidas y que las universidades adopten un nuevo modelo que se adapte a las necesidades nacionales y regionales, superando el modelo tradicional. La disminución de fondos como el IDH y la cooperación internacional subraya la necesidad de fomentar interrelaciones con el sector productivo. El objetivo es generar un ambiente estimulante para estudiantes y profesores, que asegure la calidad en la investigación y la enseñanza.

- El Ing. Hugo Siles Espada, asesor de Presidencia y Gerencia de la Cámara Nacional de Industrias, en su conferencia “Requerimientos de las empresas en Bolivia de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación” relevó que se debe: a) promover reformas educativas con la visión de lograr la pertinencia y calidad educativas, b) promover habilidades que apuntan el desarrollo económico, competencias orientadas a resolver problemas, y c) enfatizar el enfoque de triple hélice para la política educativa: Estado, Universidad, Empresa Privada para ajustar la oferta educativa a la demanda empresarial. También, impulsar la alianza entre la academia, el sector público y el sector privado, para promover centros de promoción de inversiones en tecnología y capacitación para incrementar la productividad y competitividad de la producción nacional. Finalmente, aplicar y promover políticas de concientización, de fomento y de transición hacia una economía más sustentable, a través de la creación de incentivos, el cambio de la matriz energética y la implementación de la economía circular.

- Los Ings. Diego A. Miranda y Waldo Vargas Ballester del Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos IIDEPROQ, en su conferencia “Perspectivas de la Investigación Académica en Suecia y Bolivia en el Marco de la Innovación Global” destacaron que la investigación científica y tecnológica es un pilar esencial para el progreso en educación superior y la competitividad global. En esta presentación, se exploraron las diferencias y similitudes en los modelos de investigación de Suecia y Bolivia, con base en datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO) y otras fuentes internacionales. Suecia, un país reconocido por su alta inversión en investigación y desarrollo, destina aproximadamente el 3.4% de su PIB a esta área y ocupa el segundo puesto en el Índice Mundial de Innovación 2023 de la WIPO, con un sistema sólido que se apoya en la sinergia entre el sector académico, el sector privado y el Estado. Las universidades y centros de investigación suecos son líderes en áreas clave como biotecnología, energías renovables y tecnología digital, alineándose con las principales tendencias de investigación en el mundo. En contraste, Bolivia destina alrededor del 0.2% de su PIB a investigación y desarrollo, situándose entre los países de menor inversión en investigación en América Latina según la WIPO. Esta limitación presupuestaria, la falta de infraestructuras adecuadas y la organización de la investigación limitan la competitividad científica del país y su visibilidad en el ámbito internacional. A pesar de ello, Bolivia ha iniciado esfuerzos para fortalecer su investigación en áreas prioritarias como biodiversidad y sostenibilidad, áreas estratégicas en las que el país tiene una ventaja comparativa natural. Este análisis comparativo ofrece una visión crítica de cómo Bolivia podría reforzar su modelo de investigación, proponiendo estrategias para fomentar la colaboración con instituciones del sector industrial y académico, diversificar fuentes de financiamiento y adoptar prácticas exitosas observadas en Suecia. La presentación busca inspirar posibles rutas hacia un sistema de investigación más sólido en Bolivia, impulsando una cultura científica y de innovación, que no se limita solo a la creación de tecnología avanzada, también incluye el desarrollo de nuevos enfoques organizacionales, modelos de negocio y técnicas que mejoran la competitividad y la eficiencia, permitiendo así abordar los problemas de nuestra sociedad y competir en el ámbito global.

- El M.Sc. Andreas Blom, Gerente de la Unidad de Educación del Banco Mundial para América Latina y el Caribe, en su conferencia “Educación Terciaria” resaltó que la Educación Superior (ES) es clave para el desarrollo y la innovación en América Latina y el Caribe (ALC), ayudando a superar desafíos como el bajo crecimiento y la "trampa del ingreso medio". Las universidades son fundamentales para producir capital humano, conocimiento y tecnología, cumpliendo misiones de educar, investigar e intercambiar saberes. Su impacto en la innovación se adapta a diferentes sectores tecnológicos, desde la adaptación en baja tecnología hasta la investigación básica en tecnología profunda. Sin embargo, ALC enfrenta retos como la persistente pobreza y desigualdad. El acceso con equidad a la educación superior (ES) es un desafío, con poca priorización de estudios STEM o programas técnicos de ciclo corto. Además, hay escasa colaboración entre universidades y empresas, y la investigación producida es limitada y de bajo impacto. Para avanzar, es crucial invertir más en ES, asegurar la equidad en el acceso y profesionalizar la gestión. Se debe mejorar la

pertinencia de la oferta educativa y, vitalmente, establecer relaciones con la industria e impulsar la investigación doctoral. Existen ejemplos regionales exitosos que sirven de modelo para estas transformaciones

- El Dr. Horacio Toro de la ANC, en su conferencia “Desastres Antrópicos, Sociales y su Impacto en la Salud Humana, Bolivia, 2023 – 2024” destacó que este tipo de accidentes ocurren sobre la vía y se presentan súbita e inesperadamente, determinados por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles, atribuidos a factores humanos, vehículos, automotores, condiciones climatológicas, señalización y caminos, los cuales ocasionan pérdidas prematuras de vidas humanas y/o lesiones, así como secuelas físicas o psicológicas, perjuicios materiales y daños a terceros.

Existen múltiples Leyes en el mundo y en Bolivia que regulan el tránsito, la viabilidad y la seguridad ciudadana, pero por lo general son infringidas. Actualmente los accidentes de tránsito constituyen un grave problema de salud pública en todo el mundo, ya que éstos ocasionan un alto número de víctimas y lesionados, años de vida perdidos prematuramente, alteraciones psicológicas, así como altos costos hospitalarios para las víctimas y altos costos de atención institucionales. El costo económico de estos choques y lesiones causadas por el tránsito asciende al 1% del producto nacional bruto (PNB) en los países de ingresos bajos, al 1,5% en los de ingresos medianos y al 2% en los de ingresos altos. Los accidentes de tráfico cuestan a los países alrededor del 3% de su PIB. El primer trimestre del 2024 se registraron 7.802 casos, con un aumento del 21,45% en la cantidad de personas heridas, en relación al año anterior.

La ciencia contribuye con la accidentología para esclarecer las causas o motivos de los accidentes planteando una gama muy amplia de tecnologías que pueden prevenir los accidentes, las personas heridas y las muertes por esta causa.

- La Ing. Génesis Nava del Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ, en su conferencia “Retos en la Gestión de los Recursos Hídricos en Bolivia” destacó que los retos en la gestión de recursos hídricos tienen que ver con: a) la pérdida de glaciares, 50% en 1980-2020 (IGEAM), b) eventos extremos debido al cambio climático, sequía 2016 – Fenómeno del Niño (CNN), c) acceso no equitativo y crecimiento poblacional, 86% de la población cuenta con agua potable (OMS, UNICEF), d) saneamiento, el 35% de la población tiene acceso a servicios en el área rural (BM), y e) Contaminación, fuentes antrópicas. El Proyecto PROCUENCA - GIZ, se implementa en las cuencas: Azero – en 10 municipios de Chuquisaca (Sopachuy, Tarvita, Azurduy, Alcalá, Villa Serrano, Padilla, El Villar, Monteagudo, Villa Vaca Guzmán y Tomina); Paraguá, San Martín y Subcuenca Zapocó en 4 municipios de Santa Cruz (San Ignacio de Velasco, Urubichá, Concepción y San Miguel); y Guadalquivir en 4 municipios de Tarija (San Lorenzo, Padcaya, Uriondo y Tarija). Los impactos y logros en la Cuenca Azero: 1) plataforma interinstitucional constituida y conformada por distintos actores de la cuenca. Sus actividades se enfocan en la

implementación y monitoreo del PDC, 2) actores capacitados que aplican el conocimiento, 75 mujeres y 126 varones, 3) programas con radio ACLO, 65.700 oyentes/día y 8 programas de 1h y 7 microprogramas, 4) sistema de información, bases de datos SIG en la cuenca sistematizados y más de 50 mapas elaborados, 5) normas, reglamento departamental de pesca y ley municipal de conservación y protección de fuentes de agua y zonas de recarga hídrica, 6) estudios y herramientas en biodiversidad, optimización de redes de monitoreo hidrometeorológico, evaluación de riesgo climático, apoyo a la toma de decisión tomando en cuenta incertidumbres climáticas y no climáticas (XLRM) y actualización del balance hídrico, evaluación de riesgo climático, entre otros, y 7) medidas con enfoque adaptación basado en ecosistemas, nueve proyectos. En la Cuenca Guadalquivir: 1) plataforma interinstitucional constituida y conformada por distintos actores de la cuenca. Sus actividades se enfocan en la implementación y monitoreo del PDC, 2) actores capacitados que aplican el conocimiento, 302 mujeres y 368 varones, 3) programas con radio ACLO, 65.700 oyentes/día y 8 programas de 1h y 7 microprogramas, 4) sistema de información, bases de datos SIG en la cuenca sistematizados y más de 50 mapas elaborados, 5) ley municipal marco de áreas protegidas, 6) estudios y herramientas en biodiversidad, optimización de redes de monitoreo hidrometeorológico, evaluación de riesgo climático, apoyo a la toma de decisión tomando en cuenta incertidumbres climáticas y no climáticas (XLRM) y actualización del balance hídrico. evaluación de riesgo climático, entre otros, y 7) medidas con enfoque adaptación basado en ecosistemas. En las cuencas Paraguá, San Martín y subcuenca Zapoco: 1) 5 proyectos piloto, 1556 hectáreas de tierra gestionadas de forma sostenible a través del enfoque de adaptación basada en ecosistemas, 2) actores capacitados que aplican el conocimiento, 259 personas con mayor seguridad hídrica y medios de vida, 3) sistema de información, bases de datos SIG en la cuenca sistematizados y más de 50 mapas elaborados, 4) estudios y herramientas, estrategia departamental de cambio climático, estrategia departamental de seguridad hídrica, estudio de ganadería sostenible, entre otros.

- El PhD Rodrigo Roubach Representante de la FAO en Bolivia, en su conferencia “Transformación de los Sistemas Alimentarios” señaló lo siguiente: El sistema alimentario mundial enfrenta desafíos como el cambio climático, la inseguridad alimentaria y la malnutrición, por lo que es esencial transformarlos para asegurar la seguridad alimentaria y la prosperidad económica. Entre los principales hallazgos se citan: a) cerca de 733 millones de personas viven con hambre en el mundo, y que la malnutrición adopta múltiples formas, incluyendo desnutrición, carencia de micronutrientes y sobrepeso y obesidad; b) la necesidad de promover el diálogo para facilitar la interacción de la ciencia, la experiencia y las políticas, y la importancia de forjar soluciones colectivas para los objetivos y compromisos sociales; c) en los sistemas alimentarios tradicionales, los consumidores dependen de alimentos de temporada mínimamente elaborados, recolectados o producidos para consumo propio o para su venta sobre todo en mercados informales; d) actualmente los sistemas alimentarios tradicionales se asocian a la mayor prevalencia de la desnutrición, que incluye el retraso del crecimiento, la emaciación y la mortalidad de niños menores de 5 años, y a la mayor prevalencia de carencias de micronutrientes, pero con niveles inferiores de sobrepeso y

obesidad en adultos; e) apoyar y fortalecer las empresas agroalimentarias, para lo que es preciso: Generar capacidad de gestión de riesgos basada en la captura de datos y el acceso a lo largo de la cadena de valor para orientar el cambio hacia modelos de negocio más resilientes y sostenibles, así como medidas para prevenir infecciones y contaminación en las líneas de producción, prestando especial atención a la salud ocupacional. Los objetivos incluyen impulsar la transformación hacia sistemas alimentarios resilientes a los choques, garantizar la salud y el bienestar de las personas, promover la inclusión y mejorar la sostenibilidad ambiental y económica. Se propone innovaciones para mejorar la eficiencia, la inclusividad y la resiliencia de las cadenas de suministro de alimentos, como apoyar el diseño y la implementación de medidas para evitar perturbaciones logísticas y garantizar el funcionamiento seguro de los mercados. Los métodos incluyen el apoyo a la creación de mecanismos de gobernanza alimentaria multisectoriales y multiactor a nivel subnacional, nacional, regional y global, y el fomento de la capacidad para analizar y elaborar políticas y programas nacionales. Se espera que los sistemas alimentarios sostenibles tengan capacidad para hacer frente a la escasez de agua, responder al cambio climático y proteger la biodiversidad. Los resultados esperados incluyen la creación de sistemas alimentarios más resilientes y sostenibles, y la promoción de la inclusión y la mejora de la sostenibilidad ambiental y económica. Finalmente, los sistemas alimentarios son esenciales para la supervivencia humana y para un mundo libre de hambre, y es necesario trabajar para hacerlos más eficientes, más inclusivos, más resilientes y más sostenibles. La conclusión es que la recuperación de la crisis multidimensional debe llevar a una forma diferente de operar, y que la FAO actúa y continúa promoviendo en varios frentes para alcanzar una Mejor Producción, Mejor Nutrición, Mejor Medio Ambiente, una Vida Mejor, sin dejar a nadie atrás.

- Los Ings. Geraldine Villa Canaviri y Boris Párraga Andrade del IIDEPROQ – UMSA, en su conferencia “Estudio y Aplicación de Electrodialisis para la Reducción de la Relación Mg/Li en la Salmuera de Silvinita del Salar de Uyuni” destacaron que Bolivia posee una de las mayores reservas de litio en el mundo, con 12 millones de toneladas métricas, aunque su explotación enfrenta retos por la alta proporción magnesio-litio (R Mg/Li) en las salmueras. Los métodos tradicionales de extracción, que incluyen piscinas de evaporación, presentan costos operativos bajos y bajo consumo de energía, pero generan importantes impactos ambientales: alto consumo de agua, alteraciones en la biodiversidad, aumento de sólidos suspendidos en el aire, incremento de la salinidad en el suelo y agua, y cambios en la dinámica hidrológica. Para mitigar estos efectos, Bolivia busca implementar tecnologías de Extracción Directa de Litio (EDL) en su plan de industrialización, siendo crucial el estudio de estas tecnologías para su optimización y escalamiento. Una tecnología EDL destacada es la electrodialisis (ED), que separa iones en soluciones salinas mediante membranas selectivas y un campo electroquímico, permitiendo la separación de iones monovalentes y polivalentes. El IIDEPROQ ha identificado la necesidad de estudiar esta técnica, desarrollando investigaciones en salmueras de silvinita del Salar de Uyuni, con simulaciones y escalamiento de procesos ED. En este proyecto, se eligió la salmuera de silvinita debido a su baja concentración de cloruros de sodio y potasio, y se emplearon membranas de

intercambio catiónico y aniónico (MIC 7000 y AMI 7001, respectivamente). En pruebas experimentales, se optimizó el proceso al aplicar un voltaje de 7 V y un caudal de 5.7×10^{-7} m³/s, logrando reducir la R Mg/Li en un 46.99% y aumentar la concentración de litio en un 94.22%. El control del pH fue esencial para evitar la formación de precipitados que afectan la eficiencia del proceso. Finalmente, se demostró que la ED no solo optimiza el tiempo operativo, sino que reduce el uso de piscinas de evaporación, contribuyendo a la conservación de los recursos hídricos y reduciendo el impacto ambiental.

- El Cnel. DAEN Dorian Ariel Arce Conde Ph.D. Director de Posgrado de la EMI, en su conferencia “Conocimiento Científico, Sinergia para el Desarrollo del Estado” destacó que el desarrollo es un concepto histórico que evoluciona y se refiere al proceso de progreso y crecimiento de una comunidad en aspectos económicos, sociales, culturales o políticos. La conferencia destacó la importancia de considerar el todo y las partes como interconectadas, y que el efecto puede retro actuar sobre la causa. Se enfatizó en la importancia de entender el concepto de desarrollo de manera integral. Se sugirió una aproximación sistémica y dialógica para entender el desarrollo. Se relevó la importancia de considerar el desarrollo como un proceso complejo y multifacético. La conferencia concluyó que el desarrollo es un concepto dinámico y complejo que requiere una comprensión integral y sistémica.

- El PhD. Adhemar Poma, especialista en Educación y Desarrollo, en su conferencia “Tendencias Contemporáneas en el Enfoque de Competencias” hizo notar que el contexto actual de incertidumbre y cambios tecnológicos requiere que los programas académicos se centren en desarrollar competencias que mejoren la empleabilidad y adaptabilidad de los graduados, así como su bienestar personal y profesional. Identificó ocho tendencias en el enfoque de competencias: Tendencia 1. Enfoque basado en resultados: resultados de aprendizaje esperados; Tendencia 2. Aprendizaje activo y experiencial: aprendizaje práctico y contextualizado, situaciones reales o simuladas; Tendencia 3. Aprendizaje colaborativo: saber trabajar con otros sin importar el lugar donde estos se encuentran. Saber colaborar, compartir conocimientos y contribuir en equipos; Tendencia 4. Pensamiento tecnológico: manejar cualquier tipo de tecnología; Tendencia 5. Evaluación auténtica de competencias: manera más auténtica y contextualizada y evaluaciones basadas en desempeño; Tendencia 6. Enfoque en la empleabilidad: demandas del mercado laboral, adaptabilidad a entornos laborales enfrentando los riesgos de automatización; Tendencia 7. Competencias socioemocionales: desarrollar competencias socioemocionales; y Tendencia 8. Internacionalización de la formación: internacionalización de la formación e intercambio académico, programas de doble titulación. En resumen, se espera que los estudiantes desarrollen competencias que les permitan trabajar de manera efectiva en un mundo globalizado e hiperconectado, y que puedan adaptarse a entornos laborales cambiantes.

- El PhD. Carlos Fernández Mariño, representante de la ABAC y Docente de la UMSA, en su conferencia “Las Ciencias de la Complejidad en la Educación Superior y Posgrado” hizo algunas consideraciones previas sobre: las certidumbres en el siglo XX y las incertidumbres en el XXI; los impactos de la IV revolución industrial en los sistemas de educación; la deontología y el comportamiento humano; la crisis mundial del sistema democrático; y la urgencia de un nuevo modelo académico en los sistemas de educación. Indicó que en el Congreso Mundial de Educación en Barcelona 2022 se abordaron los últimos avances y tendencias en pedagogía, innovación educativa y políticas públicas con el objetivo de transformar la educación en el mundo. La misión de la enseñanza educativa, es transmitir, no es el saber puro, sino una cultura que permita comprender nuestra condición y ayudarnos a vivir al mismo tiempo, es favorecer una manera de pensar abierta y libre. Mencionó las cinco ciencias de la complejidad: 1) Termodinámica del no equilibrio desarrollada por Prigogine en 1945, 2) Teoría del Caos por Lorenz en 1963, 3) Geometría especial de Fractales desarrollada por Mandelbrot en 1997, 4) Teoría de las Catástrofes desarrollada por Rene Thom en 1977, 5) La teoría de redes y las lógicas no clásicas. El reto es integrar diversas disciplinas para abordar problemas complejos hasta la aplicación de sus principios en la toma de decisiones y la comprensión de fenómenos sociales y naturales. Las distintas lógicas no clásicas son: a) La lógica difusa, y b) La lógica Cuántica. Sus antecedentes se hallan en los conceptos y los problemas de la mecánica cuántica, la teoría de la relatividad y el principio de incertidumbre de Heisenberg. Las ciencias sociales y humanas poseen características, objetos y problemas de mayor complejidad que las ciencias básicas y naturales. El resultado es sorprendente. Los cambios verdaderamente significativos son aquellos que en el mundo y en la vida real tienen lugar repentinamente. Aquello que los caracteriza es la sorpresa y su irreversibilidad. Describió las tres ecuaciones más relevantes de las 17 que cambiaron al mundo: 1) Cálculo infinitesimal (1690 d.c.), 2) Navier – Stokes (1822 d.c.), y 3) Schrodinger (1925 d.c.). El principio de complementariedad se refiere a la idea de que dos o más cosas, que pueden parecer contradictorias o mutuamente excluyentes, son en realidad necesarias para una comprensión completa de un fenómeno o situación. El principio de incertidumbre de Heisenberg establece que existe un límite fundamental en la precisión con la que se pueden conocer simultáneamente ciertas propiedades de una partícula, como la posición y el momento (o velocidad). La Teoría de las Catástrofes, es una herramienta matemática que describe cómo pequeños cambios en las entradas de un sistema pueden llevar a cambios abruptos y discontinuos en su comportamiento. La teoría de los fractales es un concepto matemático que describe formas geométricas complejas, irregulares y autosimilares que se repiten a diferentes escalas. La ingeniería de sistemas complejos es una disciplina que aborda el diseño, análisis y gestión de sistemas con alta interdependencia y complejidad, donde múltiples componentes interactúan de forma no lineal. Se propuso cuatro instrumentos conceptuales sobre los cuales fluye la complejidad de los sistemas sociales humanos y post humanos. Finalmente, abordó la teoría de conjuntos, la teoría de los n cuerpos, la topología y las redes, la combinatoria y la complejidad computacional.

- El M.Sc. Sergio Ledezma, Agregado de Representación de la FAO Bolivia, en su conferencia “Hacia un Modelo Agroalimentario Sostenible: El Poder de la Innovación” disertó acerca de que la FAO busca lograr la seguridad alimentaria para todos a través de la innovación y la transformación de los sistemas agroalimentarios, abordando desafíos como el hambre, la malnutrición y el cambio climático. Indicó que se han identificado varias tendencias comunes, incluyendo la falta de acceso y adopción de innovaciones apropiadas, la inversión insuficiente en investigación y los desafíos de aprovechar la ciencia y la evidencia para la toma de decisiones. Además, se ha encontrado que la inversión global en investigación agrícola creció un 50 por ciento entre 2000 y 2016, pero se trató principalmente de países en desarrollo. El objetivo principal es lograr la seguridad alimentaria para todos a través de la innovación y la transformación de los sistemas agroalimentarios. La FAO también busca promover la cooperación internacional y la transferencia tecnológica. El objetivo específico es aprovechar la ciencia y la innovación para aplicar soluciones sistémicas y específicas para cada contexto. La FAO utiliza varios métodos, incluyendo la creación de normas internacionales, el fomento del diálogo global y la facilitación de la creación de conocimientos y políticas coherentes. También se apoya en estudios científicos y datos objetivos para mejorar el intercambio de conocimientos. La Estrategia de la FAO para la ciencia y la innovación se basa en principios que incluyen un enfoque de derechos, igualdad de género, ética y sostenibilidad. Se espera que la implementación de la Estrategia de la FAO para la ciencia y la innovación tenga varios resultados, incluyendo la transformación de los sistemas agroalimentarios, la mejora de la seguridad alimentaria y la nutrición, y la promoción de la sostenibilidad ambiental. También se busca contribuir a la erradicación de la malnutrición a través de la educación alimentaria nutricional. La FAO concluye que la innovación es fundamental para transformar los sistemas agroalimentarios y lograr la seguridad alimentaria para todos. La Estrategia de la FAO para la ciencia y la innovación es un instrumento clave para lograr este objetivo. La FAO también destaca la importancia de la cooperación internacional y la transferencia tecnológica para lograr la sostenibilidad agroalimentaria.

V. Artículos científicos

V.I. Soberanía alimentaria

Análisis de viabilidad de un canal alternativo mixto para la comercialización de alimentos frescos conectando a productores y clientes en Cochabamba, Bolivia

Evelyn Clara Agreda Terrazas¹

Agatha Da Silva Ovando¹

Resumen

Este documento presenta el diseño de un canal mixto para establecer una conexión directa entre el productor de alimentos frescos y distintos mercados consumidores en la ciudad de Cochabamba, Bolivia. El objetivo general de esta iniciativa es diseñar un canal mixto para la recepción y entrega de alimentos frescos, considerando la demanda de los hogares y del sector HORECA (Hoteles, Restaurantes, Cafés) en la ciudad. Para ello, se realizó la recolección de datos a través de entrevistas y encuestas, considerando a los productores, intermediarios y consumidores. En el diseño del canal, se determinó la ubicación de los puntos de distribución en las comunas de las zonas norte y central, así como un centro de almacenamiento y distribución. Para el diseño del modelo de distribución, se consideraron opciones mixtas. Se utilizó el algoritmo de Compra en Línea y Recogida en Tienda (BOPS) para modelar la conexión entre productores y puntos de conveniencia en la ciudad. En complemento, se empleó un algoritmo heurístico para el Problema de Rutas de Vehículos (VRP), el cual permitió definir rutas óptimas de entrega al canal HORECA. Esto para establecer un canal de distribución directa para frutas y verduras, considerando no solo el proceso dentro del centro de acopio, sino también la determinación de la ruta más eficiente para la entrega, basándose en las necesidades de los consumidores.

Palabras claves: Distribución de alimentos frescos, compra en línea y recoge en tienda, problema de enrutamiento de vehículos, canales mixtos.

¹ Centro de Operaciones Logísticas, Universidad Privada Boliviana. Correo de contacto: evelynagreda1@upb.edu, agathadasilva@upb.edu

Abstract

Feasibility analysis of an alternative mixed channel for the marketing of fresh foods connecting producers and customers in Cochabamba, Bolivia

This document presents the design of a combined channel to establish a direct connection between the fresh food producer and the customer in Cochabamba city. The overall objective of this initiative is to design a mixed channel for the reception and delivery of fresh food considering the demand of households and the HORECA sector (Hotels, Restaurants, Cafes) in the city. Thus, data collection was carried out through interviews and surveys, considering the producers, intermediaries, and customers. In the channel design, the location of distribution points in the northern and central zones was determined, as well as a storage and a distribution center. The development of the Buy Online Pick up in Store (BOPS) algorithm was used to model the connection between producers and points of convenience in the city. A heuristic algorithm in Python was also employed for the Vehicle Routing Problem (VRP), which allowed defining optimal delivery routes to the HORECA channel. This to establish a direct distribution channel for fruits and vegetables, considering not only the process within the collection center but also determining the most efficient route for delivery based on customers' needs.

Keywords: Fresh Food Distribution, Buy Online Pick up in Store, Vehicle Routing Problem, Mixed channels.

Introducción

Diariamente, los países enfrentan situaciones que comprometen la seguridad alimentaria de la población, tales como desastres naturales, uso de tecnología obsoleta y desperdicio de alimentos a lo largo de la cadena de suministro. Según la FAO, se estima que el 33% de los alimentos producidos globalmente se desperdician anualmente, lo que representa alrededor de 1,300 millones de toneladas, de las cuales el 40% se pierden en las etapas de postcosecha y procesamiento (Graham, 2020). En Bolivia, se generan un total de 16.200 toneladas de desperdicio de alimentos anualmente, según datos del Banco de Alimentos de Bolivia. De esta cifra, 1,800 toneladas provienen solo de la ciudad de Cochabamba. Este desperdicio impacta negativamente al medio ambiente, ya que diversos recursos como agua, tierra y energía se utilizan en la producción de estos alimentos. Al no aprovecharse estos alimentos, los recursos utilizados para producirlos también se desperdician. Del total de alimentos desperdiciados, el 50% son vegetales y el 23% frutas. Estos dos grupos de alimentos son los más desperdiciados en Bolivia, seguidos de las carnes, cereales y productos lácteos (Los Tiempos, 2020).

La cadena de distribución en el departamento de Cochabamba sigue generalmente una red de distribución tradicional, que involucra al productor, intermediarios y al consumidor. La distribución de alimentos frescos en este departamento se realiza en mercados de agricultores, minimercados, supermercados y vehículos móviles. Los intermediarios, que conectan a los

productores de alimentos frescos con los clientes, ejercen su influencia en la adquisición y comercialización de alimentos frescos y en la definición de las reglas de negociación.

Desde el punto de vista del productor, ineficiencias y restricciones de mercado son factores críticos. Un estudio llevado a cabo en India sobre los mercados de agricultores (Solanki y Inumula, 2021) identificó como principal riesgo para los productores la falta de información avanzada sobre la demanda del mercado, los precios y otras condiciones prevalentes. En cuanto a los consumidores, se enfrentan a precios elevados en frutas y verduras de menor calidad y frescura debido a la larga cadena que recorren antes de llegar al mercado.

Un escenario tradicional conlleva una disminución en la rentabilidad de los cultivos y contribuye al aumento del costo de los alimentos frescos a lo largo de la cadena de suministro (Blanco-Capia, 2021). Existe una tendencia ante la posibilidad de abandonar la red de distribución tradicional para optar por una red de distribución corta (Short supply chains). Según Kneafsey y Schmutz (2013) estas cadenas se caracterizan por su proximidad geográfica y social entre productores y consumidores, así como por la reducción de intermediarios, lo que permite establecer relaciones más directas y transparentes. Estas cadenas cortas presentan beneficios tal como apoyo a la economía local, la mejora de la calidad de los alimentos y la reducción del impacto ambiental asociado al transporte.

Esta creciente conciencia sobre los desafíos del sistema alimentario global ha llevado a los consumidores a buscar conexiones más directas con los productores, fomentando un enfoque más sostenible y ético en el consumo de alimentos (Kneafsey y Schmutz, 2013). También Aubert y Enjolras (citados por Enjolras et al., 2020) realizaron una investigación considerando la actitud de los consumidores hacia las cadenas de distribución cortas, revelando que estos sistemas son percibidos favorablemente en comparación con las cadenas de suministro tradicionales. Su estudio destaca que los consumidores valoran aspectos como la frescura de los productos, la conexión directa con los productores y la transparencia en el origen de los alimentos (Enjolras et al., 2020).

Con esta perspectiva, se presenta la red de distribución bajo la metodología BOPS (Compra en línea y recojo en un punto de distribución), que permite acortar los eslabones de la cadena sin la presencia de intermediarios. La metodología BOPS permite a los consumidores adquirir productos en línea y recogerlos en una tienda física. Este enfoque integra los canales de venta en línea y fuera de línea para ofrecer una experiencia de compra más fluida (Li et al., 2023). Esta metodología ha cobrado mayor relevancia para los agricultores, quienes son los que se enfrentan a complicaciones tales como mantener inventarios, y aceptar precios impuestos por los intermediarios (Solanki y Inumula, 2021).

En el contexto de Cochabamba, la transición hacia cadenas de suministro cortas se presenta como una respuesta viable a los desafíos actuales en la distribución de alimentos. Dada su posición como uno de los principales productores agrícolas del país, participando con el 36% de la despensa frutícola (Opinion, 2017). La implementación de cadenas de suministro cortas podría optimizar la conexión entre los agricultores locales y los consumidores, incrementando la probabilidad de que los productos frescos lleguen directamente al mercado

consumidor. Esto no solo reduciría los costos para los consumidores, sino que también podría incrementar los ingresos de los productores al eliminar la necesidad de depender de intermediarios que imponen precios altos y condiciones desfavorables. A medida que los consumidores se vuelven más conscientes de sus elecciones alimentarias, los consumidores optarían por alimentos frescos, locales y de calidad. Para efectos del estudio se consideró a los hogares y el sector HORECA (Hoteles, Restaurantes, Cafeterías).

Con base en lo anterior, este trabajo busca responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Es viable diseñar un canal directo de comunicación y distribución para alimentos frescos entre productores y consumidores bajo la metodología BOPS en el departamento de Cochabamba? Para desarrollar este estudio, se utilizó la programación lineal como método de resolución para evaluar la red de distribución de alimentos según la metodología BOPS. Para la distribución, se consideraron dos supuestos. Primero, los hogares estarán dispuestos a recoger sus compras en puntos de conveniencia. Por otro lado, el modelamiento de distribución utilizando VRP se realizó para optimizar la entrega al sector HORECA y a los puntos de distribución para los hogares.

El objetivo principal de este estudio fue diseñar un canal mixto para la recepción y entrega de frutas y verduras en el departamento de Cochabamba bajo la metodología BOPS, con un modelo de distribución para el canal HORECA utilizando el VRP.

Revisión de literatura

Modelos para el diseño de una cadena BOPS para la comercialización de alimentos

La metodología BOPS (Compra en línea y recojo en un punto de distribución) como modelo de optimización se puede desarrollar mediante numerosos modelos de optimización que utilizan distintos algoritmos, como la resolución multiobjetivo (Yadav et al., 2021), y los modelos metaheurísticos. Por ejemplo, la identificación de soluciones Pareto-óptimas permite a los tomadores de decisiones comprender mejor los compromisos entre los diferentes objetivos. La literatura ha abordado diversos métodos para generar conjuntos de soluciones Pareto, entre los cuales destacan los métodos tradicionales de suma ponderada (LP-Metric) y la restricción ε -Constraint (Laumanns et al., 2006).

En 2006, la cadena de supermercados Reliance Fresh en India inició sus actividades utilizando una cadena corta que conecta directamente a los productores con los consumidores a precios competitivos (Sutradhar y Das, 2020). Este modelo ayudó a los productores a comercializar sus productos y obtener información de mercado de Reliance, lo cual apoya las buenas prácticas agrícolas y brinda asesoramiento técnico.

La metodología BOPS se está aplicando actualmente en proyectos para artesanos y agricultores, estableciendo una conexión directa entre los productores y el mercado local, como se observa en proyectos como E-choupal. En ese proyecto, los agricultores pueden comercializar directamente sus productos con las empresas, eliminando intermediarios para obtener precios más favorables y mejorar su calidad de vida (Mukerji, 2020). Ekutir integra un ecosistema empoderado por una plataforma de TIC con un enfoque de despliegue

microempresarial, con el objetivo de ofrecer soluciones integrales en toda la cadena de valor para la seguridad alimentaria y nutricional tanto en comunidades rurales como urbanas de bajos recursos (Dubé et al., 2020).

Modelos para la resolución de VRP en la industria de alimentos

Aunque la metodología BOPS aborda la conexión entre productores y consumidores, el proceso de distribución en la última milla se puede modelar utilizando otros algoritmos lineales, como el VRP. Numerosos estudios exploran modelos heurísticos y metaheurísticos que ofrecen soluciones al Vehicle Routing Problem (VRP) a través de diversos algoritmos, incluidos el método de Clark y Wright, el Vecino Más Cercano y la Búsqueda Tabú.

El algoritmo de Vecino Más Cercano se utiliza en las estrategias de solución inicial de Or-tools, incorporando el algoritmo Path Cheapest Arc (PCA) (Wilim y Oetama, 2021). Un estudio presentó una solución para un problema de enrutamiento de múltiples depósitos, empleando algoritmos como K-means, Clarke y Wright, y Ant Colony (Singanamala et al., 2018).

En una investigación reciente, se formuló un modelo bi-objetivo de VRP utilizando el Problema de Rutas de Vehículos Capacitado Dependiente del Tiempo (CTVRP), similar al VRPTW, y considerando variables como las distancias recorridas, la demanda unitaria y las ventanas de tiempo temporales (Jin et al., 2022).

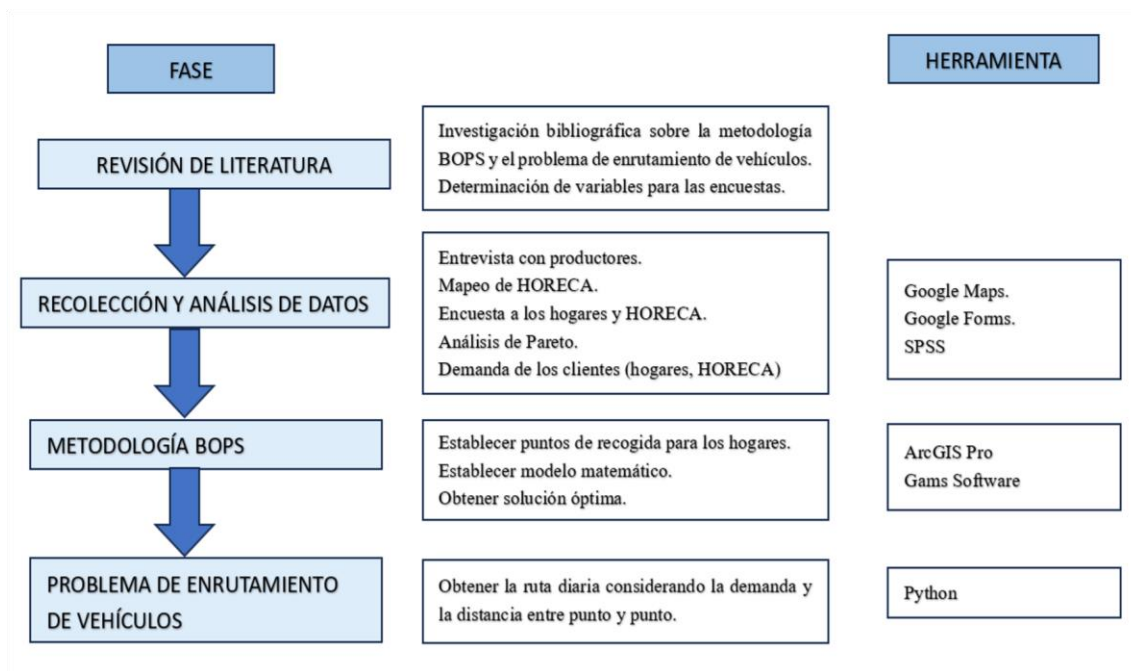
Otro estudio ideó un modelo de optimización de rutas utilizando la variación del Problema de Rutas de Vehículos Dinámico (DVRP), facilitando la identificación de rutas adecuadas para minimizar el tiempo de viaje al tener en cuenta consideraciones como la congestión del tráfico (Sabar et al., 2019).

Metodología

A continuación, se presenta la metodología de este estudio. Inicialmente, se realizó una breve revisión de la literatura sobre el uso de algoritmos para la aplicación del modelo BOPS y para la solución del Problema de Rutas de Vehículos (VRP) en la industria de alimentos frescos. Esto, para tener un mejor entendimiento de los requerimientos y potencialidades de cada uno de los modelos. Luego, la recolección de datos fue realizada de fuentes primarias y secundarias. En esta etapa se realizaron entrevistas a productores, encuestas a hogares y a representantes del canal HORECA.

Esta información fue complementada con datos de geolocalización, los cuales fueron utilizados para alimentar al modelo planteado. El análisis de datos fue realizado a través de métodos de estadística descriptiva, para entender el comportamiento de los clientes seleccionados. Luego, se ha realizado la implementación de la metodología BOPS para diseñar el canal de distribución propuesto y, finalmente, se implementó el modelo de distribución con el algoritmo de VRP. La Figura 1 resume la metodología aplicada.

Figura 1. Metodología del estudio



Caso de estudio

En el año 2023, Cochabamba tuvo una densidad de población de 31,63 habitantes/km² y produjo aproximadamente el 45% de los alimentos consumidos en Bolivia (Los Tiempos, 2020). Cochabamba es el tercer mercado más grande de Bolivia. Como gran productor y mercado representativo en el país, este departamento fue elegido para el estudio, específicamente, su capital, el municipio de Cercado. El alcance geográfico del estudio abarca el área centro-norte de la ciudad.

En este estudio de caso, se identificaron dos categorías de compradores: hogares y representantes del sector HORECA. Para los consumidores HORECA, se realizó un censo de representantes del sector con el apoyo de herramientas de georreferenciación (Google Maps) y bases de datos de fuentes secundarias. Se seleccionaron 51 cafeterías, 71 restaurantes y 20 hoteles de 4 y 5 estrellas. Esta información se recolectó a través de plataformas en línea como Pedidos Ya, TripAdvisor, Google Maps y Booking.

Por otro lado, para considerar a los hogares, se utilizaron datos del INE para realizar una proyección en la que se incluyeron a los habitantes del municipio de Cercado como clientes potenciales, una vez teniendo la población de Cercado se consideró la población de las comunas que se encuentran en la zona central y norte, se tomó en cuenta 5 personas por cada hogar y además el porcentaje de captación del 0,5% (PC, 2001) considerando la naturaleza del mercado, teniendo como resultado en 303 hogares como clientes potenciales.

A través de la fórmula de población finita se calculó el número de encuestas que representaran al sector HORECA, la probabilidad de éxito se consideró de 80% y 20%, porcentaje obtenido a partir de la aceptación al diseño de las cadenas hoteleras, restaurantes y cafeterías. Por otro lado, el cálculo de la muestra de los hogares se realizó tomando en cuenta un nivel de confianza del 95%. Además, que los parámetros de probabilidad de éxito se consideraron de 83,7%, 16,3%, porcentaje obtenido a partir de la aceptación de las familias en adquirir alimentos frescos en línea y recogerlo en un punto de distribución.

El Cuadro 1 evidencia la cantidad de encuestas definidas para cada cliente potencial.

Cuadro 1. Definición de muestra para todas las poblaciones

Cliente potencial	Población total	Número de encuestas
Hogares (habitantes)	872.718	210
HORECA	110	66

Posterior al cálculo se realizó el establecimiento del modelo matemático en la que considera a los principales factores tal como el costo, demanda y flujo de producto.

Recolección de datos

Al momento de iniciar con el diseño se hallaron distintos conceptos y enfoques relacionados con la gestión de alimentos frescos. Así, a través de los estudios y proyectos que se mencionaron en la revisión de literatura, se definieron y aplicaron las variables para la recolección de datos de ambos segmentos de clientes en una encuesta tomando en cuenta las variables expuestas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Variables de estudio

Variable	Objetivo	Información
Perfil del cliente	Información demográfica y sociodemográfica sobre hogares y HORECA.	Edad, género, ingresos, preferencias
Comportamiento de compra	Factores que influyen en la decisión de compra.	Atributos buscados por el cliente en el mercado.
Preferencia de producto	Características de la preferencia del cliente.	Frutas y verduras con mayor demanda.
Actitud hacia la compra en línea y recogida en puntos de distribución	Nivel de aceptación de nuevos métodos de adquisición de productos.	Número de personas dispuestas a usar un nuevo canal.

Datos de entrada para el diseño

Para el análisis de las frutas y verduras que más consumen los encuestados se realizó un análisis de Pareto en la que se consideró el 80% de los productos. Para seleccionar los proveedores de frutas se realizó una investigación en la página del Sistema de información territorial (SITAP, 2000) de la que se extrajo la información de la cantidad que se produce anualmente, e información sobre los municipios con mayor producción de las frutas y verduras, que son objetos de estudio para posteriormente ser mapeados a través de Google Maps.

Al considerar el transporte de los productos, se tuvo en consideración la naturaleza de cada alimento y el riesgo potencial de contaminación cruzada. De esta manera, se realizó una clasificación de los productos en los dos grupos siguientes.

Productos que requieren refrigeración: Tomate, Lechuga, Locoto (puede ser sensible al calor), Frutilla, Naranja, Manzana, Frambuesa, Palta. Estos productos requieren mantenerse frescos y a temperatura óptima para preservar su calidad.

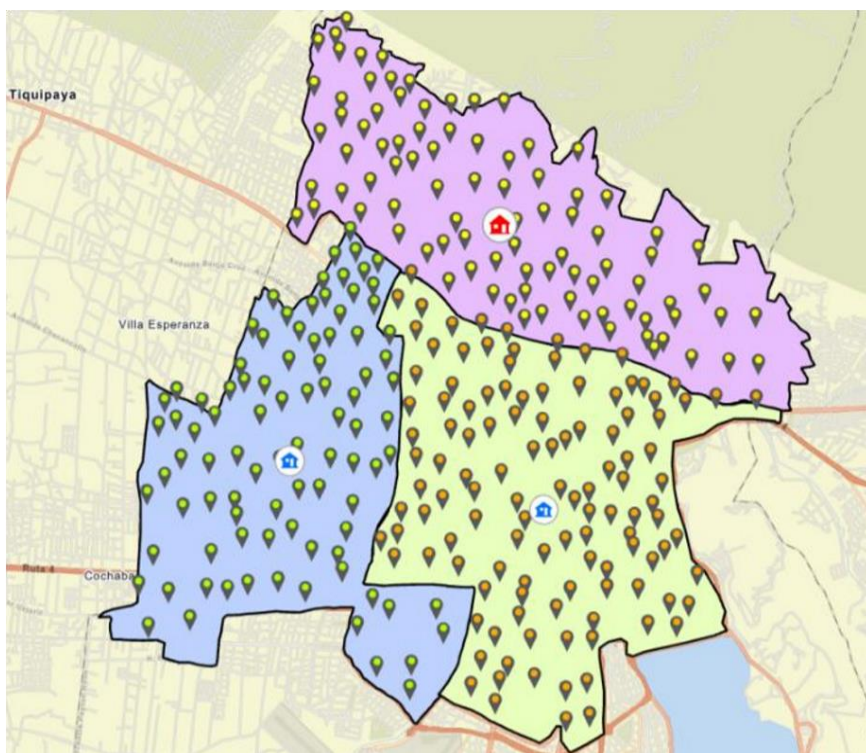
Productos resistentes a temperatura ambiente: Papa, Cebolla, Zanahoria, Arveja, Pepino, Brócoli, Piña, Plátano, Sandía. Estos artículos muestran una mayor capacidad para soportar cambios en la temperatura y no necesitan ser refrigerados de manera inmediata. Por lo tanto, pueden ser guardados en diferentes zonas del camión sin generar inquietudes respecto a su calidad.

Se llevó a cabo un análisis para determinar las cantidades necesarias, teniendo en cuenta los días de cosecha realizadas por los productores. Esto asegura la frescura y calidad del producto. En consecuencia, se optó por visitar a los productores los lunes y jueves. Estos días se determinaron mediante el siguiente criterio: lunes y jueves realizan la cosecha, martes y viernes se transporta el producto hacia los mercados y miércoles y sábado los productos se comercializan.

Puntos de recogida para los hogares (Pick Up)

El establecimiento del centro de recogida para los hogares se realizó a través de la función Mean Center del Software de ArcGis Pro (Environmental Systems Research Institute, 2022) (Figura 2). La función de Mean Center proporciona un punto que representa el punto medio de los datos geográficos en términos de coordenadas, considerando la demanda normalizada, la cual se realizó en base a los datos recolectados en las encuestas y, posteriormente, a través de pruebas de normalidad con la demanda inversa en SPSS, se verificó que el nivel de significancia fuera igual a 1 para aceptar que los datos siguen un comportamiento normal.

Figura 2. Puntos de distribución en cada comuna. (Elaboración propia con ArcGis Pro)



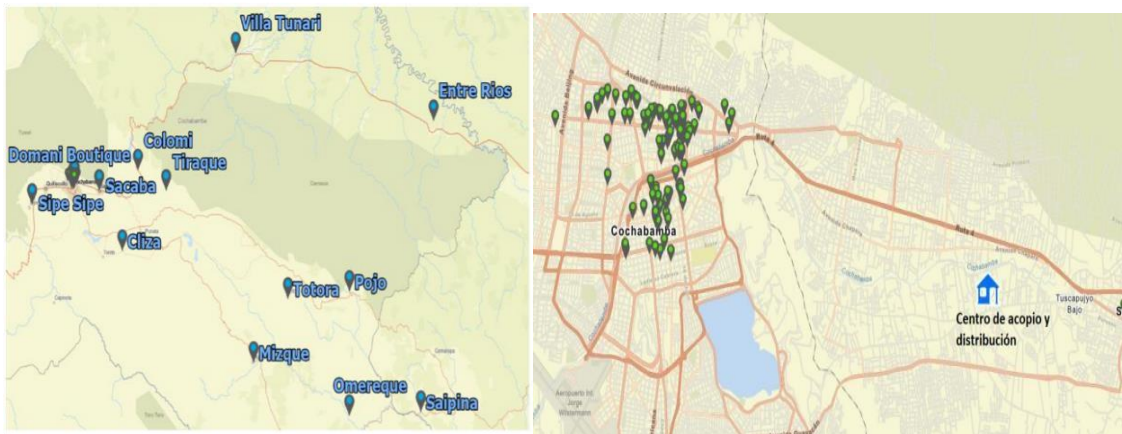
Centro de acopio y distribución de los alimentos frescos

Una vez realizado el mapeo de los municipios productores ofertantes de frutas y verduras, se procedió a determinar el punto central; para esto, se utilizó la función de Centro Promedio disponible en el programa ArcGIS Pro. El Centro Promedio establece el punto intermedio entre varias ubicaciones geográficas considerando las coordenadas X e Y de cada posición mediante ponderación. Este punto representa el equilibrio de las ubicaciones y se determina al promediar aritméticamente las coordenadas X e Y.

El proceso de cálculo del Centro Promedio se realizó de la siguiente manera: i) seleccionar un conjunto de puntos geográficos, ii) asignar la demanda/oferta como el peso para el cálculo, y iii) calcular las coordenadas promedio de todos estos puntos utilizando la función Mean Center ArcGIS Pro

Al emplear la función "Mean Center", se determinó que la posición óptima para el centro de distribución está en las coordenadas X: -66,07 y Y: -17,40. Este punto es visible en la Figura 3.

Figura 3. Centro de acopio y distribución (elaboración propia con ArcGis Pro)



Modelo matemático BOPS

El modelo matemático fue construido utilizando el software GAMS, incluyendo la librería de programación lineal y la librería de optimización multiobjetivo. El desarrollo del modelo ha considerado las siguientes suposiciones:

Las ubicaciones de los productores están predeterminadas y fijas.

Restricción del punto de partida: indica que el punto de partida de todas las rutas se asume en las coordenadas (17.3930648; -66.0675038) del centro de recolección y distribución.

El inventario inicial en los centros de distribución es cero.

Las ubicaciones de los puntos de distribución están predeterminadas y fijas.

Las demandas de los puntos de distribución se establecen con base en la demanda de cada comuna de la zona central y norte.

En el modelo matemático, los índices corresponden a i, j, l, t , que incluyen a los productores, puntos de distribución, centro de recolección y tiempo, respectivamente.

El Cuadro 3 presenta los parámetros del modelo BOPS.

Cuadro 3. Parámetros del modelo BOPS.

Parámetro	Detalle	Valor
f_l	Costo incurrido por la apertura de un centro de recolección (\$)	400
F_{j1}	Costo incurrido por la apertura del punto de distribución 1 en la ciudad (\$)	12.304
F_{j2}	Costo incurrido por la apertura del punto de distribución 2 en la ciudad (\$)	17.333
F_{j3}	Costo incurrido por la apertura del punto de distribución 3 en la ciudad (\$)	26.385
D_c	Costo por transporte por kilómetro desde r a r' (\$)	0,26
d	Distancia desde un punto r (i, l, j) a un punto r' (i, l, j) (km)	
C	Capacidad del centro de recolección (Kg)	5000
Ch	Costo de mantenimiento de inventario en el centro de recolección l en el tiempo t	Normal (8,94;1,98)
C_{pl}	Costo de procesamiento y empaque (\$)	Normal (2,30;0,42)
D_j	Demanda del punto de distribución al centro de recolección	Normal (795,32;71,96)
P	Porcentaje de respuesta a la demanda	0,87
B_t	Porcentaje de desperdicio de producto en la cadena de suministro	0,22

Variables de decisión

Cuadro 4. Variables de decisión para el modelo BOPS.

Variable	Detalle
X_{il}	Flujo de producto desde la ubicación i (productores) a la ubicación l (centro de recolección) en kg.
Y_{lj}	Flujo de producto desde la ubicación l (centro de recolección) a la ubicación j (puntos de distribución) en kg.
I_{hl}	Cantidad de productos almacenados y procesados por el centro de recolección l en kg.

Funciones objetivo

El modelo matemático propuesto tiene dos funciones objetivo: minimizar el costo y maximizar la respuesta a la demanda de los clientes finales, como se describe a continuación.

$$\mathbf{Min} \mathbf{Zcost} = Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5$$

$$\text{Ecuación (1): } Z_1 = f_l + \sum_{j=1}^J f_l$$

$$\text{Ecuación (2): } Z_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T X_{ilt} * d_{il} * d_c + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T X_{ljt} * d_{lj} * d_c$$

$$\text{Ecuación (3): } Z_3 = \sum_{t=1}^T I h_{lt} * c h_{lt}$$

$$\text{Ecuación (4): } Z_4 = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T X_{ilt} * c p_{lt}$$

$$\text{Ecuación (5): } Z_5 = \sum_{t=1}^T B_t * I h_{l(t-1)}$$

La ecuación (1) corresponde al costo de apertura del centro de almacenamiento y los puntos de distribución establecidos en cada comunidad del municipio de Cercado. La Ecuación (2) se refiere al costo de transporte del producto en los distintos puntos del modelo propuesto, considerando el flujo de productos, la distancia y el costo por kilómetro recorrido. La Ecuación (3) representa el costo aproximado para el mantenimiento en el centro de almacenamiento de frutas y verduras, multiplicado por la cantidad de productos almacenados y procesados. La Ecuación (4) presenta el costo aproximado de procesamiento de productos en el centro de distribución, multiplicado por la cantidad de flujo de productos que ingresan a la cadena de suministro desde los productores hasta el centro de almacenamiento. La Ecuación (5) describe el costo aproximado del desperdicio de frutas y verduras a lo largo de la cadena de suministro.

La segunda función objetivo tiene como objetivo maximizar la capacidad de respuesta a la demanda del cliente en ambos flujos. Consiste en una fracción que determina el porcentaje de demanda satisfecha para la logística directa e inversa. Esta fracción divide la cantidad de flujos entrantes a los puntos de distribución por la demanda total de frutas de los puntos de distribución. El valor máximo de esta función se alcanza cuando la cantidad de flujos entrantes a las áreas de distribución es igual al nivel de demanda.

$$\mathbf{Max} \mathbf{Z^{respuesta de demanda}} = \rho * \left[\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{t'} X_{ljt}}{\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{t'} d_{jt}} \right]$$

Restricciones:

$$\text{Restricción 1: } X_{ilt} * (1 - \beta t) = \sum_{j=1}^J X_{ljt} \quad \forall l \in L, t' \in T$$

$$\text{Restricción 2: } Ih_{l(t-1)} + \sum_{i=1}^I X_{ilt} = Ih_{lt} + \sum_{j=1}^J X_{ljt} \quad \forall j \in J, t' \in T$$

$$\text{Restricción 3: } X_{ilt} \leq d_{jt} \quad \forall j \in J, t' \in T$$

La restricción (1) se refiere a la cantidad enviada desde el productor "i" al centro de acopio, menos el porcentaje de desperdicio, que es igual a la cantidad enviada a los puntos de distribución "j" ubicados en diferentes lugares de la ciudad de Cochabamba. La restricción (2) se refiere al nivel de inventario en el centro de acopio, que es equivalente al nivel de inventario del período anterior más la cantidad de productos recibidos de los productores, lo que equivale al nivel de inventario en el centro de distribución más la cantidad de productos enviados desde el centro de acopio al centro de distribución en cada barrio. La restricción (3) considera que la demanda de cada punto de distribución al centro de distribución debe ser mayor o igual a la cantidad de productos recibidos de los productores y del centro de distribución.

Finalmente, se presentan las restricciones de binarias y no negatividad en las variables de decisión correspondientes.

$$X_{rr't} \geq 0 \quad \forall r \in \{I, J, L\} \quad r' \in \{I, J, L\} \quad t' \in T$$

$$Ih_{lt} \geq 0 \quad X_{il} \geq 0 \quad Y_{lj} \geq 0 \quad \beta t \geq 0 \quad \lambda_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad l \in L \quad t' \in T$$

VRP modelo matemático

El modelo de enrutamiento de vehículos aplicado en este estudio fue extraído de Francis et al. (2008). Fue construido considerando las siguientes suposiciones. El modelo VRP solo atenderá al sector HORECA y los puntos de recogida convenientes para los hogares que se realizó a través del software ArcGISPro. Se consideran varios aspectos cruciales para diseñar una solución logística eficiente, que fueron reflejados como condiciones del modelo:

Cada vehículo tiene una capacidad de carga máxima de 2,5 toneladas.

La velocidad promedio de los vehículos es de 25 km/h, y se ha considerado tiempo adicional para la descarga.

Se han identificado ciento once puntos de entrega basados en las frecuencias de compra.

Restricción del punto de partida: indica que el punto de partida de todas las rutas se asume en las coordenadas (17.3930648; -66.0675038) del centro de recolección y distribución.

El tiempo de viaje para cada vehículo está limitado a 8 horas, conforme a las horas laborales del país. Los datos de la encuesta y los días en que los productores realizan sus cosechas nos han permitido reconocer diversas frecuencias de pedidos, que incluyen pedidos diarios, el primer y tercer miércoles del mes, todos los lunes, martes y viernes, así como cada lunes. Para establecer la frecuencia de los pedidos, los representantes fueron organizados en grupos basados en las solicitudes previas que habían generado. La clasificación se realizó en tres conjuntos con una puntuación de silueta de 0,7, generada por el software Orange. Con base en la segmentación según la demanda, se asignaron las frecuencias de pedido manteniendo la proporción dada para cada grupo.

Los índices corresponden a i, j , los cuales incluyen el centro de recolección y distribución y los clientes (HORECA, puntos de recogida), respectivamente. El Cuadro 5 presenta los parámetros de este modelo, y Cuadro 6 presenta las variables de decisión.

Cuadro 5. Parámetros del modelo VRP.

Detalle	Descripción
d_i	Demanda de los clientes
Q	Capacidad máxima del vehículo
r_{ji}	Ruta desde el centro de recolección y distribución hasta los clientes
x_i	Ubicación de los clientes
x_j	Ubicación del centro de recolección y distribución
f	Frecuencia de compra de los clientes
xif	Frecuencia de compra del representante del sector HORECA
t	Tiempo de entrega del producto
n	Número total de nodos
d_j	Demanda desde el punto de distribución al centro de recolección
p	Porcentaje de demanda atendida
βt	Porcentaje de desperdicio de productos en la cadena de suministro

Cuadro 6. Variables de decisión

Variable	Detalle
h_{ij}	Distancia geodésica entre el centro de recolección y distribución y cada cliente
Lrr'	Tiempo máximo de viaje desde la ubicación $r(i)$ a $r'(i, j)$
Lij	Tiempo de ruta desde el centro de recolección y distribución al representante del sector HORECA

Restricciones:

$$\text{Restricción 1: } \sum_{i=1}^I x_{ri} = 1$$

$$\text{Restricción 2: } \sum_{i=1}^I x_{ri} = 1$$

$$\text{Restricción 3: } \sum_{i=1}^I x_{ij} = \sum_{i=1}^I x_{ji}$$

$$\text{Restricción 4: } \sum_{i=1}^I d_i * x_{ij} = Q$$

La restricción (1) indica que, para cada ruta (r), la ruta debe comenzar en el depósito. La restricción (2) representa la restricción de final de ruta, lo que indica que, para cada ruta (r), la ruta debe terminar en el depósito. La restricción (3) indica que, para cada cliente (i), debe haber una conexión saliente hacia otro cliente j o hacia el centro de distribución, para todos los i excepto el depósito. La restricción (4) indica que la demanda no puede exceder la capacidad del vehículo.

Función objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n d_i * x_{ij}$$

La función objetivo del problema de enrutamiento de vehículos es minimizar la distancia total recorrida por todos los vehículos. Utiliza variables de decisión binarias representadas por X_{ij} , que indican si un vehículo viaja del nodo i al nodo j. La ecuación de la función objetivo, F, tiene como objetivo asignar rutas a los vehículos para minimizar la suma de las distancias entre los nodos visitados por cada vehículo.

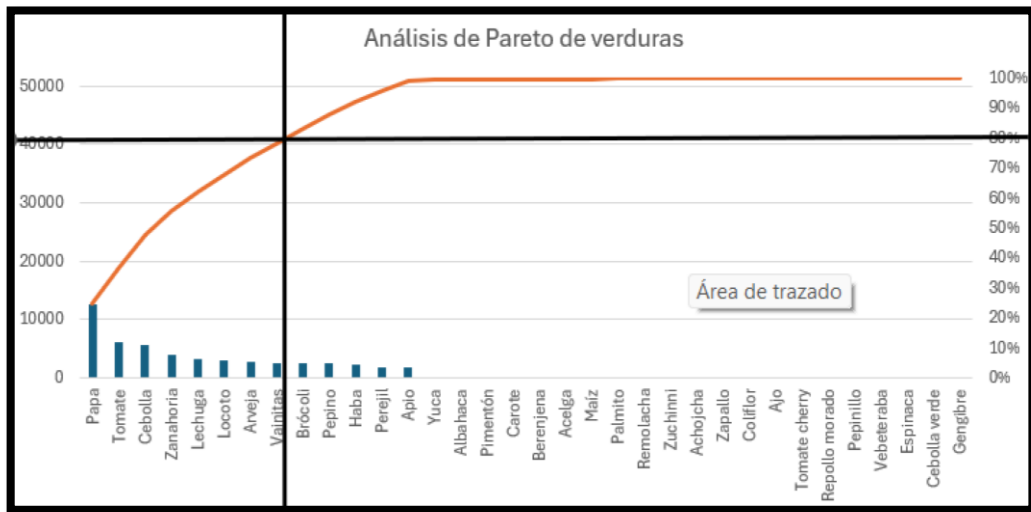
Resultados

Después de recopilar los datos relevantes y aplicar ambos algoritmos al estudio de caso, los resultados se presentan en tres fases.

Fase I: Recolección y análisis de datos.

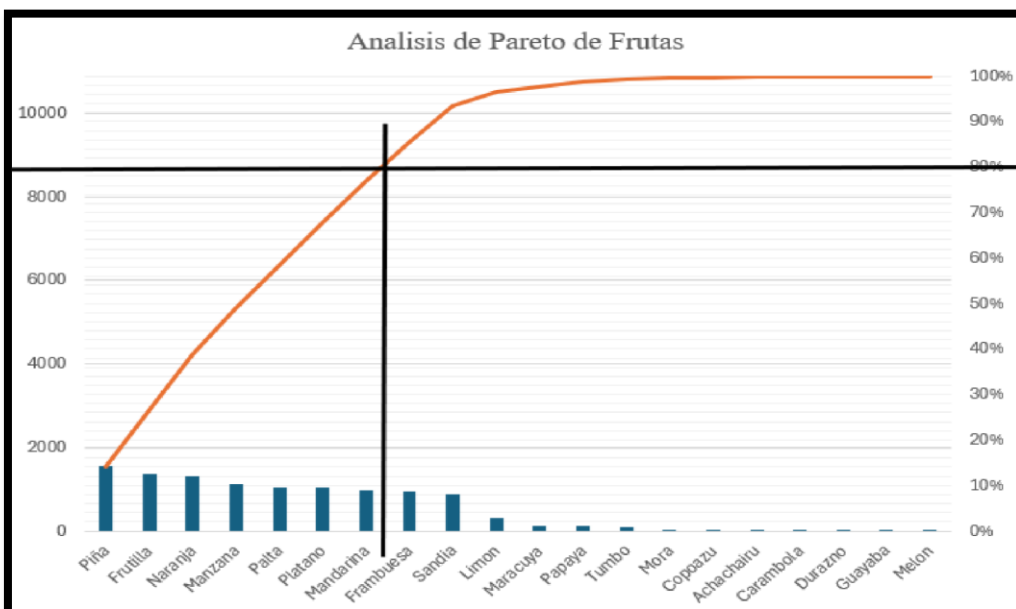
Según los datos recopilados de una muestra de hogares y el sector HORECA, las principales verduras demandadas, obtenidas a partir de un análisis de Pareto, incluyen: papa (25%), tomate (12%), cebolla (11%), zanahoria (8%), lechuga (7%), locoto (6%), arveja (6%), vainita (5%), como presenta la Figura 4.

Figura 4. Análisis de Pareto de verduras



Por otro lado, las frutas más demandadas fueron piña (14%), frutilla (13%), naranja (12%), manzana (10%), palta (10%), plátano (9%), mandarina (9%), expuesto en la Figura 5.

Figura 5. Análisis de Pareto de frutas



Con base en los datos de las encuestas, las frutas y verduras con mayor demanda obtenidas a través del análisis de Pareto se normalizaron para obtener la media y desviación estándar de la demanda de alimentos frescos por parte de los clientes. A partir de esta información, se ha identificado a las regiones productoras de las frutas y verduras seleccionadas, según el volumen de cultivo, como muestra el Cuadro 6.

Cuadro 6. Principales municipios productores de frutas y verduras considerados según volumen de cultivo (elaboración propia con base a SITAP, (2000)

Verduras	Municipio	Frutas	Municipio
Papa	Tiraque	Mandarina	Puerto Villarroel
Cebolla	Mizque	Naranja	Puerto Villarroel
Tomate	Omereque	Plátano	Puerto Villarroel
Zanahoria	Mizque	Manzana	Sacaba
Arveja	Pojo	Sandia	Omereque
Vainitas	Pojo	Piña	Entre Ríos (bulo bulo)
Haba	Tiraque	Frutilla	Totorá
Brócoli	Sipe	Frambuesa	Sacaba
Lechuga	Vinto	Palta	Samaipata
Locoto	Colomi		
Pepino	Sacaba		

Una vez que se obtuvo los principales municipios productores, se procedió a determinar la cantidad de hogares potenciales consumidores según la población de la comuna de la zona central y norte (Cuadro 7). Teniendo esta información se estimó el porcentaje de captación de mercado (demanda) y la ubicación de los puntos de recogida con el software de ArcGis Pro.

Cuadro 7. Determinación de hogares potenciales.

Comuna	Población	Hogares	% captación de mercado	Ubicación del punto de recogida
Adela Zamudio	119.715	23.943	120	(-17.38483, -66.15835)
Molle	91.442	18.288	92	(-17.37954,-66.18975)
Tunari	90.026	18.005	91	(-17.35205,-66.16376)
		HOGARES	303	

En el sector HORECA se contabilizó un total de 142 establecimientos obtenido a través del mapeo e investigación de fuentes secundarias, la cuales fueron mapeadas con la herramienta de Google Maps.

Fase II: Aplicación de la Metodología BOPS

En la metodología BOPS, los resultados del modelo algorítmico con programación lineal realizado en el software GAMS muestran una función objetivo que satisface las ecuaciones delineadas en la sección anterior. El Cuadro 8 presenta la solución óptima del modelo algorítmico de la metodología BOPS.

Cuadro 8. Resultados de la metodología BOPS.

Función Objetivo	Zcost	Zdemand
Óptimo	243.981,00 \$	0,93

La solución óptima obtenida muestra un costo total de \$243.981,00 el cual está compuesto por los costos de apertura del centro de distribución, el transporte de productos desde los municipios productores hasta el centro de distribución, el procesamiento de los alimentos y el empaque necesario para su entrega. La evaluación se realizó para el tiempo de un año. Este valor representa el costo mínimo posible para satisfacer la demanda dentro del área de estudio, bajo los parámetros y restricciones del modelo propuesto.

En cuanto a la satisfacción de la demanda, el modelo logró cubrir el 93% de la demanda total en un horizonte de tiempo de 12 meses, considerando al sector HORECA y hogares, lo que significa que aún existe un 7% de demanda insatisfecha. Esto puede estar relacionado con limitaciones en la capacidad de transporte, la disponibilidad de productos o restricciones geográficas que impiden cubrir completamente todas las necesidades del área de estudio.

Fase III: Logística de distribución para canal HORECA con VRP.

A continuación, se evaluó la estrategia de distribución. El algoritmo de solución de problema de enrutamiento de vehículos (VRP) ilustra la logística que se llevará a cabo en el proceso de distribución. En el Cuadro 9, se muestra la ruta asignada para cada día, generada a través del algoritmo implementado en Python. Como se mencionó antes, bajo los supuestos sobre la frecuencia de compra, y que las rutas para martes, jueves y sábados son las mismas. Al mismo tiempo, los miércoles tienen dos opciones dependiendo de la semana específica. Los costos se calcularon en función de la distancia de cada ruta, incluyendo factores como el salario del conductor, consumo de combustible y costos de mantenimiento del vehículo.

Cuadro 9. Logística de distribución con VRP.

Día	Número de rutas	1	2	3	4	5	6	7
Lunes	Cantidad de nodos visitados	13	10	17	16	21	12	23
	Tiempo de la ruta en minutos	267	225	315	305	376	239	414
	Costo de la ruta en dólares	11	11	10	10	10	9	12
	Cantidad de nodos visitados	20	6					
Martes, Miércoles, y Sábado	Tiempo de la ruta en minutos	366	157					
	Costo de la ruta en dólares	11	9					
1er Miércoles del mes	Cantidad de nodos visitados	11	11	4	16	13	25	
	Tiempo de la ruta en minutos	240	240	130	305	254	442	
	Costo de la ruta en dólares	11	11	9	10	9	12	
2do Miércoles del mes	Cantidad de nodos visitados	5	17	11	19	25		
	Tiempo de la ruta en minutos	142	314	234	350	435		
	Costo de la ruta en dólares	9	10	10	11	11		
Viernes	Cantidad de nodos visitados	22	14	10	6	25		
	Tiempo de la ruta en minutos	397	277	219	149	435		
	Costo de la ruta en dólares	11	10	10	8	11		

Finalmente, los costos fueron comparados con los potenciales ingresos por la comercialización de los alimentos. Para ello, se realizó una estimación de margen de utilidad considerando la cantidad demandada por parte de los consumidores con base a las encuestas realizadas. Luego, se procedió a realizar el cálculo del precio promedio del kilogramo de alimento fresco con una ponderación basada en la demanda. Comparando los costos del modelo con el precio promedio de venta de estos alimentos, se obtuvo un margen de utilidad del 40% para las verduras y 17% para las frutas. Esto considerando una cantidad de 3.500 kg de producto adquirido desde los municipios productores, y la venta al consumidor de 2.730 kg, con un porcentaje de desperdicio en todo el proceso, desde la adquisición hasta la distribución, de 22%, de acuerdo al promedio presentado por la FAO (FAO, 2020).

Discusión

La metodología BOPS, evaluada a través del modelo matemático, tiene como objetivo obtener una solución óptima que valide el modelo al abordar objetivos conflictivos. Uno de los principales objetivos es maximizar la capacidad de respuesta a la demanda, la cual puede variar según la frecuencia y el volumen de las compras de alimentos, considerando los

diferentes perfiles de consumidores en los hogares. Por ejemplo, un consumidor puede no tener tiempo para realizar compras en mercados convencionales, mientras que otro puede requerir alimentos frescos para mantener una dieta balanceada en nutrientes. En el sector HORECA, donde se establece un menú fijo, la definición de una demanda promedio requiere menos atención. Sin embargo, los atributos más valorados por los representantes de este sector son la frescura y la calidad de los alimentos recibidos.

Por otro lado, incorporar el capital humano y los costos asociados, con la puesta en marcha del equipo en el modelo, representa un paso importante para mejorar la efectividad de la metodología BOPS. Además, la evaluación mediante otro algoritmo de optimización, como el método de optimización multiobjetivo de Tchebycheff, podría ofrecer mejoras adicionales en el análisis. El diseño de un canal mixto bajo la metodología BOPS, con una alternativa de entrega modelada a través de la distribución con el problema de enrutamiento de vehículos (VRP), tiene como objetivo conectar directamente a los productores con los clientes. Este modelo se desarrolla considerando el uso de nuevas tecnologías de la información, por lo que la identificación de un público objetivo familiarizado con estas tendencias es clave. Asimismo, el diseño no solo contempla la logística operativa, sino también la distribución eficiente mediante el VRP, asegurando que los productos lleguen a los consumidores con los atributos más valorados, como la frescura y la calidad.

Aunque se han logrado los objetivos de ambos modelos, aún existen variables por explorar, siendo el costo operativo una de las más significativas. Si bien estos costos han sido considerados, el enfoque principal del estudio ha sido la viabilidad, sin explorar a profundidad la factibilidad económica. Por lo tanto, es recomendable realizar un estudio más específico sobre los costos operativos para evaluar la sostenibilidad financiera del proyecto.

Conclusiones e investigaciones futuras

El estudio realizado aborda la pregunta de investigación, al demostrar la viabilidad de crear un canal directo, entre productores y consumidores de alimentos frescos en el departamento de Cochabamba. Este estudio trata el problema del desperdicio de alimentos en Cochabamba, proponiendo una metodología integral basada en BOPS y modelos de enrutamiento.

A través de un análisis de Pareto, se identificaron las principales verduras y frutas demandadas en la región. La aplicación de la metodología BOPS reveló una función objetivo, orientada a minimizar costos y maximizar la capacidad de respuesta a la demanda con valores específicos.

El problema de enrutamiento de vehículos proporcionó rutas asignadas para diferentes días de la semana, optimizando la eficiencia en la entrega de alimentos a los puntos de distribución. En síntesis, se puede concluir que sí existe una viabilidad operativa para la implementación de este canal mixto.

Para investigaciones futuras, se recomienda validar la metodología propuesta a través de implementaciones piloto y ajustar en función de la retroalimentación del campo. Esto incluye el cálculo de costos operativos, costos de inversión inicial, regulaciones políticas y normas

sanitarias que permitan el estudio de pre-factibilidad de un canal directo entre productores y consumidores.

Además, se sugiere explorar la escalabilidad de la metodología para hacer frente al crecimiento a largo plazo y a los cambios en la demanda. La evaluación de la participación de la comunidad es crucial para fomentar la aceptación y sostenibilidad a largo plazo. Al mismo tiempo, implementar sistemas de optimización continua surge como una estrategia efectiva para adaptarse a los cambios dinámicos en la oferta, la demanda y las condiciones del mercado.

Se sugiere la expansión del alcance de la investigación, ya que actualmente está limitada a áreas específicas de Cochabamba y a la selección de un sector particular. Modificar estos dos aspectos permitiría alcanzar un segmento de mercado más amplio. De manera similar, se recomienda extender el estudio a otros tipos de alimentos, ya que el estudio presentado solo cubre frutas y verduras.

Referencias

- Blanco-Capia, L. E. (2021). La cadena de valor de hortalizas: consideraciones para el desarrollo local a partir del productor. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(1), 41–52. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090100041>
- Dubé, L., McRae, C., Wu, Y. H., Ghosh, S., Allen, S., Ross, D., Ray, S., Joshi, P. K., McDermott, J., Jha, S., & Moore, S. (2020). Impact of the eKutir ICT-enabled social enterprise and its distributed micro-entrepreneur strategy on fruit and vegetable consumption: A quasiexperimental study in rural and urban communities in Odisha, India. *Food Policy*, 90, 101787. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2019.101787>
- Enjolras, G., Aubert, M., & Aubert, M. (2020). Short food supply chains and the issue of sustainability : a case study of French fruit producers. *Environmental Systems Research Institute*. (2022). ArcGIS Pro. <https://www.esri.com/enus/arcgis/products/arcgis-pro/resources>
- FAO (2020). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. In *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020*. <https://doi.org/10.4060/cb1447es>
- Francis, P.M., Smilowitz, K.R., & Tzur, M. (2008). The Period Vehicle Routing Problem and its Extensions. In: Golden, B., Raghavan, S., Wasil, E. (eds) *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Operations Research/Computer Science Interfaces, vol 43. Springer, Boston, MA.

https://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8_4

Grahamn. (2020). Frutas Feas, la dulzura esta en su interior.

<https://www.frutasfeas.com/frutasfeas-cms-4-50-49/>

Jin, Y., Ge, X., Zhang, L., & Ren, J. (2022). A two-stage algorithm for bi-objective logistics model of cash-in-transit vehicle routing problems with economic and environmental optimization based on real-time traffic data. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100273>

Kneafsey, M., & Schmutz, U. (2013). Short Food Supply Chains and Local Food Systems in the EU . A State of Play of their Socio-Economic Characteristics.. August 2014.

Laumanns, M., Thiele, L., y Zitzler, E. (2006). An efficient, adaptive parameter Çvariation scheme for metaheuristics based on the epsilon-constraint method. *European Journal of Operational Research*, 169(3), 932–942.

<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.08.029>

Li, Z., Li, S., & Mei, W. (2023). Buy online and pickup in - store : Co - opetition strategy of omnichannel supply chain. In *Electronic Commerce Research* (Issue 199). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10660-023-09693-6>

Los Tiempos. (2020). Miden la abundancia y pobreza extrema por el desperdicio de alimentos. <https://www.lostiempos.com/doble-click/vida/20200929/miden-abundancia-pobreza-extremadesperdicio-alimentos>

Mukerji, M. (2020). Re-examining strategic and developmental implications of e-Choupal, India. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 86(4), e12132. <https://doi.org/10.1002/ISD2.12132>

Opinion. (2017). La Llajta lidera la producción de fruta en Bolivia con 36%. [tps://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/llajta-lidera-produccion-frutabolivia-36-ciento/20170930205700591438.html](https://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/llajta-lidera-produccion-frutabolivia-36-ciento/20170930205700591438.html)

PC. (2001). Porcentaje de captación de mercado.

https://assets.entrepreneur.com/soy/tabla_plan_paso_jul11.jpg

- Sabar, N. R., Bhaskar, A., Chung, E., Turkey, A., & Song, A. (2019). A self-adaptive evolutionary algorithm for dynamic vehicle routing problems with traffic congestion. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 1018–1027.
<https://doi.org/10.1016/J.SWEVO.2018.10.015>
- Singanamala, P., Dharma Reddy, K.; & Venkataramaiah, P. (2018). Solution to a Multi Depot Vehicle Routing Problem Using K-means Algorithm, Clarke and Wright Algorithm and Ant Colony Optimization. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(21), 15236– 15246. <http://www.ripublication.com>
- SITAP (2000). Sistema Integrado De Información Productiva.
https://siip.produccion.gob.bo/atlas/COCHABAMBA.php?cod_mun=31201
- Solanki, S. & Inumula, K. M. (2021). Farmers’ markets: An analysis of the determinants of consumers’ attitudes and behavior. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 11(1), 63–70.
<https://doi.org/10.18488/journal.ajard.2021.111.63.70>
- Sutradhar, R., & Das, A. (2020). Supermarkets and Rural Inequality in India: A Case Study of Reliance Fresh. <https://doi.org/10.1177/0973005219898918>, 16(1), 81–104.
<https://doi.org/10.1177/0973005219898918>
- Wilim, N. N. & Oetama, R. S. (2021). Sentiment Analysis about Indonesian Lawyers Club Television Program Using K-Nearest Neighbor , Naïve Bayes Classifier , and Decision Tree. 8(1), 50–56.
- Yadav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D. & Cheikhrouhou, N. (2021). Design of multi-objective sustainable food distribution network in the Indian context with multiple delivery channels. *Computers and Industrial Engineering*, 160(July).
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107549>

Criterio de sustitución: una alternativa para determinar la dosis de encalado en suelos ácidos tropicales

José Luis Lima Jacopa²

Resumen

Los suelos agrícolas degradados por la acidez se caracterizan por presentar niveles de pH menor a 5,5 y saturación del Al^{3+} intercambiable mayor al 20%. Bajo estas condiciones la capacidad productiva de los suelos disminuye drásticamente, lo que requiere la aplicación de una dosis de cal específica para restaurar su fertilidad. El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de la dosis de cal determinada por el Criterio de Sustitución y contrastar sus resultados con otros criterios. En función a las condiciones de acidez del suelo en cuestión, la mayor dosis de cal agrícola fue calculada por el criterio Kamprath, que resultó en 10,80 (t/ha), este fue seguido por los criterios Combinado con 7 (t/ha), el criterio Van Raij con 6,31 (t/ha), el criterio de Sustitución con 3,28 (t/ha) y TDE (Tabla de Doble Entrada) con 1,42 (t/ha). Según el análisis de varianza ANVA, se encontraron diferencias altamente significativas en relación con el incremento del pH inicial y neutralización del Al^{3+} intercambiable entre los diferentes tratamientos. Los criterios Kamprath, Combinado y Van Raij demostraron ser los más efectivos. Sin embargo, se observó una correlación lineal muy fuerte y positiva (0,9977) entre el Al^{3+} soluble y el requerimiento de cal. Al ajustar la fórmula del criterio de Sustitución un coeficiente 1,43, se obtuvo una dosis teórica de 4,7 (t/ha). Esta dosis es mayor a la determinada inicialmente, pero menor a las dosis propuestas por los otros criterios. Esto no solo implica una menor cantidad de cal necesaria, sino también un ahorro económico significativo en su adquisición y aplicación.

Palabras clave: acidificación, aluminio, cal agrícola, dolomita, fertilidad del suelo, pH del suelo, suelo ácido.

² Correo de contacto: jl.itonama@gmail.com

Abstract

Substitution criterion: an alternative to determine the liming dose in tropical acidic soils

Agricultural soils degraded by acidity are characterized by pH levels lower than 5.5 and exchangeable Al^{3+} saturation higher than 20%, under these conditions the productive capacity of the soils decreases drastically, and a certain dose of lime must be applied to restore their productive capacity. The objective of the research was to evaluate the effectiveness of the lime dose determined by the substitution criterion and to contrast its results with other criteria. Based on the acidity conditions of the problem soil, the highest agricultural lime dose was calculated by the Kamprath criterion with 10.80 (t/ha), followed by the Combined criterion with 7 (t/ha), Van Raij with 6.31 (t/ha), Substitution with 3.28 (t/ha) and TDE with 1.42 (t/ha). According to the ANOVA, there are highly significant differences in relation to the increase in initial pH and neutralization of exchangeable Al^{3+} between treatments, with the Kamprath, Combined and Van Raij criteria being the most effective, however, statistically there is a very strong and positive linear correlation of 0.9977 between soluble Al^{3+} and lime requirement. Adjusting the formula of the substitution criterion by the coefficient 1.43, a theoretical dose of 4.7 (t/ha) is obtained, which is higher than that initially determined, but lower than the dose proposed by the other criteria, representing not only a lower dose of lime, but also a lower economic cost in its acquisition and application.

Keywords: acidification, acidic soil, aluminum, agricultural lime, dolomite, soil fertility, soil pH.

Introducción

El suelo es un recurso natural de vital importancia para la humanidad, no solo por su papel fundamental en la producción de alimentos, sino también por las diversas funciones ambientales, económicas, sociales y culturales que desempeña. Los suelos de las regiones tropicales generalmente son ácidos, atribuidos al material parental del cual se originan, a la materia orgánica en descomposición y a las intensas precipitaciones pluviales, esta última condición conlleva la liberación de iones H^+ los cuales, al reaccionar con el CO_2 , desplazan y sustituyen a los cationes básicos presentes en los coloides arcillosos, como el Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ . Asimismo, el Al^{3+} estructural de las arcillas pasa a formar parte de la solución del suelo como Al^{3+} soluble. La deficiente cobertura vegetal, resultado de una gestión antrópica inapropiada de los bosques, también favorece la lixiviación de los cationes intercambiables, incrementando la concentración de iones H^+ y Al^{3+} soluble, que pueden alcanzar niveles tóxicos para el desarrollo de las raíces. El aluminio soluble de los suelos ácidos es el factor más limitante para el crecimiento y producción de los cultivos, existe menor concentración de macronutrientes, las plantas presentan un crecimiento radical pobre, reduciendo su capacidad de absorción de agua y nutrientes minerales. (Rivera et al., 2016).

“En el país los suelos ácidos se encuentran distribuidos preferentemente en las regiones lluviosas de Pando, Beni, Santa Cruz, Norte de La Paz y Cochabamba, en aquellas regiones donde existe un régimen de humedad percolante ($P \gg ETP$)” (Orsag, 2010, p. 299). Según Salm y Castro (2005), los suelos de la región yungueña, presentan un pH que varía entre moderado a fuertemente ácido, limitando su uso por su baja acidez y fertilidad, sin embargo, el clima favorece una amplia gama de cultivos subtropicales. “Son muy contados los casos en que los suelos constituyen ‘por naturaleza’ un sustrato ideal para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es más fácil mejorar las características químicas que las físicas” (Finck, 2009, p. 141). “El encalado con diferentes enmiendas provoca la precipitación del aluminio, situación que favorece el crecimiento de las raíces” (Orsag, 2010, p. 302). El encalado no es eliminar la acidez total del suelo, sino solo la no deseable.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la efectividad de la dosis de cal determinada por el criterio de Sustitución y contrastar sus resultados con otros criterios.

Métodos y materiales

La investigación se guió por el método experimental, con el propósito de medir el efecto de la dosis de cal determinada con el criterio de Sustitución, creado y propuesto en el presente trabajo de investigación, cuya fórmula es:

$$CaCO_3 \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{CICE \left[\left(\frac{Ali}{CICE} \right) - Ald \right] 0,05.PCA}{fp} \quad (1)$$

Donde:

$CaCO_3c$ = Carbonato de calcio comercial (t/ha)

CICE = Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (meq/100g)

Ali = Aluminio intercambiable actual (meq/100g)

Ald = Aluminio deseable en tanto %

PCA = Peso capa arable (t)

fp = Factor pureza del $CaCO_3c$

El criterio de Sustitución planteado fue contrastado con los criterios Combinado, Kamprath y Van Raij (Espinoza y Molina, 1999), y Tabla de Doble Entrada-TDE (Barrios, 2008).

Para la obtención del suelo problema se aplicó el muestreo no probabilístico por conveniencia, ubicando una parcela en el municipio de Caranavi, cubierta totalmente por el helecho *Pteridium aquilinum* especie indicadora de la acidez del suelo, de donde se extrajo una muestra compuesta a una profundidad de 20 cm.

Como material encalante se utilizó la dolomita.

Se aplicó el diseño experimental completamente al azar, donde cada uno de los 5 criterios de encalado constituyó un tratamiento con tres repeticiones, formando 15 unidades experimentales.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta cualquiera debido al efecto del i-ésimo tratamiento en la j-ésimo repetición.

μ = Media general del experimento.

α_i = Efecto debido al i-ésimo tratamiento (Dosis de encalado).

ε_{ij} = Error experimental.

Las variables de respuesta medidas fueron el nivel de pH del suelo y el Al^{3+} intercambiable neutralizado (encalado). Tanto el análisis de varianza (ANVA) de los resultados, como la comparación de medias y la prueba de contraste de medias para la variable analizada, se efectuó mediante la prueba de rango múltiple de Duncan al 1% de significancia, empleando el programa estadístico SAS versión 9.2.

Desarrollo

La muestra de suelo problema fue analizada inicialmente, con el propósito de determinar los diferentes parámetros utilizados por cada uno de los criterios evaluados. El poder relativo de neutralización total (PRNT) de la dolomita fue analizada en el laboratorio de la Carrera de Química de la UMSA y el Laboratorio de Química de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la UPEA. Se estableció un 20% de saturación de Al^{3+} soluble, como límite tolerable presente en el suelo. En base a los reportes de laboratorio y parámetros considerados por los criterios estudiados, se determinó la dosis de encalado.

El experimento se realizó en vasos de precipitación de 250 ml, considerando 200 gramos de suelo problema en cada unidad experimental, al cual se adicionó la respectiva dosis de cal según el criterio de encalado, posteriormente para favorecer la reacción en el suelo, se aplicó agua destilada hasta capacidad de campo y se cubrió con papel estañado perforado para garantizar una adecuada temperatura y humedad. Se incubaron las muestras de suelo encaladas por 30 días en un ambiente controlado.

Luego del tiempo de incubación, se enviaron muestras al laboratorio de Suelos y Aguas de la UMSS para medir el nivel de pH y Al^{3+} intercambiable neutralizado. En base al reporte

del laboratorio, se procedió a realizar la evaluación y análisis de los resultados obtenidos con los tratamientos, de acuerdo al diseño estadístico planteado.

Resultados

En función del reporte de laboratorio, el suelo problema inicialmente presentaba un pH catalogado como Extremadamente ácido ($\text{pH}=3,75$) y un 56,63% de saturación de Al^{3+} intercambiable o soluble catalogado como Medio, constituyéndose en un nivel tóxico para el crecimiento y desarrollo de la raíz de los cultivos, superando el nivel recomendado de 20% debiendo neutralizar 36,63% del Al^{3+} intercambiable. La CICE fue de 8,9 meq/100g, la saturación de bases de 30,33% y 1,8 meq/100g de calcio intercambiable.

En base a las condiciones de acidez del suelo problema, la mayor dosis de cal dolomita fue calculada por el criterio Kamprath con 10,80 (t/ha), seguido en orden descendente por los criterios Combinado con 7 (t/ha), Van Raij con 6,31 (t/ha), Sustitución con 3,28 (t/ha) y TDE con 1,42 (t/ha).

La dosis aplicada según cada criterio de encalado produjo un incremento del pH del suelo (Cuadro 1). De acuerdo con el ANVA existen diferencias altamente significativas entre tratamientos. Según la prueba estadística de Duncan al 1% de significancia, se formaron tres grupos, donde el grupo A (criterio Kamprath) mejoró el nivel inicial de Extremadamente ácido ($\text{pH}=3,75$) a Ligeramente ácido ($\text{pH}=6,26$); el grupo B conformado por los criterios Combinado y Van Raij incrementaron el pH a 5,76 y 5,63 respectivamente, en ambos casos catalogados como Medianamente ácidos; finalmente, el grupo C conformado por los criterios de Sustitución y TDE, aumentaron el pH hasta Fuertemente ácido ($\text{pH}=5,16$) y Muy fuertemente ácido ($\text{pH}=4,83$) respectivamente, como se describe en el Cuadro 1.

En relación a la neutralización del Al^{3+} intercambiable, de acuerdo con el ANVA existen también diferencias altamente significativas entre tratamientos. Según la prueba estadística de Duncan al 1% de significancia se formaron tres grupos, el grupo A conformado por los criterios Kamprath, Combinado y Van Raij que neutralizaron el Al^{3+} soluble, en un 98,46%, 93,55% y 92,02% respectivamente, resultados que no muestran diferencias significativas entre sí. El grupo B conformado por el criterio de Sustitución alcanzó a neutralizar el 57,05% del Al^{3+} soluble. El grupo C conformado por el criterio de la TDE no logró neutralizar el Al^{3+} intercambiable, como se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Incremento del pH y aluminio neutralizado luego del encalado.

Prueba de Duncan al 1%	Variable Analizada				Al ³⁺ intercambiable	
	Criterio	pH Incremento (%)	Catalogado		Criterio	Neutralización (%)
A	Kamprath	66,93	Ligeramente ácido		Kamprath	98,46
					Combinado	93,55
					Van Raij	92,02
B	Combinado	53,60	Medianamente ácido		Sustitución	57,05
	Van Raij	50,13	Medianamente ácido			
	Sustitución	37,60	Fuertemente ácido			
C	TDE	28,80	Muy fuertemente ácido		TDE	0

Discusión

Los criterios Kamprath, Combinado y Van Raij, neutralizaron el Al³⁺ soluble al nivel deseado y elevaron el pH, en razón de una dosis superior a la determinada por los criterios de Sustitución y TDE, éste último no logró los resultados esperados, sin embargo, el criterio de Sustitución si logró neutralizar más del 50% del Al³⁺ soluble e incrementar el pH.

El criterio de Sustitución toma en cuenta cinco parámetros edáficos (Cuadro 2), aspecto que robustece sus resultados a diferencia de los otros criterios que toman en cuenta un número menor de parámetros.

Cuadro 2. Parámetros edáficos utilizados según criterio de encalado

Variable	Criterio de encalado				
	Kamprath	Combinado	Van Raij	TDE	Sustitución
Textura					
PCA					
pH					
CICE					
Al ³⁺ actual					
Al ³⁺ deseado					
%SB actual					
%SB deseado					
Ca ²⁺ intercambiable					
PRNT					
Nº de parámetros	2	4	4	4	5

Con el encalado se busca, aplicar una dosis que permita neutralizar el Al^{3+} soluble, subir el pH y que signifique un menor gasto. Si bien los criterios Kamprath, Combinado y Van Raij, demostraron su efectividad (Figura 1), requirieron aplicar un mayor volumen de cal y, por lo tanto, requieren de una mayor inversión.

Figura 1. Efecto en el pH y neutralización del Al^{3+} soluble, según criterio de encalado

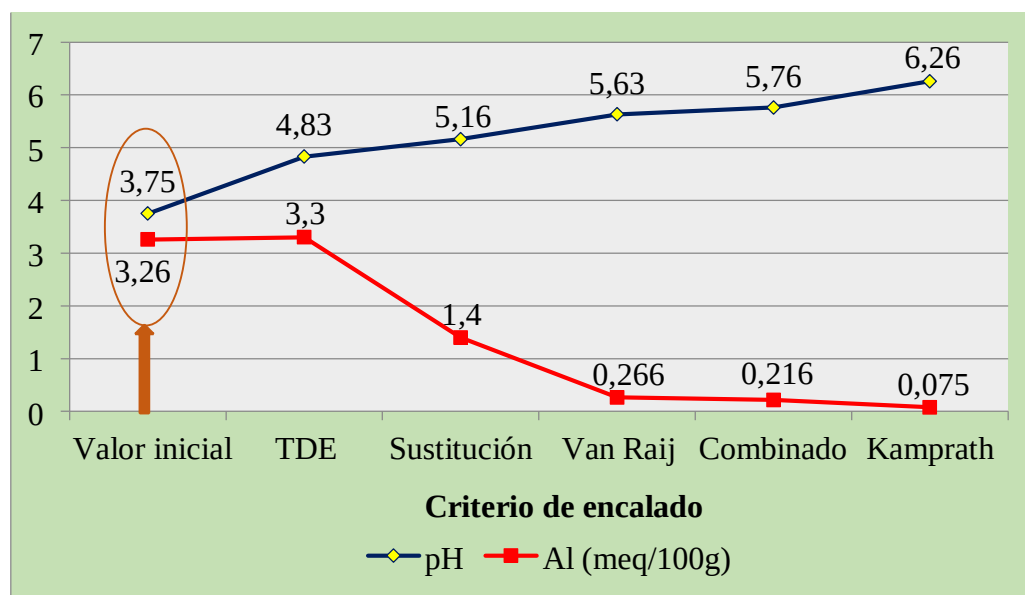
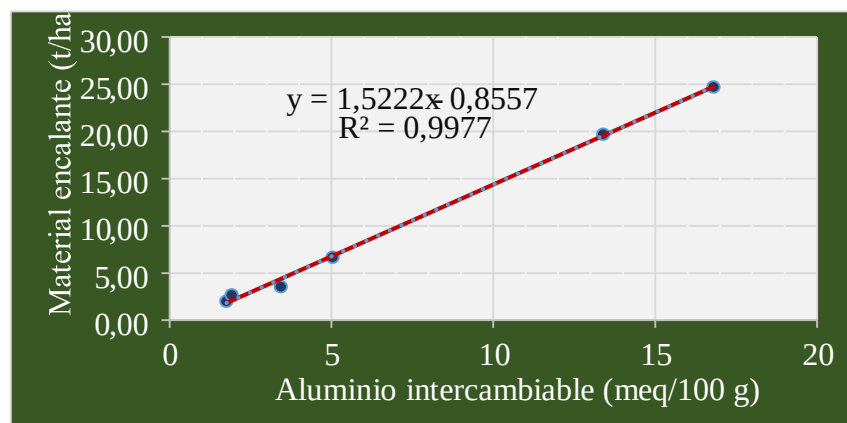


Figura 2. Correlación muy fuerte y positiva entre Al^{3+} soluble y requerimiento de CaCO_3



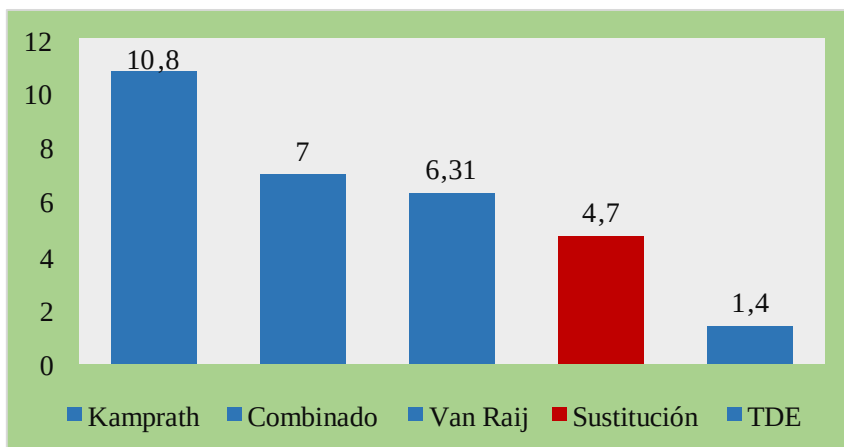
De acuerdo con Colque (2021), la cantidad de cal requerida para el encalado, es equivalente a la magnitud del Al^{3+} soluble presente en el suelo. Para corroborar esta afirmación, se correlacionó el Al^{3+} soluble y la dosis de cal de 6 muestras de suelo (Figura 2), describiendo

una correlación directamente proporcional muy fuerte y positiva de 0,9977 entre los parámetros evaluados, donde al incrementar o disminuir el valor de una de ellas, el valor de la segunda aumenta o disminuye en la misma proporción, sugiriendo que las dos variables se mueven juntas de manera muy consistente y predecible en la misma dirección. Basados en este análisis estadístico, el criterio de Sustitución propuesto fue sido ajustado por el coeficiente 1,43 quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$CaCO_3 \left(\frac{t}{ha} \right) = 1,43 \left(\frac{CICE \left[\left(\frac{Ali}{CICE} \right) - Ald \right] 0,05 \cdot PCA}{fp} \right) \quad (3)$$

Aplicando la formula ajustada, bajo las mismas condiciones del suelo problema, la dosis de cal se incrementó de 3,28 a 4,7 (t/ha), siendo menor a las dosis planteadas por los criterios, Kamprath, Combinado y Van Raij (Figura 3).

Figura 3. Dosis de cal (t/ha) determinado por el criterio de Sustitución ajustado



Conclusiones

El Al^{3+} soluble y el requerimiento de $CaCO_3$, describen una correlación lineal directamente proporcional, muy fuerte y positiva, condición que permitió determinar el coeficiente 1,43 que ajusta la fórmula o criterio de Sustitución.

El uso del criterio de Sustitución propuesto y ajustado en la presente investigación permitirá determinar una dosis teórica de cal que eleve el pH, neutralice el Al^{3+} soluble al nivel deseado en el suelo acidificado y que represente una menor inversión económica en su adquisición y aplicación.

La presente investigación aún se encuentra en curso requiriéndose validar el efecto de la dosis determinada por el criterio de Sustitución ajustada, en condiciones de campo.

Referencias

Barrios, R. (2008). Manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela. INIA.

https://www.researchgate.net/publication/308741762_Manual_de_alternativas_de_recomendaciones_de_fertilizantes_para_cultivos_prioritarios_en_Venezuela/link/57edb6f108ae711da9399cb3/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

Colque, O. (2021). Manejo de enmiendas y nutrientes del suelo. Diplomado Fertilidad de suelos y nutrición de cultivos del 26 de abril al 12 de septiembre, 2021, UMSA, La Paz, Bolivia.

Espinoza, J. y Molina, E. (1999). Acidez y encalado de suelos. IPNI.

<https://abonosconagricola.com/PDF/DOCUMENTOS-PAGINAWEB/BLOG/NOTAS-INTERES/Acidez-y-encalado-desuelos.pdf?t=1532395648>

Finck, A. (2009). Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverté, S.A.

Orsag, V. (2010). El recurso suelo principios para su manejo y conservación. Editorial Zeus. <https://fobomade.org.bo/soberania-alimentaria/el-recursosuelo-principios-para-su-manejo-y-conservacion/>

Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., y Romero, H. (2016). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. Revista Palmas 37(1), 11-23.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11696>

Salm, H., y Castro, J. (2005). Propiedades químicas y potencial productivo de los suelos del departamento de La Paz, Bolivia. Revista Boliviana de Química versión On-line ISSN 0250-5460 22(1).

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602005000100003

Detección genética forense de restos de *Equus asinus* (burro) en mataderos clandestinos de La Paz, Bolivia

Emma Torres-Tola³

Ruddy Luna Barrón³

Ronald Antonio Bilbao Armaza⁴

Resumen

En Bolivia, los mataderos clandestinos plantean un grave problema debido a las prácticas inhumanas (cruelles, brutales, despiadadas, insensibles) e ilegales en el sacrificio de burros y otros animales, lo que viola las leyes de bienestar animal y compromete la seguridad alimentaria. Una intervención realizada en un matadero de La Paz en 2023 reveló condiciones crueles de faenado y un almacenamiento inadecuado de la carne, en contravención de normativas como el Art. 350BIS del Código Penal, la Ley 1333 del Medioambiente y la Ley de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria. En respuesta, la Fiscalía Especializada en Delitos Medioambientales remitió al Instituto de Investigaciones Técnicas Científicas de la Universidad Policial (IITCUP) muestras biológicas de un matadero ilegal ubicado en en Sica Sica. A través del análisis genético del gen Cyt-B, se identificaron las especies *Equus asinus* (burro doméstico) y *Bos taurus* (ganado bovino), confirmando así la venta de carne de burro en el mercado local. Este caso subraya el papel fundamental de la identificación taxonómica molecular como herramienta forense para coadyuvar al cumplimiento de las normativas que garantizan la seguridad alimentaria y combatir el maltrato animal en Bolivia.

Palabras claves: Matadero clandestino, gen Cyt-B, maltrato animal, seguridad alimentaria.

³ Centro de Investigación Genética, Instituto de Investigaciones Técnicas Científicas de la Universidad Policial “Mcal. Antonio José de Sucre”. La Paz, Bolivia.

⁴ Dirección del Instituto de Investigaciones Técnicas Científicas de la Universidad Policial “Mcal. Antonio José de Sucre”. La Paz, Bolivia.

Abstract

Forensic genetic detection of *Equus asinus* (donkey) remains in illegal slaughterhouses of La Paz, Bolivia

In Bolivia, clandestine slaughterhouses pose a serious problem due to the inhumane and illegal practices involved in the slaughter of donkeys and other animals, violating animal welfare laws and compromising food safety. In 2023, an intervention at a slaughterhouse in La Paz revealed cruel slaughter conditions and improper meat storage, in violation of regulations such as Article 350BIS of the Penal Code, Law 1333 on the Environment, and the Agricultural Health and Food Safety Law. In response, the Specialized Environmental Crimes Prosecutor's Office sent biological samples from an illegal slaughterhouse in Sica Sica to the Instituto de Investigaciones Técnicas Científicas de la Universidad Policial (IITCUP). Through genetic analysis of the Cyt-B gene, species such as *Equus asinus* (domestic donkey) and *Bos taurus* (cattle) were identified, confirming the sale of donkey meat in the local market. This case highlights the fundamental role of molecular taxonomic identification as a forensic tool to help comply with regulations related to guaranteeing food safety and perhaps combating animal abuse in Bolivia.

Keywords: Clandestine slaughterhouse, Cyt-B gene, animal cruelty, food safety.

Introducción

En Bolivia, los mataderos clandestinos representan una grave preocupación, ya que burros y otros animales domésticos son sacrificados de manera (cruel, brutal, despiadada), sin consideración por su sufrimiento ni cumplimiento de las normativas de bienestar animal, esto constituye una violación flagrante de las regulaciones establecidas (Vidaurre, 2022). Estas prácticas no solo carecen de ética, sino también infringen los estándares sanitarios adecuados. Una intervención en un matadero clandestino en la comunidad de Culli Culli, en la provincia Aroma, La Paz, expuso esta dramática situación. Se revelaron condiciones crueles durante el sacrificio de burros, así como la existencia de fosas comunes para los restos de los animales y la venta de carne en una vivienda particular (Erbol, 2023).



Fosa común con huesos de los animales / Viceministerio de Defensa del Consumidor.
(Fuente: Erbol, 2023)

La operación de mataderos clandestinos en Bolivia representa un delito de maltrato animal, tipificado en la Ley 700 (ALP A. L., 2015), y una grave infracción a las normativas de bienestar animal y seguridad alimentaria.

Esta situación se agrava al sacrificarse animales no aptos para el consumo humano, poniendo en riesgo la salud pública y la inocuidad de los productos cárnicos, lo cual es sancionado por la Ley No. 830 (Ley de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria ALP, 2016) y el artículo 216 del Código Penal de Bolivia, estas prácticas son sancionadas debido a su impacto directo sobre la seguridad alimentaria, al representar una amenaza para la salud pública y violar los estándares establecidos para el consumo de carne en el país (ALP A. L., 1997).

A diferencia de otros países, en nuestro territorio, los caballos y burros no son aptos para el consumo humano, ya que se utilizan como animales de carga en lugar de animales de engorde. Las únicas carnes permitidas para el consumo humano son las de aves, res, llama, oveja, cuy y cerdo. Estos animales son criados mediante procesos de engorde y son faeneados en mataderos que están legalmente establecidos y autorizados por el Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria – SENASAG (SENASAG, 2017).

La identificación morfoanatómica de los restos comúnmente encontrados en mataderos clandestinos, es compleja y poco informativa. Los restos óseos y restos de animales suelen estar fragmentados, deteriorados o incompletos, lo que dificulta una identificación precisa basada únicamente en características físicas. Además, factores como el paso del tiempo, las condiciones ambientales y el contexto del hallazgo pueden alterar las características anatómicas, complicando aún más el análisis morfológico (Trail, 2021).

Por lo que, las técnicas genéticas se presentan como una solución eficaz, ya que permiten obtener información precisa y detallada sobre la identidad de los individuos a partir de pequeñas muestras de pelos, tejido blando, tejido óseo, dental o incluso cuero curtido (Bravo et al, 2021). Las técnicas de secuenciación de ADN facilitan la comparación de los perfiles genéticos obtenidos con bases de datos existentes como GenBank (Benson et al., 2013),

Bolsystems (Ratnasingham y Hebert, 2007), lo que permite la identificación incluso en casos donde la morfología no proporciona suficiente información (NAS, 2009).

El análisis genético presenta retos al intentar recuperar ADN de restos antiguos o en descomposición, debido a la baja calidad y cantidad del material genético (Hajibabaei et al., 2006). A pesar de estas dificultades, la genética continúa siendo una herramienta poderosa y accesible, que permite la identificación precisa de restos de animales y plantas, superando las limitaciones de la morfología anatómica tradicional (Trail, 2021).

Dada la importancia de la identificación taxonómica de las especies, este campo se vuelve crucial en la biología y la genética, con aplicaciones que abarcan desde la conservación de la biodiversidad hasta la resolución de crímenes (Peral et al., 2014). En este contexto, la identificación de *Equus asinus*, el burro común, a ganado interés tanto científico como forense. Con los avances en la ciencia y la tecnología genética, se han desarrollado herramientas moleculares para abordar cuestiones taxonómicas y forenses relacionadas con esta y otras especies (Moustafa et al, 2017). Estas herramientas son fundamentales para verificar la autenticidad de productos derivados (Khudhair y Hussein, 2019), realizar estudios de conservación genética, identificar especies y llevar a cabo análisis forense relacionados con el maltrato animal (Ouso et al., 2020). Además, representan una alternativa valiosa en el ámbito de la seguridad alimentaria.

Metodología

Muestras biológicas

La Fiscalía Especializada en Delitos de Narcotráfico, Legitimación de Ganancias Ilícitas, Financiamiento al Terrorismo, Pérdida de Dominio y Delitos Medioambientales de la ciudad de La Paz remitió al Instituto de Investigaciones Técnico Científicas (IITCUP) diversas muestras biológicas que incluían dos piezas de cuero, tres fragmentos de cráneo de animales y una extremidad de animal.

Extracción de ADN y genotipificación

Antes de proceder con la obtención de material genético, se llevó a cabo un riguroso proceso de lavado y limpieza externa de las muestras biológicas, con el objetivo de eliminar cualquier contaminación o material foráneo. La extracción de ADN del cuero se realizó utilizando el sistema Wizard® Genomic DNA Purification Kit de Promega, siguiendo el protocolo establecido por Miller et al., (1988). En cuanto a los restos óseos, se empleó un método modificado de Hochmeister et al. (1991), que consistió en incubar las muestras a 65°C durante 16 horas. Posteriormente se añadió una mezcla de fenol-cloroformo y se llevó a cabo una purificación salina, así como la precipitación de los ácidos nucleicos mediante alcohol absoluto. La calidad del ADN recuperado se verificó a través de un proceso de cuantificación basada en fluorescencia.



Muestras biológicas para identificación taxonómica molecular. (Fuente: IITCUP).

La amplificación de las secuencias de Barcode se realizó utilizando el kit comercial GoTaq® Colorless Master Mix (Promega), junto con el par de cebadores universales L14724 y H15149, descritos por Irwin et al., (1991). Esta técnica permitió obtener la amplificación de un fragmento de aproximadamente de 486 pares de bases. Posteriormente, los productos amplificados fueron purificados utilizando solventes orgánicos y se procedió a realizar una reacción de secuenciación con el kit BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems). Las secuencias resultantes fueron analizadas en un analizador genético AB3500 (Applied Biosystems), siguiendo las instrucciones proporcionadas por el fabricante.

Análisis de datos

Las secuencias obtenidas se analizaron mediante el software Sequencing Analysis v.6.0 (Applied Biosystems). Para el alineamiento de las secuencias, se utilizó el programa Mega 7. Además, se descargaron secuencias parciales del citocromo B (CYT-B) relacionadas con las especies de interés desde el GenBank (Benson et al., 2013) y del sistema de BOLD Systems (Ratnasingham y Hebert, 2013).

Se construyeron dendrogramas utilizando el modelo matemático "Kimura 2-Parámetros", basados en la inferencia de "máxima verosimilitud" y el método "Neighbor-Joining (NJ)", con un bootstrap de 1000 réplicas. Como secuencias de referencias para *Bos taurus* se emplearon MK965670.1, MK965684 y MN714190.1, mientras que para *Equus asinus* se

utilizaron las secuencias OR.498911.1, FJ428404.1, KT829585.1 y KX669267.1. Como grupo externo se utilizó a *Didelphis marsupialis* (FB412049).

Resultados y Discusión

Se obtuvieron secuencias de 396 a 412 pb a partir del ADN total obtenido de las muestras E648 (cuero de color negro), E649 (cuero de color negro con blanco), E686, E687, E688 (cráneo de animal) y E689 (extremidad de animal) descritos en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Secuencias del gen Cyt-B universal obtenidas de las muestras analizadas

CÓDIGO CINGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	SECUENCIA 5'-3'	TAMAÑO pb
E648	CUERO DE COLOR NEGRO	AAAATCCCACCCGCTAATTAAAATCATCAATCACTCTTTT ATCGACCTGCCAAC CCCCTCAAACATTTTCATCATGATGAACTTTGGCTCCCTC CTAGGAATCTGCCT AATCCTCCAAATCCTAACAGGCCTATTCCTAGCCATACAC TACACATCAGACAC TACAACTGCCTTCTCATCCGTCACCCATATCTGCCGAGAC GTTAACTACGGATG AATCATTGCTACCTCCATGCCAACGGAGCATCCATATTT TTCATCTGCCTCTTT ATCCACGTAGGGCGCGGCCTCTACTATGGCTCCTACACA TTCCTAGAAACATGA AACATTGGAATTATCCTACTTTTCACAGTAATAGCCACAG CATTTCATAGGCTAT GTCCTACCATGAGGACAA	396
E649	CUERO DE COLOR NEGRO CON BLANCO	TCCCACCCGCTAATTAAAATCATCAATCACTCTTTTATCG ACCTGCCAACCCCT CAAACATTTTCATCATGATGAACTTTGGCTCCCTCCTAGG AATCTGCCTAATCC TCCAAATCCTAACAGGCCTATTCCTAGCCATACACTACAC ATCAGACACTACAA CTGCCTTCTCATCCGTCACCCATATCTGCCGAGACGTAA CTACGGATGAATCA TTCGCTACCTCCATGCCAACGGAGCATCCATATTTTTCAT CTGCCTCTTTATCCA CGTAGGGCGCGGCCTCTACTATGGCTCCTACACATTCCTA GAAACATGAAACAT TGGAAT	336
E686 E687 E688	CRÁNEO DE ANIMAL	AAGTCCCACCCACTAATAAAAATTGTAAACAATGCATTC ATCGACCTTCCAGCC CCATCAAACATTTTCATCATGATGAAATTTTCGGTTCCCTCC TGGGAATCTGCCTA ATCCTACAAATCCTCACAGGCCTATTCCTAGCAATACACT ACACATCCGACACA ACAACAGCATTCTCCTCTGTTACCCATATCTGCCGAGACG TGAACACGGCTGA ATCATCCGATACATACACGCAAACGGAGCTTCAATGTTT TTTATCTGCTTATAT ATGCACGTAGGACGAGGCTTATATTACGGGTCTTACACT TTCCTAGAAACATGA AATATTGGAGTAATCCTTCTGCTCACAGTAATAGCCACA GCATTTATAGGATAC GTCCTACCATGAGGACAAATATCATTCTGAGGGC	412
E689	EXTREMI DAD DE ANIMAL		

Los resultados de la identificación taxonómica indican que las muestras de cuero (E648 y E649) pertenecen al orden Perissodactyla, a la familia Equidae, el género Equus, y la especie Equus asinus, con una probabilidad de correspondencia del 100% (ver Cuadro 2). Estos hallazgos confirman que las muestras analizadas provienen de burros domésticos, lo que evidencia el comercio de carne de burro originada en mataderos clandestinos de la ciudad de La Paz.

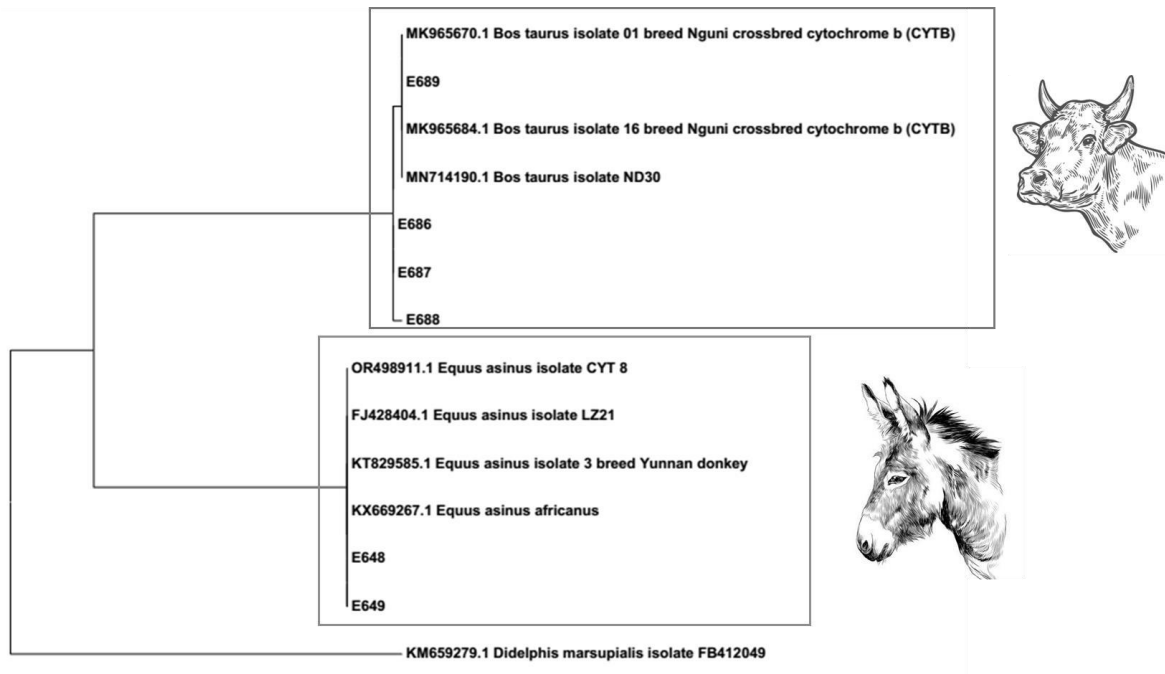
En cuanto a las muestras E686, E687, E688 y E689, los resultados confirman, con un 100% de certeza, que son de la familia Bovidae, el género Bos, y la especie Bos taurus., lo que indica que corresponden a individuos de ganado bovino. Esta identificación es coherente con el comercio de carne de esta especie en los mercados de La Paz.

Cuadro 2. Resultados de los algoritmos de las bases de datos mundiales BoldSystems y GenBank.

CÓDIGO O CINGE N	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	NIVEL TAXONÓMIC O	ASIGNACIÓN DE TAXÓN	PROBABILIDAD DE CORRESPONDENCIA (%)
E648 E649	CUERO DE COLOR NEGRO	Filo	Chordata	100
		Clase	Mammalia	100
		Orden	Perissodactyla	100
		Familia	Equidae	100
		Género	Equus	100
		Especie	Equus asinus	100
E686 E687 E688	CRÁNEO DE ANIMAL	Filo	Chordata	100
		Clase	Mammalia	100
		Orden	Artiodactyla	100
		Familia	Bovidae	100
		Género	Bos	100
E689	EXTREMIDAD DE ANIMAL	Especie	Bos taurus	100

Los resultados obtenidos son respaldados por el árbol filogenético construido a partir de las secuencias del fragmento analizado del gen CYT-B. Muestran un grado de diferenciación a nivel poblacional, filogenético e incluso taxonómico (Figura 2). Las muestras E686, E687, E688 y E689 se sitúan dentro del cladograma de Bos taurus, lo que las vincula filogenéticamente con el ganado vacuno, las muestras E648 y E649 se encuentra emparentado con Equus asinus o burro.

Figura 1. Árbol filogenético de secuencias del gen Citocromo B en base al modelo kimura 2 parametros (KumuNei 2000) de haplotipos identificados de muestras provenientes de un caso forense E648, E649, E686, E687 y E688 alineadas en base a secuencias descargas del genbank



El árbol filogenético, elaborado a partir de secuencias parciales y completas del gen CYT-B es una herramienta comúnmente utilizada en estudios filogenéticos debido a su evolución lenta y a la variabilidad entre diferentes especies. La elección de este gen refleja la intención de examinar relaciones evolutivas profundas sugiriendo que este gen se encuentra organizada en regiones que se ajustan a diferentes patrones de diferenciación, poblacional y taxonómico.

Conclusiones

El análisis de secuencias de ADN del gen Cyt-B de las muestras de cuero, cráneo y extremidad de animal ha permitido realizar una identificación taxonómica precisa, confirmando la presencia de carne de burro y ganado bovino en las muestras analizadas.

Las muestras E648 y E649 (cuero de color negro y negro con blanco) fueron identificadas como pertenecientes a la especie *Equus asinus* (burro doméstico) con una probabilidad de correspondencia del 100%. Esto implica su uso en el comercio de carne de burro proveniente de mataderos clandestinos en La Paz.

Por su parte, las muestras E686, E687, E688 y E689 (cráneo y extremidad de animal) fueron identificadas como pertenecientes a la especie *Bos taurus* (ganado bovino) también con una probabilidad de correspondencia del 100%.

Estos resultados tienen implicaciones significativas para la regulación y control del comercio de carne en la región, además de servir como una herramienta sólida ante los tribunales de

justicia boliviana en casos relacionados con delitos de trato cruel, tipificados en el Art. 350BIS del Código Penal y en el Art. 111 de la Ley 1333, Ley del Medio Ambiente.

Los hallazgos proporcionan una base científica robusta para tomar medidas contra el comercio ilegal de carne en mataderos clandestinos, que no garantizan ni la salubridad ni la seguridad alimentaria, además de comprometer el bienestar de los animales domésticos.

Referencias

ALP, A. L. (1997). Código Penal de Bolivia. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo>

ALP, A. L. (2015). Ley N° 700, para la defensa de los animales contra actos de crueldad y maltrato. La Paz: Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia.

<https://comunicacion.gob.bo/sites/default/files/docs/Ley%20700.pdf>

ALP, A. L. (2016). Ley No. 830, Ley de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria. Promulgado, 28 de septiembre de 2016. En G. O. Bolivia (Ed.). Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo>

Benson, D., Cavanaugh, M., Clark, K., Karsch-Mizrachi, I., Lipman, D., Ostell, J., & E.W., S. (2013). GenBank. Nucleic Acids Res, 41, D36-42. <https://doi.org/doi:10.1093/nar/gks1195>

Bravo, M. G., Agostini, V., & Cañete, B. G. (2021). Morphological differentiation of bovine and equine hair for species' identification in forensic veterinary investigations. Forensic Science International, 328(111037).

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.111037>

Erbol (2023, 25 de abril). Intervienen matadero donde faenaban carne de burro en el altiplano paceño <https://shre.ink/U7Cf>

Hajibabaei, M., Smith, M., Janzen, D., Rodriguez, J., Whitfield, J. E., & Hebert, P. (2006). A minimalist barcode can identify a specimen whose DNA is degraded. Molecular Ecology Notes, 6(4), 959-964.

Hochmeister, M., Budowle, B., Borer, Eggmann, U., Comey, C., & Dirnhofer, R. (1991). Typing of DNA extracted from compact bone tissue from human remains. J Forensic Sci, 36(6), 1649–1661. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1685164/>

- Irwin, D. M., Kocher, T., y Wilson, A. C. (1991). Evolution of the cytochrome b gene of mammals. *J. Mol. Evol*, 32, 128-144. <https://doi.org/10.1007/BF02515385>
- Khudhair, A. N.-A., & Hussein, O. M.-D. (2019). Polymerase chain reaction-based meat species discrimination. *Drug Invention Today*, 12(3), 577-585. jprsolutions.info
- Miller, S., Dykes, D., & Polesky, H. (1988). A simple salting out procedure for extracting DNA from human nucleated cells *Nucleic Acids Res*, 16(3), 1215. <https://doi.org/10.1093/nar/16.3.1215>
- Moustafa, G., Abd-Elhakim, Y., & El Sharkawy, N. I. (2017). Genetic Profiling of Equid Hybrids Using PCR-RFLP and Partial Sequence Analysis of Cytochrome b Gene: Forensic Implication. *Journal of Equine Veterinary Science*, 54, 37-41. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.jevs.2017.02.014>
- NAS, N. R. (2009). *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*, Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/doi.org/10.17226/12589>.
- Ouso, D., Otiende, M., Jeneby, M., Oundo, J., Bargul, M. S., Wambua, L., & Villinger, J. (2020). Three-gene PCR and high resolution melting analysis for diferentiating vertebrate species mitochondrial DNA for biodiversity research and complementing forensic surveillance. *Scientific Reports*, 10(4741), 1-13. <https://doi.org/doi.org/10.1038/s41598-020-61600-3>
- Peral, G. P., Giovambattista, G., y Ripoli, M. V. (2014). *Genética forense no-humana* (Vol. 1). La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Ratnasingham, S., & Hebert, P. (2007, 03 de junio). Bold: The Barcode of life Data Systems (www.boldsystems.org). *Molecular Ecology Notes*, 7, 355-364. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01678.x>
- Ratnasingham, S., y Hebert, P. D. (2013). A DNA-Based Registry for All Animal Species: The Barcode Index Number (BIN) System. *PLoS ONE*, 8(8), e66213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066213>
- SENASAG. (2017). Resolución Administrativa No. 022/2017.

Trail, P. W. (2021). Morphological analysis: A powerful tool in wildlife forensic biology *Forensic Science International: Animals and Environments*, 1, 1-7.

<https://doi.org/doi.org/10.1016/j.fsiae.2021.100025>

Vidaurre, F. L. (2022). Identificación de carne de Burro *Equus asinus* en embutidos crudos expendidos en mercados de la ciudad de La Paz y el Alto. Universidad Mayor de San Andres.

Evaluación de las estrategias de fermentación en el proceso industrial de elaboración de cerveza para incrementar la generación de dióxido de azufre

Rolando Miguel Contreras Useglio⁵

Resumen

El presente estudio se centra en la evaluación de estrategias de fermentación para la producción de dióxido de azufre en la elaboración industrial de cerveza, con el objetivo de eliminar conservantes, como el metabisulfito de potasio (MKS) o sulfitos. Para ello se recolectaron muestras de malta y maíz, proveniente de Uruguay y Santa Cruz respectivamente. Se llevaron a cabo pruebas durante el proceso de cocción para identificar los factores más relevantes que influyen en las características fisicoquímicas del mosto. Asimismo, se realizaron ensayos de fermentación para distintos aspectos del proceso, considerando la estrategia de dosificación de levadura, la aireación de mosto, la carga específica y la generación de levadura.

El análisis del producto terminado se realizó en función de parámetros fisicoquímicos, y microbiológicos, así como la caída de dióxido de azufre a lo largo del tiempo. También se llevaron a cabo pruebas sensoriales para garantizar la calidad del producto final y se evaluó su tiempo de conservación.

Palabras claves: Cerveza, Fermentación, Dióxido de azufre.

⁵ Doctorante de la Universidad Mayor de San Simón. Correo de contacto: r.contreras@umss.edu.bo

Abstract

Evaluation of fermentation strategies in the industrial beer brewing process to increase sulfur dioxide generation

The present study is aimed at evaluating strategies in the fermentation process for the generation of sulfur dioxide in brewing at an industrial level for the elimination of preservatives, such as MKS (Potassium Metabisulfite) or sulfites. Samples of malt and corn were collected, from Uruguay and Santa Cruz, respectively. Tests were carried out in the cooking process to determine the most relevant factors in terms of the physicochemical characteristics of the must. Fermentation tests were carried out to determine the most relevant factors in the process, considering the yeast dosage strategy, wort aeration, specific load and yeast generation. The finished product was analyzed with respect to the physicochemical and microbiological parameters, the drop in Sulfur Dioxide over time and sensory tests to guarantee the quality of the final product, as well as the shelf life.

Keywords: Beer, Fermentation, Sulfur Dioxide.

Introducción

Desde la antigüedad el hombre se ha dedicado esfuerzos a la elaboración de alimentos mediante procesos fermentativos, obteniendo una amplia variedad de productos como: pan, queso, yogurt, entre otros. A través de la fermentación de ciertos cereales se han creado diversas bebidas fermentadas, como el saque en Asia, cervezas en Europa y chicha en América. En la elaboración de este tipo de bebidas se ha utilizado una enorme variedad de materias primas como la cebada, maíz, arroz y una mezcla de estas. La mezcla ha dado como resultado un producto de alto contenido proteico y beneficios en ciertos aspectos como nutrientes para generar energía, hacia personas que las consumen de una forma adecuada y sin excesos.

La cerveza es una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo, que se fabrica con granos de cebada germinados u otros cereales cuyo almidón se fermenta en agua con levadura (básicamente *Saccharomyces cerevisiae* o *Saccharomyces pastorianus*) y se aromatiza a menudo con lúpulo, entre otras plantas (Verhoef, 2003; Hough, 1990).

Se conocen múltiples variantes de cerveza con una amplia gama de matices debido a las diferentes formas de elaboración y a los ingredientes utilizados. Generalmente presenta un color ambarino con tonos que van del amarillo oro al negro pasando por los marrones rojizos. Se la considera «gaseosa» (contiene dióxido de carbono disuelto en saturación que se manifiesta en forma de burbujas a la presión ambiente) y suele estar coronada de una espuma más o menos persistente. Su aspecto puede ser cristalino o turbio. Su graduación alcohólica puede alcanzar hasta cerca de los 30 % vol., aunque principalmente se encuentra entre los 3 % y los 9 % vol. (Hough, 1990). En Bolivia, la mayoría de las cervezas oscilan entre 3 a 5% de alcohol y son elaboradas mediante la mezcla de cereales principalmente cebada y maíz, adicionando lúpulo, levadura y otros aditivos.

La composición de las cervezas tipo Pilsen en su mayoría es la siguiente:

Cuadro 1. Composición de la Cerveza

Parámetro	Unidad	Estándares	
Mosto original	% p/p	9.72	11.88
Atenuación límite aparente	%	74.25	90.75
Alcohol	% p/p	3.33	4.07
Alcohol	% v/v	4.32	5.28
Extracto real	% p/p	3.24	3.96
Extracto aparente de la atenuación límite (EAAL)	% p/p	1.71	2.09
Extracto aparente (EA)	% p/p	1.8	2.2
Diferencia de extracto (EA– EAAL)	% p/p	0.09	0.11
Color	EBC	3.5	6.5
Amargo	BU57	14.0	20.0
pH		3.78	4.62
Diacetilo total (método Parnás)	Ppb	< 100	
Butanodiona	ug/l	< 50	
Pentanodiona	ug/l	< 50	
Turbidez a 0 °C	EBC	< 2	
Carbonatación botellas	g/l	4.95	6,05
Estabilidad de espuma	seg. Nib.	200	350
Ésteres totales	mg/l	18	22
Dimetil sulfuro (DMS)	ug/l	< 100	
Dióxido de azufre (SO ₂)	mg/l	< 10	
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	< 300	
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	< 100	
Estabilidad coloidal	EBC	< 3,0	

Fuente: Ingeniería de Procesos. Gerencia de Tecnología y Calidad. (2016). Manual de Iniciación a la Elaboración de Cerveza. Buenos Aires: Quilmes

En la actualidad la cerveza se ha caracterizado por ser un producto de alta aceptación dentro del mercado nacional e internacional. Si se consume con moderación, puede tener un papel preventivo en algunas enfermedades y aportar beneficios al organismo.

Según Gilbert (2002), por consumo responsable se debe entender que no es más de 2-3 vasos de cerveza para un varón adulto al día y 1 o 2 para una mujer. Además, la ingesta no debe ser acumulada ante determinada ocasión, como por ejemplo los fines de semana.

Algunos de los beneficios que ofrece son:

Acción Nutritiva

Previene infartos

Previene la osteoporosis

Minimiza infecciones en mujeres

Protección frente a enfermedades como el Alzheimer

Prolonga la vida

Prevención y control de la diabetes

Ayuda a recuperar el metabolismo hormonal e inmunológico de los deportistas tras realizar ejercicio

Aporta Ácido fólico y contribuye a la hidratación en el embarazo

Bajo aporte calórico (No genera obesidad)

Por todas estas razones, en los últimos años, se aprecia en América un constante incremento de consumo de cerveza, principalmente la artesanal por parte de los consumidores en detrimento de la cerveza industrial. Siendo la diferencia principal entre la cerveza industrial y la artesanal, el tratamiento de la materia prima en el proceso de elaboración y la eliminación de conservantes no naturales.

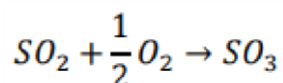
Las cervezas artesanales no utilizan ningún aditivo artificial, simplemente agua, levadura, malta de cebada (también trigo en cervezas de este cereal) y lúpulos. El proceso de elaboración es manual o con una mínima ayuda de maquinaria desde el molido de las maltas hasta el embotellamiento, al contrario de las grandes cerveceras industriales, donde el proceso es automático y la participación humana es mínima. Tampoco se realiza ningún proceso de filtración ni pasteurización que merme sus cualidades organolépticas, procesos habituales en el caso de las cervezas industriales (Gilbert, 2002).

La cerveza tiene bajo contenido calórico y posee nutrientes que hacen que pueda incluirse dentro de una alimentación saludable y se integre en la dieta. Según Kunze (2006), “La cerveza es una bebida tradicional que, además de aportar ciertas sustancias nutritivas y no nutritivas, es fuente de agua para el organismo, cuyo consumo debe ser responsable y moderado”.

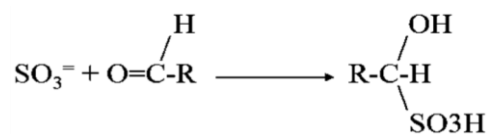
Actualmente, la industria Cervecera Boliviana, emplea aditivos tales como el MKS u otros sulfitos en el proceso de filtración previo a envasar el producto. El MKS (Metabisulfito de Potasio) es una sal de potasio. Cuando se emplea en la industria alimentaria aparece bajo el código E 224.2. Se emplea como conservante alimentario en diferentes sectores de la industria; uno de los más corrientes en la elaboración de vino, mostos y preparados cárnicos (hamburguesas y carnes picadas) donde se emplea por su función antioxidante y antiséptica en contra de las levaduras y bacterias no deseadas; de la misma forma facilita la solubilización de las sustancias fenólicas. Este aditivo añadido al vino proporciona dióxido

de azufre a la vendimia como conservante, produciendo como efecto secundario un incremento de potasio en los vinos.

Existen varios factores que inciden en el deterioro de la cerveza. Durante la fermentación se requiere la presencia de oxígeno, pero demasiado oxígeno puede ser perjudicial para el proceso, porque puede hacer que las células de levadura desarrollen sabores y aromas extraños, lo que daría lugar a un producto final menos que ideal (Micet Craft, 2025). Por ello se utiliza el MKS para reducir el proceso de oxidación. El metabisulfito es un polvo cristalino blanco amarillento y soluble en agua. Al disolverse libera dióxido de sulfuro gaseoso, que reacciona con el oxígeno según:



También mediante reacciones de adición con los dobles enlaces del oxígeno, el MKS bloquea grupos aldehídicos y cetónicos, reduciendo percepción de los deméritos típicos de estos compuestos



El MKS debe manipularse con cuidado ya que en contacto con los ojos y piel puede provocar irritación. Debe estar en un entorno alcalino, y evitar que entre en contacto con sustancias ácidas (y oxidantes) ya que libera anhídrido sulfuroso que es un gas tóxico e irritante.

En el proceso industrial, una vez descargados los granos son enviados a los silos de almacenaje. Estos silos son de forma cilindro – cónicas y de material metálico, poseen un sistema automático de carga y descarga, así como un controlador permanente de nivel interno. Los depósitos para almacenamiento de malta deben evitar la humidificación del producto y el contacto con agentes externos agresores.

El proceso de elaboración de Cerveza consiste en tres etapas:

Cocimiento

Fermentación

Filtración

Cocimiento

Cocimiento son las operaciones desde la recepción de materia prima hasta obtener el mosto frío. Incluye la molienda del grano, la maceración, la filtración, el hervido, la sedimentación y el enfriamiento del mosto.

La malta contiene en sí misma materias solubilizadas, que han sido formadas durante la germinación en el malteo y éstas se obtienen directamente en contacto con el agua durante la maceración, pero la mayor parte debe ser solubilizada por la acción enzimática. Para facilitar el contacto y permitir una buena solubilización, es preciso efectuar una molienda del grano (Kunze, 2006).

Una vez que se dispone de la malta molida y el adjunto preparados en sus respectivas tolvas, se mezclan con agua para iniciar las reacciones enzimáticas. Estas reacciones se producen respectivamente en el macerador de malta y el cocedor de adjuntos (Kunze, 2006).

El objetivo de la maceración es transformar los almidones en azúcares fermentecibles o no para la levadura (Kunze, 2006).

La enzima es un compuesto proteico cuya función principal es catalizar las reacciones enzimáticas. Estas enzimas requieren de condiciones especiales para su funcionamiento, principalmente del pH y la temperatura, aunque también pueden verse afectadas por ciertos inhibidores y la relación agua/molienda. (Badui, 1993)

La finalidad esencial de la filtración consiste en la separación del mosto de la mezcla sacarificada, y de la parte insoluble de esta última, es decir el bagazo o hez de malta. Esta separación consiste en un proceso físico, aunque no exento de complejidad, es decir que en función de la técnica empleada se pueden conseguir mejores o peores resultados tanto cualitativos como cuantitativos.

Terminada la filtración del mosto y los lavados, el proceso que sigue en la Sala de Cocimiento es la ebullición y el lupulado. La estabilización del mosto tiene lugar durante el proceso de ebullición en diferentes aspectos (Kunze, 2006):

Aspecto biológico: el mosto contiene microorganismos termoresistentes. La ebullición prolongada a valores de pH (5,2 - 5,4) consigue destruir las formas más resistentes de microorganismos al calor. Las cualidades antisépticas de lúpulo contribuyen favorablemente a esta esterilización.

Aspecto bioquímico: durante la ebullición se destruyen los restos de actividad enzimática, en particular la de la alfa amilasa.

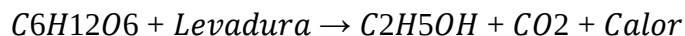
Aspecto coloidal: mediante la ebullición se consigue una estabilización coloidal debido a la coagulación por efecto térmico de las materias nitrogenadas de naturaleza coloidal, las cuales precipitan formando coágulos para ser eliminados ulteriormente en la fase siguiente de la ebullición.

Las proteínas complejas son en parte responsables del enturbiamiento de la cerveza, razón por la cual es preciso eliminarlas; sin embargo, una eliminación total no es deseable, ya que las proteínas son responsables del "cuerpo" de la cerveza y de la estabilidad de la espuma. La ebullición no deberá llevarse a extremos en este sentido (Kunze, 2006).

Antes de sembrar el mosto con levadura para iniciar la fermentación, es preciso enfriar el mosto. Este se encuentra a 100°C al final de la ebullición, y la mortandad de la levadura se sitúa alrededor de los 40°C. Es preciso por lo tanto enfriar el mosto hasta valores de 8 – 10°C para los casos de fermentación “baja”. El oxígeno es indispensable para la levadura y por lo tanto para la fermentación del mosto. La oxigenación del mosto se realiza generalmente mediante la aireación del mismo (Kunze, 2006).

Fermentación

Tradicionalmente se ha definido la fermentación cervecera como el proceso anaeróbico mediante el cual la levadura convierte los azúcares del mosto en alcohol y gas carbónico. La fermentación alcohólica en este caso es el desdoblamiento de la glucosa en etanol y gas carbónico con desprendimiento de calor bajo la acción de los fermentos o enzimas de la levadura (Kunze, 2006):



Sabido es que no participa únicamente la glucosa en la fermentación, sino el conjunto de los azúcares fermentecibles contenidos en el mosto. Sin embargo, las reacciones son mucho más complejas y las transformaciones que tienen lugar durante la fermentación no se limitan únicamente a los azúcares, sino a todos los componentes del mosto que son asimilados por la levadura dando lugar a numerosos productos derivados finales en la cerveza. Los compuestos, resultantes del metabolismo de la levadura, incluyen los alcoholes superiores, los ésteres, cetonas, aldehídos, sustancias azufradas, ácidos orgánicos, y otras transformaciones, tales como las isohumulonas y los polifenoles que juegan un papel fundamental en el sabor, en el perfil aromático y características finales de la cerveza (Kunze, 2006).

A pesar de toda su complejidad, la fermentación depende de tres parámetros principales:

a) La composición del mosto.

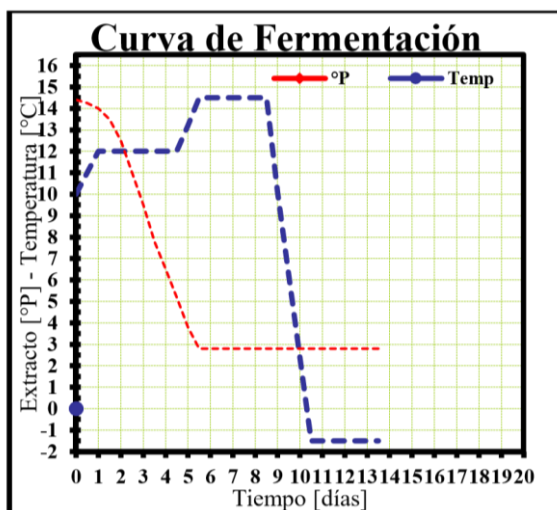
La levadura en sí misma.

Las condiciones de fermentación.

La interacción y dependencias de estos tres parámetros conducirán a la cerveza final deseada. El mosto contiene las sustancias nutrientes de la levadura. La raza o tipo de levadura seleccionada determinará el tipo de fermentación (alta o baja) y por consiguiente el tipo de cerveza así como las condiciones del proceso tales como el tiempo, la temperatura, la presión, etc.

En la práctica tradicional la fermentación se produce en dos fases o etapas separadas y sucesivas: fermentación principal y fermentación secundaria.

Figura 1. Curva de Fermentación teórica



La primera etapa, fermentación principal o tumultuosa, se caracteriza por un desprendimiento intenso gaseoso como consecuencia del anhídrido carbónico resultante de la transformación de la glucosa (que procede del desdoblamiento de la maltosa), y la disminución de la densidad del medio debido al alcohol producido y un crecimiento de la levadura con respecto a la cantidad inicial de siembra además de una importante producción de calor que se traduce en una elevación de la temperatura (Kunze, 2006).

La fermentación principal abarca desde que se comienza a llenar el tanque elevando levemente la temperatura hasta llegar a 12°C, hasta que el extracto desciende a 5.5°P donde inicia el cierre del frío para llegar a la guarda caliente a 14.5°C o fermentación secundaria.

La segunda etapa, la fermentación secundaria o guarda, mucho menos “activa” que la precedente complementa la fermentación de los carbohidratos y demás complejos resultantes de la sacarificación del almidón y presentes en el mosto original. En la guarda caliente es donde la levadura termina de reducir el diacetilo y consumir el resto del extracto fermentecibles, el momento en el cual es cosechada. Una vez que se reduce el diacetilo se procede al enfriamiento hasta llegar a la guarda fría a -1.5°C (Kunze, 2006).

Las levaduras que se emplean en la industria cervecera tienen similitudes básicas en sus propiedades y se distinguen dos especies: *Saccharomyces cerevisiae* o levadura de fermentación alta (que producen las cervezas ales, pofler y stout) y, *Saccharomyces carlsbergensis* o levadura de fermentación baja (que producen los tipos de cerveza “lager”

Pilsen, Viena, Dormundt, etc.). Todos los demás tipos de levaduras (por ejemplo, de los géneros *Sacharomyces*, *Hansenula*, *Dichia*, *Torulopsis*, *Cándida*, *Brettanomyces*, etc. y otras especies de *Sacharomyces*) han sido asociadas con alteraciones de deterioro de la cerveza y genéricamente se denominan “levaduras salvajes” o no cultivadas (Ingeniería de Procesos. Gerencia de Tecnología y Calidad, 2016)

Se entiende el crecimiento de la levadura en el aspecto de su aumento de tamaño celular y sobre todo en la proliferación o aumento de la masa celular en el mosto en fermentación. La curva de crecimiento típica de un microorganismo a la cual se asemeja la de la levadura y en la cual se ven las cinco etapas o fases diferenciales. Pues bien, desde el punto de vista práctico cervecero interesa que la fase de latencia (o adaptación) sea lo más breve posible. Esto porque cuanto más breve sea, más rápidamente se inicia la fermentación y por lo tanto mayor rendimiento productivo se obtiene (eficiencia); además que cuanto más rápidamente se inicie la fermentación, la levadura toma la delantera a cualquier otro organismo posible de infección y lo desplaza. Este aspecto está relacionado con el poder fermentativo de la levadura, su actividad fermentativa definida como la cantidad de azúcar que la unidad de masa de levadura transforma en la unidad de tiempo (Kunze, 2006).

Filtración

La precipitación proteica es muy grande durante la fermentación principal y la formación de complejo polifenoles-proteínas es debida a la disminución del pH y a un aumento del contenido alcohólico. Al finalizar la fermentación principal, la cerveza está muy ‘cargada’ – turbia. Esta turbidez es debida principalmente al contenido de levadura en suspensión, y al velo producido por las micelas coloidales en la asociación proteínas - taninos que se forman debido al descenso de la temperatura, a la disminución del pH y a la menor solubilidad debido al aumento de la concentración de alcohol (Ingeniería de Procesos. Gerencia de Tecnología y Calidad, 2016).

El contenido en levadura suele ser variable y dependerá del tipo de levadura empleado (floculante o pulverulentas), del grado de atenuación principal (de la diferencia de atenuación respecto a la límite), etc. Durante el tiempo de guarda a temperaturas bajas, a 0°C la mayor parte de la levadura en suspensión y de la turbidez de taninos/proteínas, sustancias amargas, etc. se depositan en el fondo del tanque, al final de la fase de fermentación. Esta clarificación por sedimentación por efecto de gravedad se ve mejorada por las bajas temperaturas. En cualquier caso, es preciso una guarda larga y fría para conseguir un efecto de clarificación natural de la cerveza.

Durante el periodo de guarda y reposo se puede obtener un equilibrio coloidal y del sabor. La disminución de temperatura contribuye a la aparición de mayor cantidad de material insoluble. Sin embargo, la temperatura no es el factor preponderante; la eficacia del proceso depurativo natural viene dado por el binomio “temperatura – tiempo”. Por ello debido a que el periodo de clarificación natural no es suficiente, se recurre a procesos de filtración con el objetivo de Aportar estabilidad y obtener mayor brillantez del producto (Kunze, 2006).

Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar diferentes estrategias de fermentación en la elaboración de cerveza a nivel industrial para incrementar la generación de dióxido de azufre y poder eliminar el uso de conservantes químicos como el MKS.

Metodología

Análisis fisicoquímico de la materia prima

Inicialmente, se eligió y realizó la recolección de muestras de malta y maíz (5 kg de cada caso): malta uruguaya (MUSA) y maíz desgerminado proveniente de Santa Cruz. Posteriormente, se hizo análisis de laboratorio de las muestras sobre contenido de humedad, proteínas, materia grasa, carbohidratos y enzimas.

Análisis del mosto

Una vez recepcionado el grano, en el proceso de cocimiento se realizó la molienda, maceración, filtración, hervido, centrifugación, enfriamiento y posterior aireación para la inoculación de la levadura. El mosto obtenido fue sometido luego a análisis para determinar el extracto o contenido de glucosa a través de la concentración en °P (Grados Plato), y otros parámetros de importancia para la fermentación como el pH y grado de atenuación.

Pruebas preliminares en la fermentación

El cocimiento se realizó por batch o lotes (un tanque consta de 8 cocimientos individuales de 450 Hl con una cadencia aproximadamente de 2 horas con 50 minutos).

En el proceso de fermentación se procedió a experimentar a partir de las variables de orden de dosificación de levadura, cantidad de aire, cantidad de levadura y generación de levadura empleada (Cuadro 2).

Seguimiento a la generación de dióxido de azufre

Durante la fermentación se realizó un seguimiento a la generación de dióxido de azufre, además de los parámetros de concentración de glucosa, pH y temperaturas para asegurar que el proceso se lleve a cabo con normalidad. Para determinar el dióxido de azufre se procedió según el método de determinación espectrofotométrico:

Pipetear 1 ml de solución estabilizadora de mercurio y 2,5ml de H₂SO₄ dentro de un matraz de 100 ml y mezclar.

Cuidadosamente, pipetear 5 ml de muestra fría sin desgasificar usando una pipeta de 5 ml (previamente enfriada en heladera, esto ayuda a prevenir formación de espuma sin necesidad de usar 1-octanol como antiespumante) en el matraz de 100 ml. Tapar y mezclar con agitación circular.

Adicionar 7,5 ml de solución de 0.1 N NaOH, tapar, mezclar nuevamente y dejar reposar por 30 seg. Luego adicionar 5 ml de H₂SO₄ 0.1 N y tapar. Mezclar por agitación circular.

Pipetear 10 ml de p-rosanilina dentro del matraz, agitar suavemente para mezclar; pipetear 10 ml de la solución de formaldehído y agitar nuevamente. Tapar los matraces luego de cada adición.

Llevar a volumen con agua destilada, tapar y agitar por invertido del matraz. Dejar reposar el matraz en oscuridad y a temperatura ambiente por 30 minutos previo a realizar la lectura espectrofotométrica. Comenzar a tomar el tiempo luego de la adición del formaldehído. La extinción de la solución es medida en el espectrofotómetro contra un blanco en una cubeta de 1 cm a una longitud de onda de 550nm.

La preparación del blanco consistió en transferir cuidadosamente 5 ml de cerveza fría sin desgasificar usando una probeta de 5 ml (previamente enfriada en heladera, esto ayuda a prevenir formación de espuma sin necesidad de usar 1-octanol como antiespumante) a un matraz de 100 ml. Agregar 0.5ml del indicador de almidón al 1% y añadir gota a gota solución de yodo 0.05N hasta ver permanencia de una coloración azulada durante 3 a 5 segundos. Agregar una gota más para asegurar un pequeño exceso y permitir que permanezca hasta que la coloración desaparezca (aproximadamente un minuto).

Poner en cero el espectro con agua destilada, determinar y registrar la lectura del espectrofotómetro para el blanco a la misma longitud de onda utilizada para la curva de calibración. Luego poner en cero el espectrofotómetro con el blanco preparado en 5.2.7, realizar la lectura de la muestra y tomar el valor de SO₂ de una curva calibrada.

Determinación de factores óptimos en la fermentación

Los valores tomados en cuenta para el diseño experimental fueron:

Cocimiento dosificado, con referencia al número de batch en el cual se dosificaría la levadura.

Aireación del mosto, con referencia al contenido de aire a inyectar en el mosto previa a la inoculación de la levadura.

Carga específica de levadura, con referencia a la cantidad de levadura dosificada por volumen de cocimiento.

Generación de levadura, con referencia al número de vez con que se reutilizaría la levadura en el proceso de fermentación.

Cuadro 2. Variables en el proceso de fermentación

Niveles-Factores	Nivel Bajo	Nivel Alto
Cocimientos dosificados	1-2-3	1-3-4
Aireación de mosto (ppm)	9	10
Carga específica de levadura (litros levadura/hl mosto)	0.92	0.94
Generación de Levadura	2	4

Resultados

La caracterización de la malta denotó parámetros tales como el porcentaje promedio de impurezas (1.71%), la humedad promedio (4.90%) y el contenido de proteínas (10.5%).

La caracterización del maíz parámetros tales como el porcentaje promedio de impurezas (1.15%), la humedad promedio (12.85%) y el contenido de ácidos grasos (0.49%).

Al final del proceso de cocimiento, previo a la fermentación, se tuvieron características del mosto, tales como el extracto de 14.32°P, un pH de 5.15, y una atenuación del 84.28%.

En las pruebas de fermentación en la que se realizaron seguimientos a la generación de SO₂, las mejores condiciones de proceso resultaron ser: generación de levadura de muchos usos, una aireación del mosto de 9ppm, carga específica de levadura de 0.92l/hl de mosto y una estrategia de dosificación en los cocimientos 1, 3 y 4.

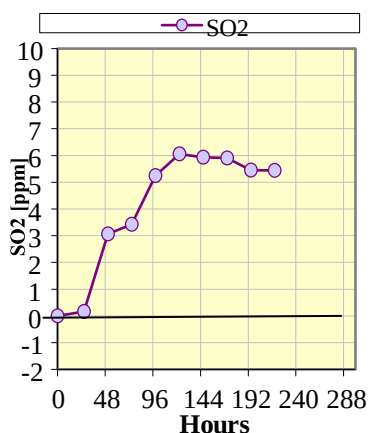
De esa manera, se llegó a incrementar considerablemente el contenido de dióxido de azufre hasta el estándar requerido actualmente por la industria.

Con la estrategia de fermentación tradicional se lograban contenidos de alrededor de 6ppm de dióxido de azufre, por lo que era inevitable tener que adicionar MKS para lograr los contenidos requeridos para evitar la prematura oxidación del producto (Figura 2A).

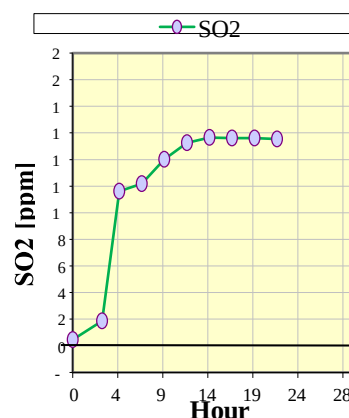
Con la estrategia de fermentación propuesta se lograron contenidos de alrededor de 16ppm de dióxido de azufre, por lo que deja de ser necesario adicionar MKS como conservante al producto (Figura 2B).

En la filtración se procedió a diluir la cerveza para llegar a un extracto de 10.8°P, donde el contenido de dióxido de azufre se redujo proporcionalmente a 12ppm aproximadamente. Lo que permitiría eliminar el contenido de MKS empleado como conservante hasta entonces (Figura 2D).

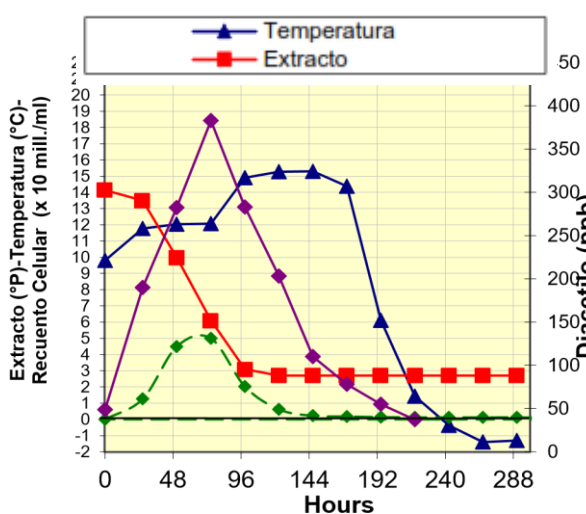
Figura 2. Concentración de Dióxido de Azufre y Curva de fermentación en los procesos de fermentación tradicional y con la nueva estrategia



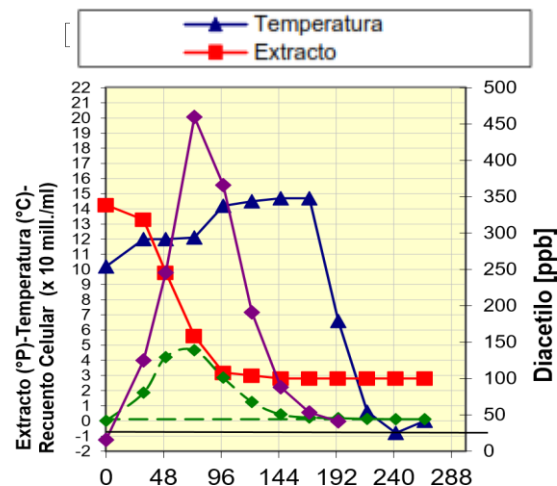
A. Concentración de Dióxido de Azufre en la Fermentación tradicional



B. Concentración de Dióxido de Azufre con la nueva estrategia de fermentación



C. Curva de Fermentación tradicional



D. Curva de Fermentación con la nueva estrategia

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que diferentes estrategias en la fermentación pueden mejorar los rendimientos de generación de dióxido de azufre, al punto que permitan reducir y hasta eliminar el contenido de conservantes, dando lugar a un producto más natural.

La estrategia de dosificación de levadura es el parámetro de mayor influencia en el proceso de generación de dióxido de azufre.

Las mejores condiciones de operación para el proceso de fermentación, aplicado a todas las generaciones de levadura vienen dados por una aireación del mosto de 9ppm, carga específica de levadura de 0.92l/hl de mosto y una estrategia de dosificación en los cocimientos 1, 3 y 4.

Se determina que la cantidad promedio de dióxido de azufre, en las mejores condiciones de operación para segunda generación de levadura, es de 8.6mg/l, incrementando en un 54% la cantidad de generada de dióxido de azufre en la fermentación.

La cantidad promedio de dióxido de azufre, en las mejores condiciones de operación para tercera generación de levadura, es de 10.7 mg/l, incrementando en un 91% la cantidad de generada de dióxido de azufre en la fermentación.

La cantidad promedio de dióxido de azufre, en las mejores condiciones de operación para cuarta generación de levadura, es de 13mg/l, incrementando en un 130% la cantidad de generada de dióxido de azufre en la fermentación.

Según los parámetros de fermentación, mientras la cosecha de levadura tenga mayor cantidad de cosechas o generaciones, se logra aún mayor cantidad de generación de dióxido de azufre. Sin embargo, debido a la calidad del producto en cuanto a sabores y aromas, no es recomendable emplear cosechas superiores a la cuarta generación.

En cuestión de la aireación y la cantidad de levadura dosificada, mientras mayores sean éstos, se encuentra una aceleración en el proceso de producción, de tal forma que presenta características de acidez en el producto final, por lo que son parámetros que deben controlarse para asegurar la calidad del producto terminado.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se mantienen dentro de los estándares definidos. El contenido de dióxido de azufre se mantiene estable durante seis meses o más por lo que el producto no corre riesgo de oxidación durante su tiempo de vigencia en el mercado.

Con los valores obtenidos en fermentación, ya es posible modificar la receta de filtración y anular la dosificación de MKS, con los beneficios de un ahorro para la compañía y principalmente el retirar un conservante del producto.

Referencias

- Badui, S. (1993). Química de los alimentos. Pearson Educación, México.
- Gilbert, D. (2002). El gran Libro de las Cervezas. España: Editors, S.A.
- Hough, J. H. (1990). Biotecnología de la Cerveza y de la Malta. Acribia, Zaragoza.
- Ingeniería de Procesos. Gerencia de Tecnología y Calidad. (2016). Manual de Iniciación a la Elaboración de Cerveza. Quilmes, Buenos Aires.
- Micet Craft (2025). El papel del oxígeno en la fermentación de la cerveza. Disponible en: <https://www.micetcraft.com/es/el-papel-del-oxigeno-en-la-fermentacion-de-la-cerveza/>
- Kunze, W. (2006). Tecnología para cerveceros y malteros. VLB, Berlín.
- Verhoef, B. (2003). La enciclopedia de la cerveza. Edimat, Arganda del Rey.

Genes WRKY en *Malus* spp.: Identificación y Análisis de su Rol en la Adaptación a Estrés Abióticos

Winder Felipez^{6,7},

Martha Serrano⁸

Jennifer Villavicencio⁹

Wilson Siñaniz¹⁰

Willams Pillco¹

Antonio Costa de Oliveira¹¹

Resumen

La investigación tuvo como objetivo identificar y analizar la diversidad y expresión de los genes *malusWRKY* en *Malus domestica*, *Malus sieversii* y *Malus sylvestris*, así como evaluar su papel en la adaptación a estrés abiótico. Se recopilaron datos de diez genomas completos de *Malus* a partir de bases de datos de rosáceas y NCBI. La identificación de proteínas WRKY se realizó con el método HMMER, y las secuencias fueron verificadas usando herramientas como Pfam y SMART. Para el análisis filogenético, se alinearon las secuencias con ClustalX2, generando árboles filogenéticos mediante MEGA XI y BEAST v.2.5. La duplicación de genes se analizó con DupGen_finder y se visualizó en TBtools. Además, se evaluó la expresión diferencial de genes utilizando datos de RNA-seq, alineándolos con HISAT2 y cuantificando con FeatureCounts. Se identificaron 345 genes *pomWRKY*, de los cuales 115 fueron clasificados como *malusWRKY*, distribuidos en grupos funcionales. Los resultados mostraron que los grupos I y III de *malusWRKY* fueron los más representativos, indicando su relevancia en la regulación de respuestas al estrés y el desarrollo. La duplicación genética en *M. domestica* evidenció una expansión significativa, sugiriendo una dinámica evolutiva activa. La expresión diferencial de los genes en respuesta al estrés frío destacó la adaptabilidad de estas especies, con picos de expresión en genes clave para la respuesta temprana al frío, lo que resalta su potencial para la tolerancia a estrés ambientales.

Palabras claves: factores de transcripción, adaptación al estrés, duplicación genética, *Malus domestica*, *Malus sieversii*, *Malus sylvestris*.

⁶ Universidad Nacional “Siglo XX”, Dirección General de Investigación, Llalagua, Bolivia.

⁷ Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca—USFX, Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla, Correo Central, Sucre 1046, Bolivia.

⁸ Correo de contacto: jl.itonama@gmail.com

⁹ Universidad Científica del Sur—UCSUR, Carrera de Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ciencias Ambientales, Lima CP 150142, Peru

¹⁰ Centro de Operaciones Logísticas, Universidad Privada Boliviana. Correo de contacto: evelynagreda1@upb.edu, agathadasilva@upb.edu

¹¹ Universidade Federal de Pelotas—UFPel, Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas CEP 96010-900, RS, Brazil

Abstract

WRKY Genes in *Malus* spp.: Identification and Analysis of their Role in Adaptation to Abiotic Stresses

The research aimed to identify and analyze the diversity and expression of malusWRKY genes in *Malus domestica*, *Malus sieversii*, and *Malus sylvestris*, as well as to evaluate their role in adaptation to abiotic stresses. Data from ten complete *Malus* genomes were collected from rosaceae databases and NCBI. The identification of WRKY proteins was conducted using the HMMER method, and the sequences were verified using tools such as Pfam and SMART. For phylogenetic analysis, sequences were aligned with ClustalX2, generating phylogenetic trees using MEGA XI and BEAST v.2.5. Gene duplication was analyzed with DupGen_finder and visualized in TBtools. Additionally, differential gene expression was evaluated using RNA-seq data, aligning them with HISAT2 and quantifying with FeatureCounts. A total of 345 pomWRKY genes were identified, with 115 classified as malusWRKY, distributed across functional groups. The results indicated that groups I and III of malusWRKY were the most representative, highlighting their relevance in regulating stress responses and development. Gene duplication in *M. domestica* showed significant expansion, suggesting active evolutionary dynamics. The differential expression of genes in response to cold stress emphasized the adaptability of these species, with peaks of expression in key genes for early cold response, underscoring their potential for tolerance to environmental stresses.

Keywords: transcription factors, stress adaptation, gene duplication, *Malus domestica*, *Malus sieversii*, *Malus sylvestris*.

Introducción

La familia de proteínas WRKY representa uno de los grupos más grandes de factores de transcripción (TFs) en las plantas superiores, desempeñando roles cruciales en diversos procesos biológicos, incluida la inmunidad vegetal y la respuesta al estrés (Jiang et al., 2017). Esta superfamilia se ha implicado en la regulación del desarrollo de las plantas y la formación de órganos, así como en las respuestas a estreses bióticos y abióticos (Pandey y Somssich, 2009). Estructuralmente, las proteínas WRKY se caracterizan por la presencia del dominio WRKY y un motivo de dedo de zinc, que incluye una región altamente conservada de 60 aminoácidos. Estas proteínas se unen preferentemente al elemento cis W-box, lo que les permite regular la expresión de una amplia variedad de genes objetivo (Eulgem et al., 2000a; Rushton et al., 2010).

El descubrimiento de las proteínas WRKY se remonta a su identificación en la batata o camote (*Ipomoea batatas*) (Ishiguro y Nakamura, 1994). Investigaciones posteriores han revelado una gran cantidad de genes WRKY en diversas especies vegetales, incluidos 74 genes AtWRKY en *Arabidopsis thaliana*, 102 genes OsWRKY en arroz (*Oryza sativa* ssp indica) y 197 genes WRKY en soja (*Glycine max*) (Eulgem et al., 2000b; Ross et al., 2007; Schmutz et al., 2010). Es notable que en miembros de la familia Rosaceae se han identificado numerosos genes WRKY, como 59 genes FvWRKY en la fresa silvestre (*Fragaria vesca*) y

56 genes RcWRKY en la rosa (*Rosa chinensis*) (Liu et al., 2019; Zhou et al., 2016). Estos hallazgos subrayan la amplia distribución y la importancia evolutiva de la familia de genes WRKY a través de diversas especies.

Entre las especies pomáceas de la familia Rosaceae, la familia de genes WRKY es particularmente prominente, con la manzana (*Malus domestica*), el membrillo (*Cydonia oblonga*) y la pera (*Pyrus communis*) como los ejemplos más destacados (Rohrer et al., 1991). El genoma de la manzana, que consta de 17 cromosomas ($2n = 2x = 34$), se piensa que ha evolucionado a partir de un ancestro aneuploide, probablemente originado en América del Norte (Evans y Campbell, 2002). La arquitectura genómica de *Malus* muestra similitudes con la de *Pyrus*, con ambos exhibiendo tamaños de genoma comparables que sugieren co-linealidad (Arumuganathan y Earle, 1991; Morillo-coronado y Morillo-coronado, 2016; Tatum et al., 2005).

Los estudios de expresión de los genes WRKY en especies pomáceas revelan sus funciones regulatorias en la resistencia a enfermedades, la tolerancia a estímulos ambientales y los procesos de desarrollo. Estos genes muestran patrones de expresión diferencial en respuesta a varios estresores bióticos, incluidos el patógeno bacteriano *Erwinia amylovora* y numerosos patógenos fúngicos como *Botrytis dothidea* y *Fusarium solani* (Dong et al., 2021; Gardiner et al., 2012). Además, las proteínas WRKY también están implicadas en las respuestas al estrés abiótico, incluida la tolerancia al estrés hídrico y salino (Cong et al., 2021; Han et al., 2018; Sun et al., 2019), lo que resalta sus roles multifacéticos en la supervivencia y adaptación de las plantas.

Los recientes avances en el análisis transcriptómico, la genómica comparativa y la selección genómica han facilitado la identificación y caracterización de los genes WRKY en varias especies. Por ejemplo, se han documentado 103 genes PbrWRKY en el membrillo (*Pyrus bretschneideri*) asociados con respuestas al estrés, y 127 genes MdWRKY en manzana relacionados con el estrés por inundación y agua (Huang et al., 2015). Estos análisis comprensivos proporcionan información sobre las diversas funciones de los genes WRKY, pero el pleno alcance de sus roles aún debe ser esclarecido, especialmente en relación con condiciones ambientales específicas y etapas de desarrollo.

A pesar de la extensa investigación sobre los factores de transcripción WRKY en varios organismos modelo, aún falta un estudio exhaustivo sobre la identificación y caracterización de los genes WRKY en especies pomáceas. Este estudio tiene como objetivo proporcionar un análisis completo de los genes WRKY en diez especies y cultivares pomáceos, incluyendo la manzana cultivada variedad Gala (*Malus domestica*), la manzana silvestre (*Malus sieversii*) y *Malus sylvestris*. Al examinar las relaciones evolutivas de las proteínas WRKY *Malus*, sus eventos de duplicación y su expresión diferencial en tejidos de hojas, buscamos enriquecer la comprensión de esta importante familia de genes en plantas frutales, allanando así el camino para futuras investigaciones y estrategias de mejora dirigidas a aumentar la tolerancia al estrés en cultivos pomáceos.

Metodología

Identificación de genes *malusWRKY*

Los datos de diez genomas completos se recopilaron de la base de datos del genoma de las rosáceas - GDR (<https://www.rosaceae.org/>) y de la base de datos BioProject del Centro Nacional de Información Biotecnológica - NCBI, para *Malus* spp. se encontraron cinco especies: manzana cultivada (*M. domestica* cv. Gala haploide v1.0), manzana silvestre (*M. sieversii* v1.0) y manzana silvestre (*M. sylvestris* haploid v1.0) con el número de acceso PRJNA591623 (X. Sun et al., 2020). Para identificar las proteínas WRKY en especies pomáceas, se utilizó el método Hidden Markov Model (HMM) del dominio WRKY (PF03106) en especies pomáceas utilizando el software HMMER con un valor de corte E de 0,001 ($E = 1e-3$). Posteriormente, verificamos todas las secuencias utilizando diferentes herramientas Pfam, base de datos InterProScan, base de datos NCBI y SMART. Para las características químicas de las secuencias de proteínas, se utilizó ExPASy ProtParam (<https://web.expasy.org/protparam/>) para predecir el punto isoeléctrico (pI), el peso molecular (MW) y la hidrofobicidad promedio general (GRAVY) de cada *malusWRKY*.

Clasificación filogenética de genes *malusWRKY*

Para el alineamiento global o múltiple se utilizó ClustalX2 con la configuración predeterminada (Larkin et al., 2007). Todas las secuencias alineadas se curaron rigurosamente en Gblocks 0.91b (Castresana, 2000) en el sitio web NGPhylogeny.fr (Lemoine et al., 2019). Se utilizó MEGA XI (Tamura et al., 2021) para realizar cortes de brecha de las columnas de alineamiento y generar topologías de árboles mediante el método Neighbor-Joining NJ con bootstrap 1000 y aplicando la matriz JTT (Jones et al., 1992) () se utilizó el método de tipo para generar distancias entre secuencias y proximidad de cada especie. También se utilizó el software BEAST v.2.5 (Bouckaert et al., 2019), con el método de agrupamiento UPGMA de máxima probabilidad, con 10.000.000 de réplicas de matriz de reemplazo bootstrap y JTT para generar una topología de árbol único de todo tipo de grupos y subgrupos o dominios de secuencias genéticas.

Duplicación de genes *malusWRKY*

Para analizar los eventos de duplicación de genes entre los genes *malusWRKY*, empleamos DupGen_finder (Qiao et al., 2019). Esta herramienta permite la diferenciación entre varios tipos de duplicados de genes, incluyendo la duplicación de todo el genoma (WGD), la duplicación en tándem, la duplicación transpuesta, la duplicación proximal y la duplicación dispersa, utilizando la configuración predeterminada. Los pares de genes *malusWRKY* duplicados se visualizaron utilizando el software (Chen et al., 2020).

Expresión diferencial de RNA-seq

Los patrones de expresión de los genes *malusWRKY* se analizaron con base en datos publicados de 26 muestras de tejido de órganos vegetales de RNA-seq en el NCBI bioProject. Para *M. doméstica*, se utilizaron nueve muestras de ID PRJNA756786 (Yang et al., 2018), para *M. sieversii*, 15 muestras de ID PRJNA706196 (Zhao et al., 2021) y para *M. sylvestris*

dos muestras de PRJEB47302 y PRJNA591623. Los tratamientos de muestra se realizaron en cuatro pasos: a) Se utilizó el kit de herramientas SRA para descargar las muestras de datos, se empleó FastQC para analizar y visualizar la calidad de las lecturas, se aplicó Trimmomatic ver. 0.39 para eliminar adaptadores de baja calidad y de biblioteca; b) Las lecturas se mapearon contra el genoma de referencia utilizando el software HISAT2 (Pertea et al., 2016). En el siguiente paso, (c) para el recuento del total de lecturas alineadas por gen en las diferentes bibliotecas, FeatureCounts (Liao et al., 2014). La cuantificación (d) se realizó utilizando los paquetes Cuffdiff. En este protocolo, se utilizó un método de normalización FPKM (Fragments Per Kilobase Million), que significa fragmentos por kilobase de exón por millón de fragmentos mapeados, que evalúa la profundidad y longitud de secuenciación de las secuencias y la expresión de los genes *malusWRKYs* por biblioteca, concluyendo con un mapa de calor utilizando TBTools (Chen et al., 2020).

Resultados

Identificación, distribuciones y clasificación de genes *malusWRKYs*

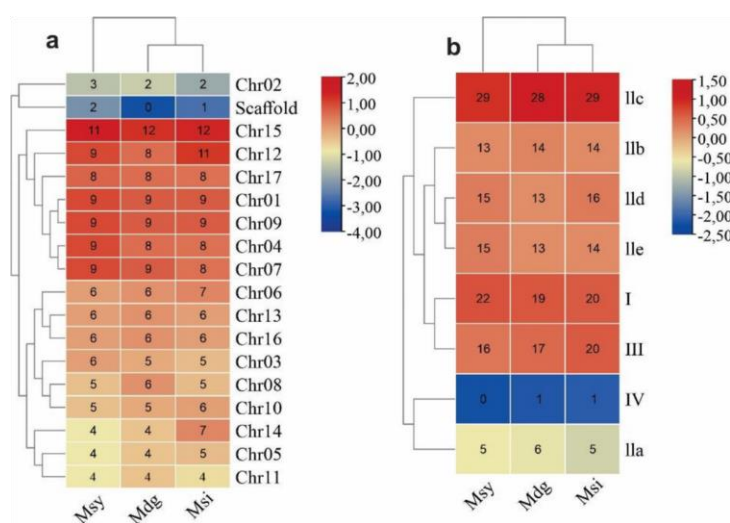
Fueron identificados 345 genes *malusWRKY* en tres especies de manzana: *Malus domestica* (Mdg), *Malus sieversii* (Msi) y *Malus sylvestris* (Msy) (Figura1a). Los mismos están clasificados en cuatro grupos y nueve subgrupos (Figura1b). En el Grupo I, se identificaron 19 genes en Mdg, 20 en Msi y 22 en Msy, indicando que este grupo es el más representativo en todas las especies. Esto sugiere que el Grupo I puede desempeñar un papel central en las funciones biológicas relacionadas con la respuesta a estrés y el desarrollo de la planta. El Grupo III también muestra una cantidad considerable de genes, con 17 en Mdg, 20 en Msi y 16 en Msy, lo que indica una buena conservación y potencial funcional en la respuesta a estímulos ambientales. Por otro lado, el grupo IV y subgrupo Ila son menos numerosos, con solo 1 y 6 genes respectivamente en Mdg, lo que podría sugerir que éstos tienen roles más especializados o menos importantes en comparación con los grupos I y III. Los subgrupos I Ib, I Ic, I Id y I Ie también tienen un número significativo de genes, con el grupo I Ic destacándose con 28, 29 y 29 genes en las tres especies. Esto sugiere que los genes en este subgrupo podrían estar altamente involucrados en procesos específicos, posiblemente relacionados con la tolerancia a estresores ambientales y funciones de desarrollo.

Distribución de Genes por Cromosomas

Al observar la distribución de los genes *malusWRKY* en los cromosomas, se puede notar que ciertos cromosomas, como Chr01, Chr07 y Chr09, contienen el mismo número de genes en las tres especies (9 genes), lo que indica una posible conservación funcional y estructural en estos loci. El Chr15 también es notable, con 12, 12 y 11 genes, lo que sugiere que este cromosoma puede ser un punto caliente para la diversidad de genes *WRKY* y puede tener un papel crucial en la regulación de las respuestas a estrés en estas especies. Sin embargo, otros cromosomas, como Chr02 y Chr10, muestran variaciones en el número de genes, lo que podría indicar divergencias evolutivas en la regulación y función de estos genes en diferentes especies. Además, la presencia de genes en scaffolds (como el scaffold que tiene 0, 1 y 2

genes) sugiere que hay regiones no mapeadas completamente en el genoma que podrían contener genes WRKY que aún no se han caracterizado adecuadamente.

Figura 1. (a) Número y distribución de genes *malusWRKY* en *Malus domestica* cv. Gala (Mdg), *Malus sieversii* (Msi) y *Malus sylvestris* (Mdy). (b) Clasificación de los subgrupos de genes *malusWRKY* en *M. domestica* cv. Gala, *M. sieversii* y *M. sylvestris*.



Duplicación de genes *malusWRKY*

Los resultados del Cuadro 1 sobre la duplicación de genes WRKY en *Malus domestica* cv. Gala, *Malus sieversii* y *Malus sylvestris*, muestran que *M. domestica* tiene el mayor número total de genes duplicados (212), lo que sugiere una mayor expansión de esta familia de genes, posiblemente debido a eventos de duplicación más frecuentes. Esta especie presenta 72 genes dispersos y 6 en tándem, mientras que *M. sieversii* y *M. sylvestris* no muestran genes dispersos y *M. sylvestris* tiene solo una duplicación en tándem. La duplicación del genoma completo (WGD) es notable en todas las especies, con números significativos en *M. domestica* (126) y *M. sieversii* (130), lo que indica que los eventos de duplicación a nivel genómico han sido cruciales en su evolución. Estos hallazgos sugieren diferencias en las estrategias evolutivas de cada especie y resaltan la importancia de los genes WRKY en la adaptación a condiciones ambientales.

Cuadro 1. Duplicación de genes WRKYs en *M. domestica* cv. Gala, *M. sieversii* y *M. sylvestris*

Species	Dispersed	Proximal	Tandem	Transposed	WGD	Total
<i>M. domestica</i> cv. Gala	72	1	6	7	126	212
<i>M. sieversii</i>	0	1	0	7	130	138
<i>M. sylvestris</i>	0	0	1	5	131	137

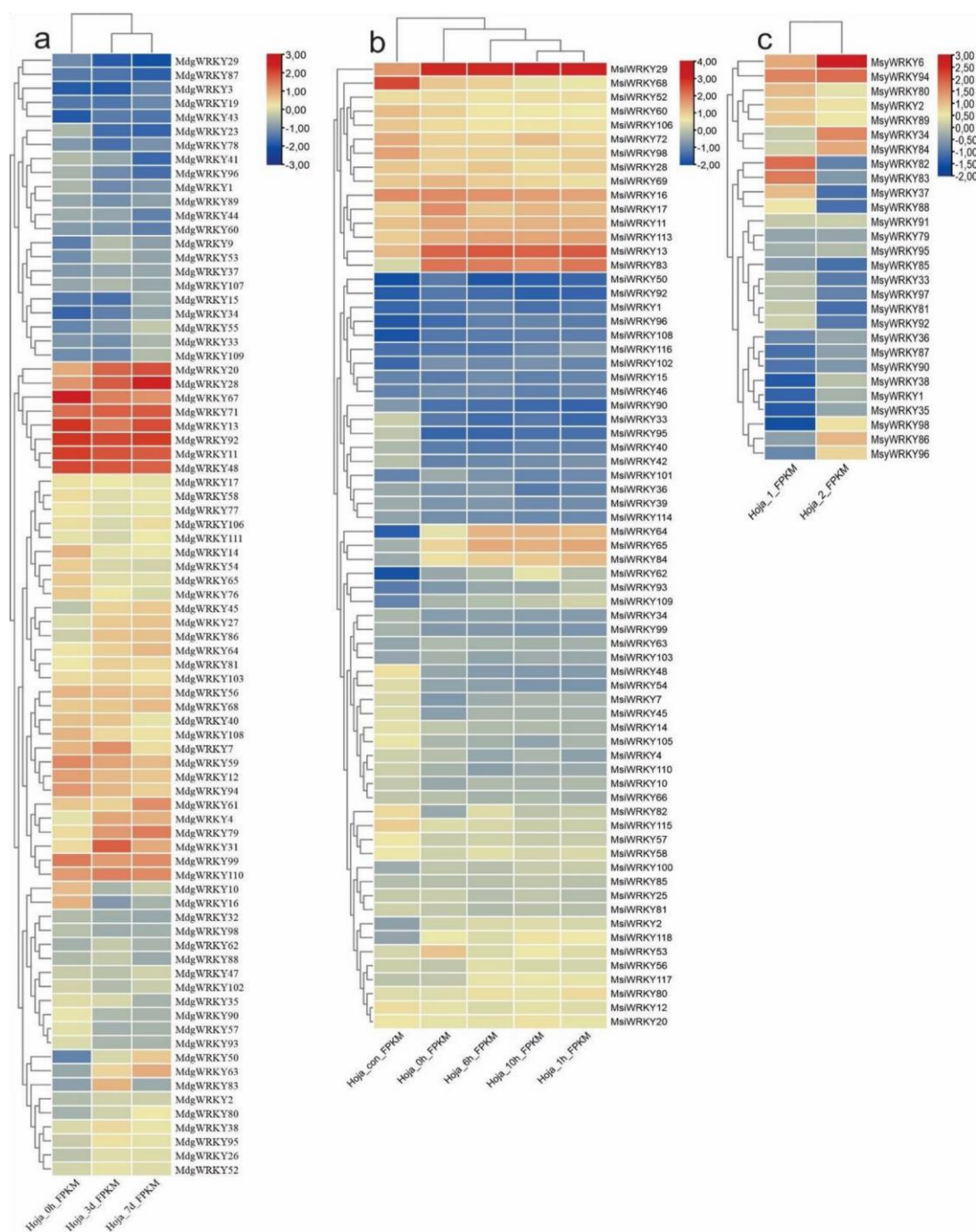
Expresión genética de genes *malus*WRKY

La expresión de los genes MdgWRKY en respuesta a bajas temperaturas presenta patrones temporales variados (Figura 2a). Genes como MdgWRKY11 y MdgWRKY13 muestran altos niveles de expresión inicial y a los 3 días, sugiriendo su importancia en la respuesta temprana al frío. Por otro lado, MdgWRKY2 y MdgWRKY20 aumentan significativamente a los 3 días, lo que indica su rol en la adaptación y biosíntesis de antocianinas. Sin embargo, genes como MdgWRKY67 y MdgWRKY71 muestran una disminución en la expresión tras los 3 días, lo que podría implicar una regulación negativa de la respuesta al frío. En contraste, MdgWRKY28 y MdgWRKY79 mantienen niveles altos, resaltando su relevancia en la biosíntesis de antocianinas, mientras que MdgWRKY92 exhibe una expresión constante, subrayando su papel crucial en las respuestas adaptativas al estrés.

La expresión de los genes MsiWRKY en *M. sieversii* bajo estrés por congelación muestra patrones variados en respuesta a la aclimatación al frío (Figura 2b). Genes como MsiWRKY13 y MsiWRKY11 presentan altos niveles de expresión inicial y alcanzan picos a las 10 horas, lo que indica su papel crucial en la respuesta rápida al frío. Otros genes, como MsiWRKY16 y MsiWRKY29, mantienen niveles elevados de expresión, sugiriendo una función sostenida en la adaptación al frío. Algunos, como MsiWRKY2 y MsiWRKY65, experimentan aumentos significativos, lo que sugiere una inducción temporal para procesos adaptativos. En contraste, genes como MsiWRKY33 y MsiWRKY40 muestran una disminución en su expresión, posiblemente indicando una regulación negativa en la respuesta al frío. Esta variabilidad resalta la complejidad de la regulación de la respuesta al estrés por congelación en *M. sieversii*.

La expresión de los genes MsyWRKY en *M. sylvestris* muestra variaciones significativas entre dos momentos de análisis (Figura 2c). Genes como MsyWRKY82 y MsyWRKY83 tienen alta expresión, sugiriendo su papel crucial en procesos metabólicos, aunque su expresión disminuye drásticamente después. Otros, como MsyWRKY2 y MsyWRKY6, también presentan una reducción notable, lo que podría indicar una activación temporal. En contraste, genes como MsyWRKY94 y MsyWRKY96 mantienen niveles moderados, sugiriendo su relevancia continua en funciones adaptativas. Estos patrones reflejan la dinámica compleja de la regulación de genes MsyWRKY en respuesta a factores ambientales.

Figura 2. Expresión de genes *malusWRKY* bajo estrés. (a) En *Malus domestica*, MdgWRKY11 y MdgWRKY13 presentan alta expresión inicial; MdgWRKY2 y MdgWRKY20 aumentan a los 3 días. (b) En *Malus sieversii*, MsiWRKY11 y MsiWRKY13 alcanzan picos a las 10 horas, mientras que MsiWRKY16 y MsiWRKY29 mantienen niveles altos. (c) En *Malus sylvestris*, MsyWRKY82 y MsyWRKY83 son altos inicialmente, pero disminuyen; MsyWRKY94 y MsyWRKY96 permanecen relevantes.



Discusiones y conclusiones

Identificación de genes *malus*WRKY

Los genes WRKY son reguladores clave de muchos procesos en las plantas, exhibiendo respuestas específicas a estreses bióticos y participación en la tolerancia a estreses abióticos (Cheng et al., 2021; Felipez et al., 2022). En especies modelo como *Arabidopsis thaliana* (Rushton et al., 2010) y también en especies no modelo como las de la familia botánica Rosaceae (Jiang et al., 2021), los genes WRKY y su participación para promover la resistencia y tolerancia a diferentes estreses se caracterizan funcionalmente (Wani et al., 2021).

La disponibilidad de ensamblaje y anotación del genoma completo de *Malus* spp.

en manzana cultivada (*M. domestica* cv. Gala), manzana silvestre (*M. sieversii*) y manzana silvestre (*M. sylvestris* haploid v1.0) (Sun et al., 2020), permitió el análisis de todo el genoma en las tres especies de la familia de factores de transcripción WRKY.

La identificación de 345 genes pomWRKY en *Malus* spp. corresponde a un número de 115 genes *malus*WRKY con un promedio ligeramente superior e inferior al de otras especies, por ejemplo, hay 103 genes PbWRKY en pera (*Pyrus bretschneideri*) (Huang et al. 2015), 127 genes MdWRKY en manzana (*Malus domestica*) (Meng et al. 2016) y 113 genes MdWRKY en manzana (*Malus domestica*) (Zhang et al. 2021). A diferencia de los 75 genes AtWRKY en *Arabidopsis* (Eulgem et al. 2000), los 56 genes RcWRKY en rosa (*Rosa chinensis*) (G. C. Liu et al., 2019), 59 genes FvWRKY en la fresa silvestre (*F. vesca*) (Garrido-Gala et al., 2022) y 61 genes PpWRKY en el durazno (*P. persica*) (Yanbing et al., 2016).

Los *malus*WRKY que se encuentran actualmente en *Malus* spp. tienen respuestas y tolerancias específicas a los estreses abióticos y bióticos, como se menciona en los estudios de los roles de WRKY en el estrés hídrico, la salinidad, además de hongos y bacterias en *Malus* spp. y *Pyrus* spp. (Felipez et al. 2022)..

Los factores de transcripción pomWRKY contribuyen a la identificación de genes WRKY en especies de plantas Rosaceae como manzana, pera, fresa y durazno, entre otras.

Clasificación de genes *malus* WRKY

La clasificación de genes WRKY en especies como *Malus domestica*, *Malus sieversii* y *Malus sylvestris* han revelado patrones interesantes en la representación y potencial funcional de estos genes. En particular, el Grupo I, con 19, 20 y 22 genes en las tres especies, se destaca como el grupo más representativo. Esto sugiere que los genes de este grupo desempeñan roles centrales en la respuesta al estrés y en el desarrollo de las plantas, un hallazgo coherente con estudios previos que subrayan la importancia de los genes WRKY en la regulación de la respuesta a factores bióticos y abióticos (Eulgem et al. 2000).

Por otro lado, el Grupo III, aunque con menos genes que el Grupo I, mantiene una buena conservación a través de las especies, lo que indica su relevancia en la adaptación a estímulos

ambientales. La existencia de grupos menos numerosos, como IV y II, puede reflejar funciones más especializadas o menos críticas en comparación con los grupos más representativos, lo que resalta la diversidad funcional dentro de la familia WRKY y su adaptación a diferentes contextos (Felipez et al. 2022).

Además, la predominancia del subgrupo IIc, con 28 a 29 genes en cada especie, sugiere que estos genes pueden estar altamente implicados en procesos específicos de tolerancia a estresores ambientales. La estructura y conservación de los dominios WRKY, junto con su capacidad de unión al elemento cis W-box, son esenciales para su función en la regulación genética (Rinerson et al., 2015). Sin embargo, la variabilidad observada en los motivos de dedos de zinc y en los heptapéptidos en diferentes especies resalta la complejidad de su evolución y su adaptación a las presiones ambientales. El hecho de que algunos genes no se clasifiquen en los grupos conocidos sugiere que aún hay un potencial no descubierto en estas especies. La identificación de secuencias de dominio único y variantes de aminoácidos indica que la familia WRKY sigue evolucionando, lo que plantea interrogantes sobre sus funciones y regulación en contextos de estrés (Chen y Liu, 2019).

Distribución de genes *malus*WRKY

La distribución de los genes *malus*WRKY en los cromosomas revela patrones interesantes que sugieren conservación funcional y divergencia evolutiva entre especies. La presencia de 9 genes en los cromosomas Chr01, Chr07 y Chr09 en *Malus domestica*, *Malus sieversii* y *Malus sylvestris* indica que estos loci pueden estar bajo una presión selectiva similar, sugiriendo un papel crucial en la regulación de funciones biológicas fundamentales, como la respuesta al estrés y el desarrollo (Evans y Campbell, 2002).

El cromosoma Chr15, con 12, 12 y 11 genes, también destaca como un posible "punto caliente" para la diversidad de genes WRKY, sugiriendo que puede ser un sitio clave para la regulación de respuestas a estrés en estas especies. Este hallazgo es consistente con investigaciones que indican que la duplicación de genes en cromosomas específicos puede contribuir significativamente a la expansión y funcionalidad de las familias de genes (Zhou et al., 2016).

Sin embargo, la variabilidad observada en cromosomas como Chr02 y Chr10, que muestran diferentes números de genes, sugiere divergencias evolutivas que podrían reflejar adaptaciones específicas a condiciones ambientales o estrategias de supervivencia en diferentes especies. Esto es especialmente relevante dado que los eventos de duplicación de genes, tanto en tándem como segmentales, han sido cruciales en la evolución de estas familias de genes, permitiendo una mayor diversidad funcional (Xiang et al., 2017).

Además, la identificación de genes en scaffolds que aún no han sido completamente mapeados sugiere que existen áreas del genoma que podrían contener genes WRKY no caracterizados. Esto apunta a una oportunidad para futuras investigaciones que busquen completar el mapa genético de estas especies y explorar la función de genes potenciales en respuesta a estresores ambientales.

Duplicación de genes *malusWRKY*

Los resultados sobre la duplicación de genes *WRKY* en *Malus domestica*, *Malus sieversii* y *Malus sylvestris* destacan la importancia de los eventos de duplicación en la expansión de esta familia de genes. La significativa cantidad de genes duplicados en *M. domestica* (212) en comparación con *M. sieversii* (138) y *M. sylvestris* (137) sugiere una dinámica evolutiva activa, donde la duplicación de genes dispersos y en tándem ha permitido a *M. domestica* diversificarse funcionalmente. Este patrón de duplicación es coherente con lo observado en otras especies, como en el caso de la fresa y el arroz, donde la duplicación en tándem también ha impulsado la evolución de los genes *WRKY* (Zhou et al., 2016).

Además, las diferencias en el número de duplicaciones indican que las estrategias evolutivas pueden variar entre las especies, lo que resalta la importancia de los eventos de duplicación del genoma completo (WGD) en *M. domestica* y *M. sieversii*. Estas duplicaciones no solo permiten una expansión en el número de genes, sino que también ofrecen oportunidades para la adquisición de nuevas funciones, contribuyendo así a la adaptabilidad de las especies a diferentes condiciones ambientales (Baillio et al., 2020).

Expresión diferencial de genes *malusWRKY*

La expresión de los genes *WRKY* en respuesta a bajas temperaturas en *Malus domestica*, *Malus sieversii* y *Malus sylvestris* muestra patrones complejos que reflejan la adaptabilidad de estas especies al estrés frío. En *M. domestica* cv. Gala, los genes *MdgWRKY11* y *MdgWRKY13* presentan picos de expresión inicial y a los tres días, lo que sugiere que son esenciales en la respuesta temprana al frío. Por otro lado, *MdgWRKY67* y *MdgWRKY71* experimentan una disminución en su expresión tras los tres días, lo que podría indicar una regulación negativa después de la fase inicial de respuesta. Esta dinámica sugiere que ciertos genes se activan rápidamente para contrarrestar el estrés y luego son regulados a la baja para evitar respuestas excesivas que puedan resultar perjudiciales.

En *M. sieversii*, genes como *MsiWRKY13* y *MsiWRKY11* alcanzan picos de expresión a las 10 horas, destacando la importancia de una respuesta rápida al frío. Otros, como *MsiWRKY16* y *MsiWRKY29*, mantienen niveles altos de expresión, lo que sugiere un papel sostenido en la adaptación. En *M. sylvestris*, la reducción drástica en la expresión de genes como *MsyWRKY82* y *MsyWRKY83* tras un pico inicial indica una activación temporal, mientras que otros genes mantienen niveles moderados, sugiriendo una relevancia continua. Estos patrones reflejan la complejidad de la regulación de la respuesta al frío y resaltan el papel crucial de los factores de transcripción *WRKY* en la adaptación y en procesos como la biosíntesis de antocianinas, que pueden ofrecer protección adicional frente al daño por frío (Liu et al. 2019; Felipez et al. 2022).

La identificación y análisis de los genes *malusWRKY* en las especies de *Malus domestica*, *Malus sieversii* y *Malus sylvestris* subrayan la importancia de estos factores de transcripción en la regulación de respuestas a estreses bióticos y abióticos. La identificación de 345 genes *pomWRKY*, de los cuales 115 son específicos de *malusWRKY*, indica una diversidad que supera a otras especies dentro de la familia Rosaceae, sugiriendo que estos genes podrían

desempeñar un papel crucial en la adaptación y tolerancia a diferentes condiciones ambientales. La clasificación de estos genes revela que los grupos I y III son los más representativos, lo que apunta a su papel central en la respuesta al estrés y en procesos de desarrollo, mientras que la variabilidad en otros grupos refleja funciones más especializadas, lo que abre oportunidades para investigar su potencial aún no descubierto.

La distribución de los genes *malusWRKY* en los cromosomas y los patrones de duplicación observados en estas especies resaltan la dinámica evolutiva activa en la que se encuentran. La predominancia de duplicaciones en *M. domestica* sugiere una capacidad ampliada para diversificarse funcionalmente, mientras que la respuesta diferencial de estos genes a condiciones de estrés frío demuestra su relevancia en la adaptación. Por tanto, estos hallazgos no solo amplían el conocimiento sobre la biología de *Malus* spp., sino que también sugieren un potencial agrícola y económico significativo, enfatizando la necesidad de más investigaciones para desentrañar las funciones específicas de estos genes en la regulación del estrés y su aplicación en la mejora de cultivos.

Referencias

- Arumuganathan, K., & Earle, E. D. (1991). Nuclear DNA Content of Some Important Plant Species. *Genetic Resources*, 9(3), 208–218. <https://doi.org/10.1007/BF02672069>
- Baillo, E. H., Hanif, M. S., Guo, Y., Zhang, Z., Xu, P., & Algam, S. A. (2020). Genome-wide identification of WRKY transcription factor family members in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) moench). *PLoS ONE*, 15(8), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236651> y
- Bouckaert, R., Vaughan, T. G., Barido-Sottani, J., Duchêne, S., Fourment, M., Gavryushkina, A., Heled, J., Jones, G., Kühnert, D., De Maio, N., Matschiner, M., Mendes, F. K., Müller, N. F., Ogilvie, H. A., Du Plessis, L., Poppinga, A., Rambaut, A., Rasmussen, D., Siveroni, I., Drummond, A. J. (2019). BEAST 2.5: An advanced software platform for Bayesian evolutionary analysis. *PLoS Computational Biology*, 15(4), 1–28. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006650>
- Castresana, J. (2000). Selection of conserved blocks from multiple alignments for their use in phylogenetic analysis. *Molecular Biology and Evolution*, 17(4), 540–552. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a026334>
- Chen, C., Chen, H., Zhang, Y., Thomas, H. R., Frank, M. H., He, Y., & Xia, R. (2020). TBtools: An Integrative Toolkit Developed for Interactive Analyses of Big Biological

- Data. *Molecular Plant*, 13(8), 1194–1202. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.06.009>
- Chen, P., & Liu, Q. zhi. (2019). Genome-wide characterization of the WRKY gene family in cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) and the importance of several group III members in continuous cropping. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44479-7>
- Cheng, Z., Luan, Y., Meng, J., Sun, J., Tao, J., & Zhao, D. (2021). WRKY Transcription Factor Response to High-Temperature Stress. *Plants*, 1–13.
- Cong, L., Qu, Y., Sha, G., Zhang, S., Ma, Y., Chen, M., Zhai, R., Yang, C., Xu, L., & Wang, Z. (2021). PbWRKY75 promotes anthocyanin synthesis by activating PbDFR, PbUFGT, and PbMYB10b in pear. *Physiologia Plantarum*, 0–2. <https://doi.org/10.1111/ppl.13525>
- Dong, S., Ying, Z., Yu, S., Wang, Q., Liao, G., Ge, Y., & Cheng, R. (2021). Complete chloroplast genome of *Stephania tetrandra* (Menispermaceae) from Zhejiang Province: insights into molecular structures, comparative genome analysis, mutational hotspots and phylogenetic relationships. *BMC Genomics*, 22(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s12864021-08193-x>
- Eulgem, T., Rushton, P. J., Robatzek, S., & Somssich, I. E. (2000). The WRKY superfamily of plant transcription factors. *Trends in Plant Science*, 5(5), 199–206. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01600-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01600-9)
- Evans, R. C., & Campbell, C. S. (2002). The origin of the apple subfamily (Maloideae; Rosaceae) is clarified by DNA sequence data from duplicated GBSSI genes. *American Journal of Botany*, 89(9), 1478–1484. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.9.1478>
- Felipez, W., de Freitas, K. E. J., dos Santos, R. S., Yamamoto, R. R., & Costa de Oliveira, A. (2022). The roles of WRKY transcription factors in *Malus* spp. and *Pyrus* spp. *Functional and Integrative Genomics*, 22(5), 713–729. <https://doi.org/10.1007/s10142-022-00886-0>
- Gardiner, S. E., Norelli, J. L., Silva, N. de, Fazio, G., Peil, A., Malnoy, M., Horner, M., Bowatte, D., Carlisle, C., Wiedow, C., Wan, Y., Bassett, C. L., Baldo, A. M., Celton, J.-

- M. M., Richter, K., Aldwinckle, H. S., & Bus, V. G. M. G. (2012). Putative resistance gene markers associated with quantitative trait loci for fire blight resistance in *Malus* “Robusta 5” accessions. *BMC Genetics*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-25>
- Garrido-Gala, J., Higuera, J.-J., Rodríguez-Franco, A., Muñoz-Blanco, J., Amil-Ruiz, F., & Caballero, J. L. (2022). A Comprehensive Study of the WRKY Transcription Factor Family in Strawberry. *Plants*, 11(12), 1585. <https://doi.org/10.3390/plants11121585>
- Han, D., Ding, H., Chai, L., Liu, W., Zhang, Z., Hou, Y., & Yang, G. (2018). Isolation and characterization of MbWRKY1, a WRKY transcription factor gene from *Malus baccata* (L.) borkh involved in drought tolerance. *Journal of Plant Science*, 98(5), 1–23. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0355>
- Huang, X., Li, K., Xu, X., Yao, Z., Jin, C., & Zhang, S. (2015). Genome-wide analysis of WRKY transcription factors in white pear (*Pyrus bretschneideri*) reveals evolution and patterns under drought stress. *BMC Genomics*, 16(1104), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2233-6>
- Ishiguro, S., & Nakamura, K. (1994). Characterization of a cDNA encoding a novel DNA-binding protein, SPF1, that recognizes SP8 sequences in the 5' upstream regions of genes coding for sporamin and β -amylase from sweet potato. *MGG Molecular y General Genetics*, 244(6), 563–571. <https://doi.org/10.1007/BF00282746>
- Jiang, J., Ma, S., Ye, N., Jiang, M., Cao, J., & Zhang, J. (2017). WRKY transcription factors in plant responses to stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 59(2), 86–101. <https://doi.org/10.1111/jipb.12513>
- Jiang, L., Chen, Y., Bi, D., Cao, Y., & Tong, J. (2021). Deciphering Evolutionary Dynamics of WRKY I Genes in Rosaceae Species. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9(December), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.801490>
- Jones, D. T., Taylor, W. R., & Thornton, J. M. (1992). The rapid generation of mutation data matrices from protein sequences. *Bioinformatics*, 8(3), 275–282.

<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/8.3.275>

Larkin, M. A., Blackshields, G., Brown, N. P., Chenna, R., Mcgettigan, P. A.,

McWilliam, H., Valentin, F., Wallace, I. M., Wilm, A., Lopez, R., Thompson, J. D.,

Gibson, T. J., & Higgins, D. G. (2007). Clustal W and Clustal X version 2.0.

Bioinformatics, 23(21), 2947–2948. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm404>

Lemoine, F., Correia, D., Lefort, V., Doppelt-Azeroual, O., Mareuil, F., Cohen-

Boulakia, S., & Gascuel, O. (2019). NGPhylogeny.fr: New generation phylogenetic services for nonspecialists. *Nucleic Acids Research*, 47(W1), W260–W265.

<https://doi.org/10.1093/nar/gkz303>

Liao, Y., Smyth, G. K., & Shi, W. (2014). FeatureCounts: An efficient general purpose program for assigning sequence reads to genomic features. *Bioinformatics*, 30(7), 923–930. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btt656>

Liu, B., Hu, J., & Zhang, J. (2019). Evolutionary divergence of duplicated Hsf genes in *Populus*. *Cells*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/cells8050438>

Morillo-Coronado, A. N. A. C., & Morillo-Coronado, Y. (2016). Interspecific analysis of genetic diversity in *Pyrus* spp. and *Malus* spp. *Biotechnología En El Sector*

Agropecuário y Agroindustrial, 14(1), 69–77. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)69-77](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)69-77)

Pandey, S. P. & Somssich, I. E. (2009). The role of WRKY transcription factors in plant immunity. *Plant Physiology*, 150(4), 1648–1655. <https://doi.org/10.1104/pp.109.138990>

Pertea, M., Kim, D., Pertea, G. M., Leek, J. T., & Salzberg, S. L. (2016). Transcript-level expression analysis of RNA-seq experiments with HISAT, StringTie and

Ballgown. *Nature Protocols*, 11(9), 1650–1667. <https://doi.org/10.1038/nprot.2016.095>

Qiao, X., Li, Q., Yin, H., Qi, K., Li, L., Wang, R., Zhang, S., & Paterson, A. H. (2019).

Gene duplication and evolution in recurring polyploidization-diploidization cycles in plants. *Genome Biology*, 20(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s13059-019-1650-2>

Rinerson, C. I., Rabara, R. C., Tripathi, P., Shen, Q. J., & Rushton, P. J. (2015). The evolution of WRKY transcription factors. *BMC Plant Biology*, 15(66), 1–18.

<https://doi.org/10.1186/s12870-015-0456-y>

- Rohrer, J. R., Robertson, K. R., & Phipps, J. B. (1991). Variation in Structure Among Fruits of Maloideae (Rosaceae). *American Journal of Botany*, 78(12), 1617–1635.
<https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1991.tb14528.x>
- Ross, C. A., Liu, Y., & Shen, Q. J. (2007). The WRKY Gene Family in Rice (*Oryza sativa*). *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(6), 827–842.
<https://doi.org/10.1111/j.16729072.2007.00504.x>
- Rushton, P. J., Somssich, I. E., Ringler, P., & Shen, Q. J. (2010). WRKY transcription factors. *Trends in Plant Science*, 15(5), 247–258.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.02.006>
- Schmutz, J., Cannon, S. B., Schlueter, J., Ma, J., Mitros, T., Nelson, W., Hyten, D. L., Song, Q., Thelen, J. J., Cheng, J., Xu, D., Hellsten, U., May, G. D., Yu, Y., Sakurai, T., Umezawa, T., Bhattacharyya, M. K., Sandhu, D., Valliyodan, B., Jackson, S. A. (2010). Genome sequence of the palaeopolyploid soybean. *Nature*, 463(7278), 178–183.
<https://doi.org/10.1038/nature08670>
- Sun, X., Jiao, C., Schwaninger, H., Chao, C. T., Ma, Y., Duan, N., Khan, A., Ban, S., Xu, K., Cheng, L., Zhong, G. Y., & Fei, Z. (2020). Phased diploid genome assemblies and pangenomes provide insights into the genetic history of apple domestication. *Nature Genetics*, 52(12), 1423–1432. <https://doi.org/10.1038/s41588-020-00723-9>
- Sun, Y., Xie, S., & Zhao, S. (2019). Valuing urban green spaces in mitigating climate change: A city-wide estimate of aboveground carbon stored in urban green spaces of China's Capital. *Global Change Biology*, 25(5), 1717–1732.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14566>
- Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022–3027.
<https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Tatum, T. C., Stepanovic, S., Biradar, D. P., Rayburn, A. L., & Korban, S. S. (2005). Variation in Nuclear DNA content in *Malus* species and Cultivated apples. *Genome*, 48(5), 924–930. <https://doi.org/10.1139/G05-033>

- Wani, S. H., Anand, S., Singh, B., Bohra, A., & Joshi, R. (2021). WRKY transcription factors and plant defense responses: latest discoveries and future prospects. *Plant Cell Reports*, 0123456789, 15. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02691-8>
- Xiang, Y., Huang, C. H., Hu, Y., Wen, J., Li, S., Yi, T., Chen, H., Xiang, J., & Ma, H. (2017). Evolution of rosaceae fruit types based on nuclear phylogeny in the context of geological times and genome duplication. *Molecular Biology and Evolution*, 34(2), 262–281. <https://doi.org/10.1093/molbev/msw242>
- Yanbing, G., Zhirui, J., Fumei, C., Zhuang, Q., Chengnan, X., Junxiang, Z., Zongshan, Z., & Qinglong, D. (2016). Genome-wide identification and expression analysis of the WRKY gene family in peach. *Yi Chuan = Hereditas*, 38(3), 254–270. <https://doi.org/10.16288/j.ycz.15-235>
- Yang, T., Li, K., Hao, S., Zhang, J., Song, T., Tian, J., & Yao, Y. (2018). The Use of RNA Sequencing and Correlation Network Analysis to Study Potential Regulators of Crabapple Leaf Color Transformation. *Plant and Cell Physiology*, 59(5), 1027–1042. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy044>
- Zhao, Y., Hou, Y., Xu, Y., Luan, Y., Zhou, H., Qi, X., Hu, M., Wang, D., Wang, Z., Fu, Y., Li, J., Zhang, S., Chen, J., Han, J., Li, X., & Zhao, S. (2021). A compendium and comparative epigenomics analysis of cis-regulatory elements in the pig genome. *Nature Communications*, 12(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22448-x>
- Zhou, H., Yin, H., Chen, J., Liu, X., Gao, Y., Wu, J., & Zhang, S. (2016). Gene-expression profile of developing pollen tube of *Pyrus bretschneideri*. *Gene Expression Patterns*, 20(1), 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.gep.2015>.

Tecnologías hidráulicas milenarias que mitigan desastres abióticos y la inseguridad alimentaria

Einstein Tejada Vélez¹²

Cindy Verónica Menacho Molina¹³

Resumen

En tierras amazónicas del Beni Bolivia, las inundaciones estacionales son desastres abióticos recurrentes durante décadas, allí convergen ríos importantes que, en periodos lluviosos llegan arrastrando excesos de agua desde el occidente alto andino altiplánico y valluno. Se construyeron 11 lomas de refugio, replicando tecnologías hidráulicas ancestrales de la cultura milenaria del gran Moxos. Cada loma (6,000-8,000 m²) puede albergar alrededor de 600 bovinos, beneficiando a 2,400 familias indígenas afectadas por inundaciones y sequías anuales en 11 comunidades de cuatro municipios (San Ignacio de Moxos, Loreto, San Javier y San Andrés). Se estudiaron variables que inciden sobre las condiciones de almacenamiento de agua en los canales circundantes de cada loma (evapotranspiración potencial y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), utilizando piscinas simuladoras. Experimentos micro meteorológicos reportaron pérdidas mayores a 6,000 m³ del agua acumulada durante el periodo de lluvias, por evaporación en los canales durante la época seca caliente. Para contrarrestar la evaporación, se plantó tarope acuático o loto de agua (*Eichhornia crassipes*), para comparar su eficiencia contra la evaporación de una loma sin protección del tarope. Cálculos de evapotranspiración con métodos de balance empírico y modelos matemáticos representativos, demuestran que la evaporación sin tarope resulta mayor, siendo factible su siembra para disminuir la pérdida de agua. Su demanda química de oxígeno, capacidad para absorber y almacenar nutrientes del agua en hojas y raíces también lo constituye como agente depurador efectivo del agua. Esta recomendable estrategia fortalece la resiliencia familiar, medios de vida y seguridad alimentaria, mitigando la catástrofe abiótica.

Palabras clave: Tecnologías hidráulicas, ancestrales, evapotranspiración seguridad alimentaria, *Eichhornia crassipes*.

¹² Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. Escuela boliviana de Posgrado, KVL University Copenhagen, Denmark. New Mexico State University (NMSU), USA. UMSS Cochabamba, Bolivia. Correo de contacto: einstein.tejada@aciencias.org.bo einsteintejada@yahoo.com

¹³ Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Facultad de Ingeniería. Diplomado en Educación Superior (CEPIES UMSA). Correo de contacto: cindymenachomolina@gmail.com

Abstract

Ancient hydraulic technologies mitigate abiotic disasters and food insecurity

In the Amazonian lands of Beni, Bolivia, seasonal floods have been recurring abiotic disasters for decades. Important rivers converge there, which, during rainy periods, carry excess water from the high Andean, Altiplano, and valley regions to the west. Eleven refuge mounds were constructed, replicating ancestral hydraulic technologies of the ancient culture of Gran Moxos. Each mound (6,000-8,000 m²) can house around 600 head of cattle, benefiting 2,400 indigenous families affected by annual floods and droughts in 11 communities across four municipalities (San Ignacio of Moxos, Loreto, San Javier, and San Andrés). Variables affecting water storage conditions in the surrounding channels of each mound were studied (potential evapotranspiration and biochemical oxygen demand (BOD), using simulated pools. Micro-meteorological experiments reported losses greater than 6,000 m³ of accumulated water during the rainy season, due to evaporation in the channels during the hot dry season. To counteract evaporation, aquatic tarope or water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) was planted to compare its efficiency against the evaporation of a mound without tarope protection. Evapotranspiration calculations using empirical balance methods and representative mathematical models demonstrate that evaporation without tarope is greater, making its planting feasible to reduce water loss. Its chemical oxygen demand and capacity to absorb and store water nutrients in leaves and roots also make it an effective water purifying agent. This recommended strategy strengthens family resilience, livelihoods, and food security, mitigating the abiotic catastrophe.

Keywords: Hydraulic technologies, ancestral, evapotranspiration, food security, *Eichhornia crassipes*.

Introducción

Múltiples y variados efectos abióticos adversos son altamente recurrentes en Bolivia durante varias décadas seguidas. Entre ellos, una catástrofe que golpea anualmente en este país son las inundaciones estacionales durante los meses de verano y parte de otoño (octubre – marzo) en el departamento de Beni, cuya superficie es de 213,564 km² que lo convierte en el segundo departamento más extenso del país, representando aproximadamente 19.44 % de la superficie nacional (MDSMA, 1995).

La característica topográfica especial es que la gran mayor parte de ese territorio registra una pendiente poco mayor al 1 %, pero varía significativamente dependiendo de la región específica y la presencia de diferentes tipos de relieve, que incluyen colinas y valles aluviales dentro del mismo departamento; sin embargo, se considera que el promedio de la pendiente topográfica varía significativamente dependiendo de la región específica; según algunos estudios, la pendiente media en algunas áreas del Alto Beni es entre 2.7% y 12.36% (Quispe y Maldonado, 2020).

En general, el departamento del Beni presenta un relieve que va de suave a moderadamente ondulado, con grandes planicies y zonas boscosas, donde convergen algunos de los ríos más importantes, no solo del área tropical amazónica, sino también de las altitudes occidentales del país; aguas que, al ser difíciles de fluir en territorio beniano, a causa de la poca pendiente, tienden a estancarse por periodos incluso mayores a 90–120 días (VIDECI, 2008), en sus enormes áreas boscosas y especialmente en extensos pastizales.

No obstante, uno de los problemas más severos que afecta al Beni es la sequía que se presenta después del periodo de la inundación, la capacidad de rehabilitación de algunas plantas, sobre todo del componente herbáceo que sirve de forraje es muy lenta (Menacho, 2015), y su lámina foliar permanece cubierta con pegajosa arcilla por muchas semanas, dificultando la palatabilidad de los animales en pastoreo (Tejada et al., 2016). Normalmente, las sequías llegan como producto de las altas temperaturas, se suscitan olas de calor causando deshidratación de los animales, evapotranspiración muy alta del suelo y del componente botánico. Según la percepción de los ganaderos y agricultores, el periodo de sequía es peor que el de inundación.

Durante el periodo crítico, que conlleva alto riesgo de pérdida de animales por efecto de la inundación, el nivel del agua en la región alcanza 0.8 a 1.6 metros de altura sobre el suelo, y en el periodo de época seca, dentro del canal existe una pérdida considerable de aproximadamente un metro del agua acumulada, el resto es utilizada para abastecer el consumo del ganado y posterior riego de la loma durante esa época seca.

Según Solíz y Mercado (2022), en 2011, el departamento de Beni representó el 43% de la concentración ganadera, seguido por Santa Cruz con el 28%; mientras que en 2022, Bolivia alcanzó un total de 10,739,448 cabezas de ganado bovino, con el 75% concentrado en Santa Cruz y Beni (Vargas, 2024). Este mismo autor indica que durante el 2020 el Beni tenía el segundo hato ganadero más grande a nivel nacional, con más de 3 millones de cabezas, y que la producción de carne de ganado bovino reportó 276,448 toneladas a nivel nacional.

Las pérdidas de animales muertos por efecto de inundaciones en algunos años, durante la última década, han superado las 80,000 cabezas de bovinos y ganado equino anualmente. Eso además de dejar ganado sobreviviente en total estado de inanición y debilidad que repercuten en bajas tasas de fertilidad y altas tasas de aborto y mortalidad neonatal. Entre las descomunales pérdidas registradas en el sector agrícola, Velarde et al. (2010) reportan que las inundaciones en el Municipio de Loreto, por ejemplo, afectan al 95 % de las comunidades y el 88 % de las familias que habitan en el municipio. El desborde de los ríos de la Sub cuenca Mamoré, suele causar daños directos e indirectos en la producción de arroz y de maíz con pérdidas que alcanzan el 70 y 60 %, respectivamente.

En consecuencia, y como respuesta resiliente a este tipo de emergencia, la construcción de montículos de refugio para ganado (incluso de familias completas que se suben con su ganado sobre las lomas) en Beni se ha llevado a cabo mediante un enfoque metodológico que incluye varias actividades clave. Este enfoque integral no solo busca mitigar los riesgos asociados

con las condiciones climáticas adversas, sino también fortalecer la resiliencia económica y social de las comunidades ganaderas en Beni (Yana y Tejada, 2015).

Construcción de lomas artificiales

La construcción de lomas artificiales o montículos de refugio para ganado, ha seguido una serie de pasos secuenciales que incluyen: i) diseño y acumulación de tierra del mismo canal perimetral para formar el montículo, limpiando y desbrozando el área; ii) diseño de los canales y crestas que faciliten la evacuación del agua de la superficie durante las inundaciones, ayudando a proteger al ganado; iii) diseño de un plan de mantenimiento con las comunidades para asegurar la durabilidad y funcionalidad de los montículos a lo largo del tiempo; el plan considera el desarrollo de talleres de capacitación para todas las comunidades beneficiarias, sobre la gestión de la producción y el mantenimiento de los refugios; iv) construcción de heniles, bretes de manejo ganadero y bancos de forraje para conservar heno suficiente para tres meses de presencia de los animales mientras las praderas permanecen inundadas (Tejada, 2011).

Los aproximados 13,500 m³ de agua acumulada en los canales periféricos de la loma durante las lluvias tienen de 4 a 6 m de ancho, dependiendo las características de las diferentes lomas ganaderas. Esos volúmenes de agua se reservan y utilizan para regar cultivos agrícolas cercanos a la loma y el nuevo forraje que es sembrado sobre la superficie de la loma ya fertilizada naturalmente con el estiércol que depositaron los animales en aproximadamente 60 a 100 días de permanencia. Durante el periodo de época seca, existe una pérdida considerable de aproximadamente 1 metro de agua en el canal.

Los montículos de refugio para ganado, actualmente se utilizan para proteger el ganado y salvaguardar los productos agrícolas en épocas de inundaciones y sequías. Esas lomas de refugio ganadero se utilizan en 11 comunidades altamente vulnerables del Beni.

Las lomas artificiales presentan una estructura como la expuesta en la Figura 1, consta de un área de resguardo ganadero durante la inundación donde se ubica un brete y henil, pero también un área para producción de forraje en invierno, en el contorno de la loma se acumula agua para riego y consumo animal, y en la parte baja el área de producción de forraje resistente a la inundación (Tejada, 2011).

Figura 1. Vista aérea de la estructura de la Loma Artificial (aprox. 8,000 m² de superficie)



Fotografía: Einstein Tejada

La justificación para replicar este tipo de monumentales estructuras se basa en múltiples estudios de culturas hidráulicas ancestrales milenarias que han tenido éxito inobjetable en diferentes episodios históricos de antiguas civilizaciones (Denevan, 1980; Erickson, 1992) entre ellas, las ampliamente descritas pertenecientes a la cultura hidráulica de la Amazonia boliviana de los Moxos que conservan la ecología cultural de aquellos tiempos (Saávedra, 2009). El desarrollo de la agricultura en campos elevados en Moxos, denominada “temprana” por Michel (1992); explica los procesos de intensificación, relacionados con el grado de avance de los pueblos que las practicaron; también Erickson (1993) aporta con un análisis arqueológico sobre la agricultura en camellones en el Beni, que hasta hoy son centro de atención de científicos de todo el mundo, principalmente en Bolivia.

Saávedra, (2013) resalta que la variabilidad de sistemas agrícolas tuvo su punto más alto en el desarrollo e implementación de campos agrícolas elevados o camellones, tanto en las tierras andinas, como en la Amazonia, fruto de la superación de barreras específicas de cada zona y clima. También se han probado experimentalmente numerosas especies agrícolas cultivadas sobre camellones en el Beni, resultando la mayoría de ellas exitosas (Arce, 2021).

Algunas corrientes argumentan que las poblaciones amazónicas lograron niveles de densidad elevados modificando las condiciones ambientales a sus necesidades, en un área extensa, realizando obras de tierra a gran escala expresadas en las lomas artificiales, campos agrícolas elevados, o camellones, canales y diques (Erickson, 1993; Lee, 1995; Saavedra y Lee, 1998; Denevan, 2003; Saávedra, 2009; Lombardo et al., 2011). Esta misma filosofía, pero

desarrollada con una mirada de Gestión Integral del Riesgo, hacia la principal actividad ganadera del Beni ha sido plasmada sobre la observación aérea de las plataformas camineras próximas a los sectores más elevados de los puentes, atestadas de ganado refugiándose durante la inundación, para no permanecer dentro del agua que cubre las grandes praderas (Tejada et al., 2017).

En el caso de los Altos Andes, desde hace más de dos mil años, los agricultores del Altiplano generaron diversas tecnologías para adaptarse al clima agreste de esa región. En ese entonces las inundaciones, heladas y sequías eran eventos recurrentes que afectaban significativamente a los cultivos. En la zona circunlacustre del lago Titicaca se desarrolló la tecnología de los Suka Kollus, probablemente para hacer frente a las inundaciones, drenar del exceso de agua y paralelamente para elevar la temperatura del ambiente como medio de defensa contra las heladas, convirtiendo el ecosistema menos vulnerable. Algunos investigadores indican que existe alrededor de 100,000 ha de restos de Suka Kollus en la cuenca del lago Titicaca (Ángelo et al.; 2008).

En el caso del Beni, al cabo de dos años de haberse construido las lomas, se comprobó que la gran cantidad de agua acumulada en el canal circundante a la plataforma de la loma, permanecía acumulada como reservorio hídrico de alta utilidad para la época seca después de terminar la temporada de lluvias; sin embargo, las altas temperaturas en ese lapso de meses calurosos ocasionaban considerables descensos del nivel del agua dentro el canal por efectos de evaporación.

Para mitigar la principal causa de pérdidas, y como objetivo general de esta investigación, se analizaron las variables que intervienen en la eficiencia funcional de las lomas ganaderas artificiales en el oriente boliviano, implementando una práctica integral complementaria a fin de optimizar la eficiencia y aprovechamiento del agua durante la época seca, a través de la cuantificación de la pérdida de agua contenida en los canales perimetrales de la loma en la época de sequía. También se compararon los niveles de evaporación que produce un volumen de agua determinado en un ambiente natural, cubierto con una especie sem-acuática (*Eichhornia crassipes*; “tarope”) protectora de los rayos solares frente a otro volumen líquido expuesto directamente al sol sin protección de cobertura vegetal; adicionalmente, y en base a las bondades de esta especie (Jiménez, 2000), también se logró verificar su nivel de influencia en la calidad del agua.

Metodología

Análisis de variables y recolección de datos

Las lomas ganaderas construidas artificialmente tienen características y dimensiones en las que se creó naturalmente un micro-clima localizado perimetralmente que sirvió como parámetro general para el control atmosférico que afecta al estudio de la evaporación del agua. Los datos micro-meteorológicos fueron registrados en las proximidades del mismo canal circundante de la loma artificial, buscando las condiciones y características térmicas del suelo y del agua del canal. En ese sitio se estableció una estación meteorológica de referencia (TMR), de la que se obtuvieron un conjunto de parámetros meteorológicos, que

provén información diaria del área de estudio para los cálculos subsiguientes de la pérdida de agua y la purificación del agua, habiéndose instalado alrededor de la loma para tal efecto, piscinas simuladoras en las que se realizaron mediciones y acopio diario de datos para efectuar todos los cálculos.

Todos los procedimientos y mediciones fueron revisados, monitoreados y ejecutados con la supervisión técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés, carrera de Ingeniería Ambiental.

Protocolo de investigación

El estudio se realizó con la instalación simulada de seis piscinas llenas con agua del mismo canal de la loma ganadera (Figura 2); las características y dimensiones de todas las piscinas fueron las mismas (Cuadro 1), pero tres contenían plantas de tarope (mismo número inicial de plantas en cada una), y las otras tres sin la cobertura superficial de esta especie. Esto con el fin de analizar la manera en que *Echhornia Crasipies* influye en el comportamiento del agua, tanto en términos de evaporación, evapotranspiración, calidad de agua y posterior factibilidad de re-utilización como alimento para las cabezas de ganado de la región.

Las variables micro meteorológicas de referencia (TMR), fueron las siguientes:

Temperatura de la superficie del suelo - Temperatura del ambiente.

Humedad relativa registrada a la altura de 6 m del suelo.

Evaporación.

Nivel de descenso.

Radiación Solar

Cuadro 1. Características de las piscinas

Característica	Dimensiones			
Diámetro	1.47	m	1,470	mm
Altura	0.33	m	330	mm
Volumen de agua que ingresa	559.78	l	559,781,145	mm ³
Volumen de agua instalado	280	l	2.8E+14	mm ³

Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Piscinas experimentales empleadas en el estudio



Fotografía: Cindy Menacho

La pérdida de calor ocurrida en la superficie de control, es el conjunto de las pérdidas de calor ocasionadas por efectos de conducción, convección, radiación y evapotranspiración, y su fórmula es:

$$Q = R_n + H_s + G_1 + G_2 + E_t$$

Donde:

Q = Pérdida de calor

R_n= Radiación solar

H_s= Convección natural

G₁= Conducción hacia el suelo

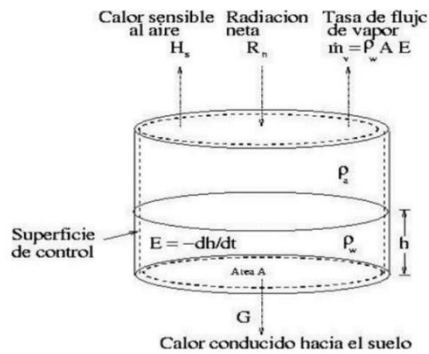
G₂= Conducción hacia las paredes

E_t= Evapotranspiración

El calor es la energía que pasa de un cuerpo o sistema a otro. La transferencia de calor solo se produce cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cosas. En la conducción, la transferencia de calor ocurre cuando un cuerpo u objeto está en contacto con otro (Yunus y Cengel, 2007). La convección es un proceso de transferencia de calor que ocurre a través del movimiento de fluidos, como líquidos o gases, desde áreas más cálidas a áreas más frías. Este proceso implica que el calor se mueva a través de la transferencia de masa o la circulación dentro de una sustancia (Barrera, et al., 2021), como se observa en la Figura 3 de superficie de control.

Por su parte, la radiación es una transferencia de calor sin que los cuerpos estén en contacto. Por eso, esta se da mediante la emanación de energía a través de ondas electromagnéticas.

Figura 3. Superficie de control



Considerando la implantación de *Eichhornia crassipes* y su incidencia sobre la diferencia de pérdida de volumen de agua en la superficie de control, el método de cálculo empleado para la determinación del volumen de control de este estudio enfoca principalmente la pérdida de calor ocurrida por la evapotranspiración, para determinar la diferencia de pérdida de volumen de agua en los simuladores de las lomas que contienen el tarope, frente a los simuladores que no contienen ninguna cobertura vegetal.

Cálculo de la Evapotranspiración Potencial

A partir de mediciones diarias en terreno, durante 60 días, durante la época seca y mayormente caliente (septiembre y octubre), antes de que se inicie la temporada lluviosa, se procedió a calcular la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves (Moreno et al., 2019); que para evaluar requiere solamente datos de temperaturas y de la radiación solar (Hargreaves y Samani, 1985).

La expresión es:

$$ET_0 = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

Donde:

ET₀= evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med}= temperatura media, °C

R_s= radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente (R_s), se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (R_0) (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que es la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera). Para obtener la Radiación Solar Incidente (R_s), Hargreaves y Samani, (1985) proponen la siguiente fórmula:

$$R_s = R_0 * KT * (t_{\max} - t_{\min})^{0.5}$$

Donde:

R_s = Radiación solar incidente

R_0 = Radiación solar extraterrestre (tabulada)

KT = coeficiente

$t_{\max}$ = temperatura diaria máxima

$t_{\min}$ = temperatura diaria mínima

Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (R_0) existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y el mes. Según esa tabla (Anexo 1) de Radiación solar extraterrestre (R_0) de Allen et al., (1998), que se expresa en MJ/m²día, para pasar a mm/día (de agua evaporada), se debe multiplicar por 0.408 (para mayor exactitud, multiplicar por: $238.85 / (597.3 - 0.57T)$); donde T=es la temperatura media del periodo elegido (Sep/Oct).

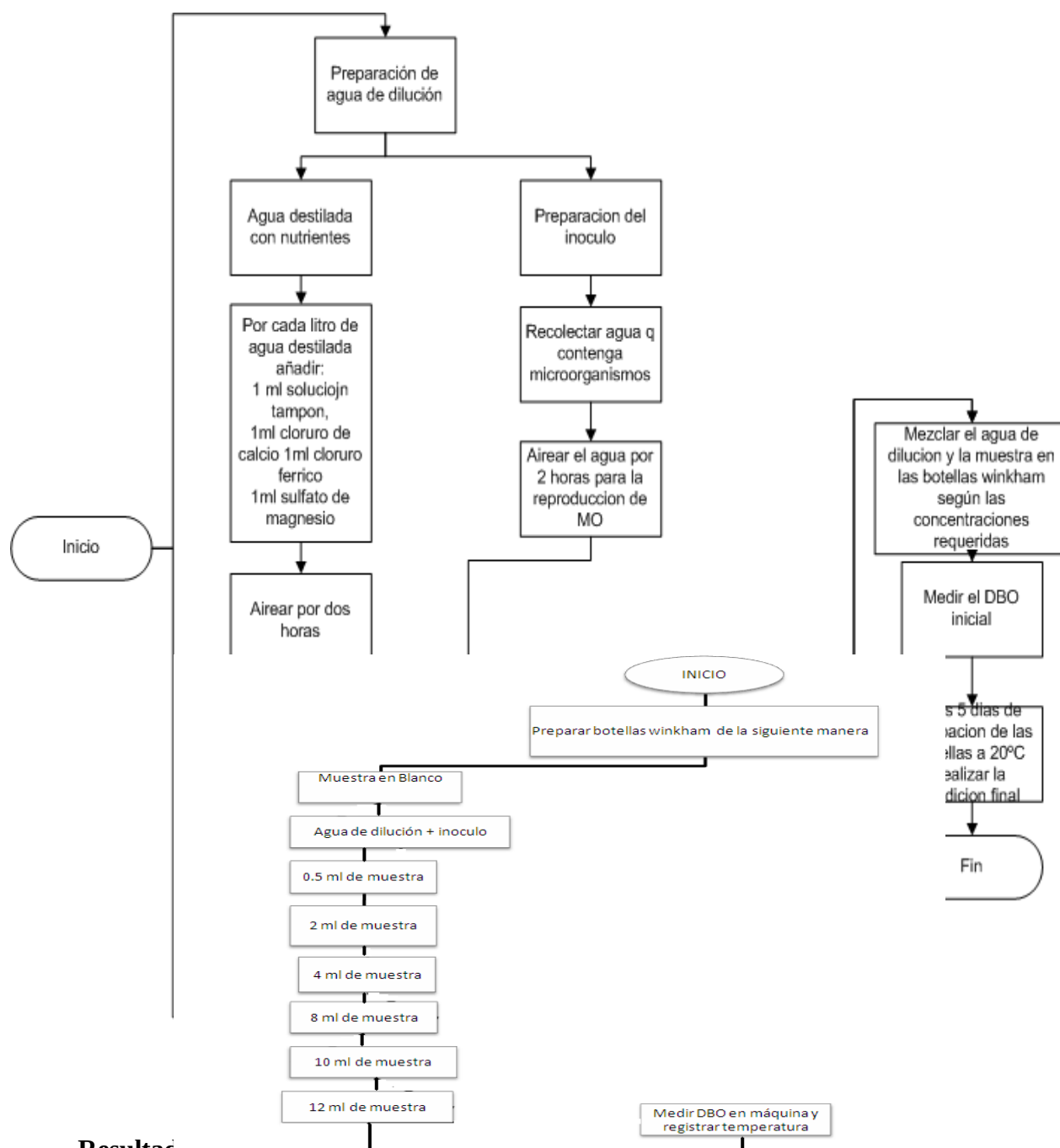
El coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (1994) recomienda $KT = 0.162$ para regiones del interior y $KT = 0.19$ para regiones costeras.

A partir de estos cálculos y valores de temperaturas y de la radiación solar, finalmente se obtuvo la evapotranspiración potencial buscada.

Determinación de la calidad del agua

La metodología para determinar la calidad del agua en el volumen de control, emplea como parámetro de medición la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que es una prueba de laboratorio que además de evaluar la calidad del agua, también permite medir el grado de contaminación. La DBO se calcula midiendo la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos en una muestra de agua. Cuando el periodo de muestreo y análisis es continuo por cinco días seguidos, se emplea la abreviación “DBO5”.

El procedimiento empleado se detalla en los siguientes diagramas de flujo:



Resultados

Los resultados de la medición de las variables micro meteorológicas de referencia (TMR) se exponen en el Cuadro 2 y los valores de R0 y KT en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Datos de temperatura y radiación solar de TMR.

T max (°C)	T min (°C)	Rs mm/dia
36	17	10.25
37	19	9.98
37	21	.9.41
34	21	8.48
37	22	9.11
37	23	8.80
37	22	9.11
37	21	9.41
36	22	8.80

Fuente: información propia

Cuadro 3. Valores establecidos de R0 y de KT

R0 =	14.528
KT=	0.162

Fuente: información propia

Conforme a los datos obtenidos de Rs, se procedió al cálculo de evapotranspiración en las piscinas sujetas a estudio, que contaban con la presencia de *Eichhornia crassipes* (tarope) como cobertura en superficie del agua, como se aprecia en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Evapotranspiración potencial (Eto) en simuladores de loma tipo piscinas con implantación de tarope

Días	Con Tarope	T [°C]	agua	T [°C]	amb	T [°C]	prom	Eto mm/dia
1	Piscina 1	20.1		29.9		25.0		5.92
2		21.9		27.5		24.7		5.72
3		20.4		30.2		25.3		5.47
4		19.2		24.0		21.6		4.51
5		21.0		27.8		24.4		5.18
6		20.0		31.0		25.5		5.14
7		19.0		32.7		25.8		5.36
8		19.5		28.0		23.7		5.28
Días	Con Tarope	T [°C]	agua	T [°C]	amb	T [°C]	prom	Eto mm/dia
1	Piscina 3	23.7		29.9		26.8		6.17
2		19.8		27.5		23.6		5.58
3		20.9		30.2		25.5		5.51
4		19.45		24.0		21.7		4.52
5		20.67		27.8		24.2		5.16
6		19.88		31.0		25.4		5.13
7		20.51		32.7		26.6		5.46
8		20		28.0		24.0		5.30

Días	Con Tarope	T agua [°C]	T amb [°C]	T prom [°C]	Eto mm/día
1	Piscina 5	19.6	29.9	24.7	5.89
2		21.3	27.5	24.4	5.69
3		20.7	30.2	25.5	5.50
4		19.0	24.0	21.5	4.49
5		20.2	27.8	24.0	5.14
6		19.3	31.0	25.1	5.10
7		20.0	32.7	26.3	5.42
8		19.9	28.0	23.9	5.30

Fuente: información propia

Para la obtención de la pérdida de calor por evapotranspiración, fue necesario realizar la conversión de unidades, mismos valores que están expresados en la tabla del Anexo 2, donde se pueden identificar los contrastes entre las temperaturas del agua y del medio ambiente, los valores de evapotranspiración potencial, los valores lambda y los valores de calor para cada simulador tipo piscina.

Como se mencionó anteriormente, la pérdida de calor que existe en la superficie de control, es la suma de las pérdidas que existen por conducción, por convección, radiación y evapotranspiración y los resultados se expresan en kw/m².

A partir de esos cálculos, se procedió con la comparación de la pérdida de calor entre las piscinas que emplean cobertura superficial con tarope con las piscinas que no cuentan con cobertura de tal especie vegetal (cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de pérdida de calor en ambos tratamientos (con y sin cobertura con tarope), en kw/m²

Simuladores tipo piscinas sin tarope	Simuladores tipo piscinas con tarope
900.15	784.39
793.33	653.80
838.27	736.71
681.66	573.18
671.33	665.29

Simuladores tipo piscinas sin tarope	Simuladores tipo piscinas con tarope
768.00	736.42
849.68	714.63
792.28	665.66

Fuente: información propia

El contraste entre ambos tratamientos refleja claramente que existe mayor evaporación en las piscinas sin tarope, lo que indica que es factible y recomendable el uso de *Eichhornia crassipes* para disminuir considerablemente la pérdida de agua por evaporación en los canales circundantes a cada loma ganadera.

En relación a los resultados encontrados acerca de la influencia que tiene la especie *Eichhornia crassipes* sobre la calidad de agua, expresada como la demanda química del oxígeno medida durante un periodo de cinco días consecutivos (DBO5) en cada caso o tratamiento, se puede advertir un claro contraste entre los resultados obtenidos cuando la superficie del agua contiene cobertura con tarope, frente a las piscinas simuladoras que no cuentan con protección superficial de esta especie (Cuadros 6 y 7, respectivamente).

Cuadro 6. Resultados de la DBO5 en simuladores sin cobertura de tarope

MUESTRA	INICIO		FINAL		
	TEMPERATURA (°C)	DBO (mg/l)	TEMPERATURA (°C)	DBO (mg/l)	DBO5(mg/l)
Blanco	15.20	0.36	17.80	0.22	
Agua+inóculo	16.90	1.43	17.80	1.20	
0.5	17.10	1.49	17.80	0.96	150.00
2.00	17.20	1.54	17.80	0.55	95.00
4.00	17.10	1.51	17.80	0.47	50.63
8.00	17.10	1.61	17.80	0.31	33.44
10.00	17.10	1.66	17.80	0.19	31.00
12.00	17.10	1.68	17.70	0.11	27.92
				DBO (PROM)	64.66

Fuente: información propia

Cuadro 7. Resultados de la DBO5 en simuladores con cobertura de tarope

MUESTRA	INICIO		FINAL		
	TEMPERATURA (°C)	DBO (mg/l)	TEMPERATUR A (°C)	DBO (mg/l)	DBO5(mg/l)
Blanco	15.10	0.36	17.80	0.22	
Agua+inóculo	16.80	1.19	17.80	0.97	
0.5	17.00	1.2	17.80	0.76	110.00
2.00	17.10	1.33	17.80	0.54	71.25
4.00	17.20	1.35	17.80	0.42	44.38
8.00	17.20	1.41	17.80	0.39	25.00
10.00	17.10	1.44	17.80	0.16	26.50
12.00	17.10	1.48	17.70	0.13	23.54
				DBO (PROM)	50.11

Fuente: información propia

Se puede apreciar directamente la diferencia visualizando el promedio de la demanda química del oxígeno (DBO5) para ambos tratamientos comparados entre sí. La calidad de agua, expresada como la menor demanda química del oxígeno (DBO5) en las piscinas con tarope es de 50.11 mg/l, frente a 64.66 mg/l de DBO5 en las piscinas sin tarope, lo cual refleja que los depósitos de agua (en este caso los simuladores tipo piscina, extrapolados a las condiciones de las lomas ganaderas en toda su extensión. con capacidad de almacenamiento de hasta 13,000 m³ de agua, demuestran un mayor potencial para mejorar la calidad del agua cuando la superficie está cubierta acompañada por la presencia de *Eichhornia crassipes*.

Discusión

Para la determinación de la evapotranspiración, no existe en realidad un método práctico de medición directa, sino que se necesita un equipamiento como los lisímetros (instrumento con valores económicos demasiado elevados), lo que conduce necesariamente a su estimación mediante métodos indirectos, que generalmente se basan en datos meteorológicos que, sin duda pueden conducir a algunos márgenes de error.

En por eso que, para el cálculo de la evapotranspiración, se recurrió a métodos de balances, métodos empíricos, semi-empíricos y a modelos matemáticos que representen físicamente el proceso.

Además, se comprobó que el uso superficial de *Eichhornia crassipes* es ideal para evitar la evaporación excesiva del agua contenida dentro de los canales; también, según estudios realizados, se observó que debido a su capacidad de almacenar nutrientes (Amalina, 2022), entre oligoelementos y minerales mayores, dependiendo de su presencia en la región, puede ser utilizado como abono natural dentro del área de la loma para fertilizar y además, ser alimento para el ganado. Este resultado y observación a favor de la ganadería es avalado recientemente en el África por Fanta et al.; (2024). Su alto valor nutricional y abundancia en los cuerpos de agua, lo convierten en una fuente prometedora y rentable de alimento para animales.

Conforme a las pruebas de laboratorio de las muestras de agua obtenidas del volumen de control, queda demostrado que, el empleo de la especie *Eichhornia crassipes* sobre las propiedades del agua, posee una capacidad excepcional para absorber y almacenar en sus hojas y raíces nutrientes del agua y por ello es muy efectiva como agente depurador, esta información está respaldada por investigaciones de Chilcon y Chiuca (2022), quienes además agregan que *Eichhornia crassipes* es ampliamente reconocida por su uso en la fitorremediación, removiendo eficazmente contaminantes orgánicos de cuerpos de agua.

Este resultado coincide exactamente con lo mencionado por Vanegas, (2020) quien explica que los mecanismos de purificación del agua del tarope sucede a través de la asimilación directa de nutrientes, donde los nutrientes son removidos del agua e incorporados al tejido de la planta. Las raíces de la planta proporcionan una superficie para que los microorganismos transformen los contaminantes, reduciendo su concentración.

Las investigaciones en análisis paralelos permitieron determinar que el jacinto de agua o tarope (*Eichhornia Crassipes*) logró eficientemente la remoción significativamente altas de algunos contaminantes presentes en el Agua Residual Doméstica (ARD) y en el Agua Residual No Doméstica (ARnD), en parámetros como lo fueron la materia orgánica medida como la DBO5 (Vanegas, 2020).

El aporte de nutrientes provenientes de las aguas blancas durante la época de inundación favorece el desarrollo de comunidades más diversas de plantas acuáticas, aumentando la cantidad total de materia vegetal, lo cual es también respaldado por investigaciones de Chilcon y Chiuca (2022).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten afirmar con distintos argumentos validados experimentalmente, que, es altamente factible emplear *Eichhornia crassipes* dentro de los canales circundantes de las lomas de resguardo ganadero del Beni para lograr disminuir la pérdida de agua por evaporación logrando una mayor conservación del agua.

El empleo del tarope no solo sirve para proteger la cantidad de agua expuesta a la intensa radiación solar que produce la evaporación del agua, sino también para su posterior uso como fuente de alimentación del ganado en la época seca, debido a que esta especie logra la purificación del agua, librándola de posibles agentes intoxicantes.

La propuesta para dimensionar una loma artificial en función a las variables que intervienen, depende de las características de la loma y se requiere un análisis de la población usuaria y al número de cabezas de ganado que poseen, considerando que se trata de una loma de resguardo ganadero y su función principal es satisfacer las necesidades de un plan de gestión de riesgos que amenazan a la ganadería local.

Su uso efectivo para evitar la evaporación excesiva dentro de los canales, junto a las propiedades reflejadas en cuanto a la purificación del agua, atesora la posibilidad de crear nuevos e innovadores medios de vida para los pobladores de las comunidades vecinas a la loma, quienes podrían promover la crianza de peces en los canales, lo cual, al ser incorporado el Tarope tiene mayores ventajas para el sistema.

El método empleado en este experimento, para medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica presente en aguas naturales es un método recomendable porque logra determinar la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C.

Las lomas artificiales logran replicar las bondades obtenidas por las experiencias ancestrales de culturas milenarias del gran Moxos y se constituyen en alternativas sostenibles y sustentables altamente eficientes, no solo porque ayudan a salvar el ganado durante eventos climáticos extremos bióticos que causan la inundación de los campos de pastoreo, sino que también contribuyen a preservar sus condiciones fisiológicas, productivas y sanitarias de los animales, lo que evita los gastos excesivos de crianza y es esencial para el proceso productivo regional y la seguridad alimentaria de la población.

Referencias

- Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998).- Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. (<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents>)
- Versión en español: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Amalina, F.; Syukor. A.; Razak, A S.; Krishnan, S.; Zularisam, A.W.; Nasrullah, M. (2022). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for organic contaminants removal in water – A review. *Journal of Hazardous Material Advances*, 7, 100092. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416622000481>
- Angelo, D.; Mamani, S.; Morales, E.; Chipana, R.; Quispe, M. (2008). Suka Kollus, una

tecnología ancestral para el tiempo actual. PROSUKO, Programa Suka Kollus, Intercooperacion, COSUDE. 264 p.

Arce, J. (2021). Evaluación y comparación de rendimientos de cuatro cultivos en tres anchuras de camellones (campos elevados) en la estación biológica del Beni (Prov. Ballivian, Dpto. del Beni). Ph D Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad Técnica del Beni.

Barrera, J., León, S. A. R., Trujillo, J. A. P., Angeles, E. S., & Alvarez, A. C. . Mecanismos de transferencia de calor. TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río, 8(16), 38-42.

<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/6401>

Chilcon Rojas, M. S., & Chiuca Bonifacio, L. M. (2022). Tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando la *Typha Domingensis* y *Echhornia crassipes*.

Denevan, W.M (1980). The Aboriginal Cultural Geography of the Llanos de Mojos of Bolivia”. Ed. Juventud, La Paz, Bolivia.

Denevan, W.M (2003). Una perspectiva histórica sobre el descubrimiento de campos elevados (camellones), prehispánicos en Sud América. In: Valdez, F. (Ed.) Agricultura Ancestral. Camellones y Albarratas. Contexto social, Usos y retos del pasado y del presente. Ediciones A.Y. Quito, Ecuador, pp 17-24.

Erickson, C. (1992). Prehistoric Landscape Management in the Andean Highlands: Raised Field Agriculture and its Environmental Impact. *Population and Environment*. V. 3 N. pp. 285 -300.

Erickson, C. (1993). Arqueología de la agricultura de camellones e infraestructura hidráulica en el departamento del Beni- Informe Preliminar de las investigaciones Arqueológicas del Proyecto Agro-Arqueológico del Beni. Instituto nacional de arqueología Universidad de Pensilvania.

Fanta, Y.; Kechero, Y.; and Yemane, N. (2024). Nutritional response to water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) challenges via blood biochemical profiles in goats and sheep. *Heliyon*. Rsearch articule No10 Issue 7. DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e28424](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28424)

Hargreaves, G.H. (1994). Simplified coefficients for estimating monthly solar radiation

- in North America and Europe. Dept. Paper. Dept. Biol. And Irrig. Eng., Utah State Univ., Logan, Utah.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A, (1985). Estimating potential evapotranspiration. *Journal Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 108(3):223-230.
- Jiménez E. (2000). Utilización de *Echhornia Crassipes* (Tarope) para tratamiento de aguas residuales de la cervecería de Santa Cruz. Tesis de grado. Universidad Autónoma del Beni.
- Lee, K. (1995). Complejo hidráulico de la Llanura de Baures (Área a ser protegida. Biblioteca privada. Trinidad, Beni.
- MDSMA (1995). División Político Administrativa de la República de Bolivia. Creación del Departamento del Beni, Decreto Supremo CDS 18/11/1842.
- Menacho, C.V. (2015). Análisis de las variables que intervienen en la eficiencia de las lomas artificiales en el oriente boliviano, para su optimización. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, UMSA. La Paz, Bolivia. 107 p.
- Michel, M. (1992). Desarrollo temprano de la agricultura de campos elevados en los llanos de Moxos. Departamento del Beni, Bolivia,
- Ministerio de Defensa Nacional, VIDECI. (2008). Servicio de Hidrología Naval. Análisis hidrológico de los Ríos Beni, Mamoré e Ibare a partir de estaciones de la red hidrométrica del SNHN.
- Moreno, C. A., Hurtado, R. H., Portal, M. R., Valdiviezo Corte, M. B., Riquelme Guzman, A., Alabar, F. D., & Mayo, H. F. (2019). Ajuste de la estimación de la evapotranspiración de Hargreaves y Samani a la metodología de Penman-Monteith (FAO, 56), para localidades del Noroeste Argentino. *Agrarias*, 11(18).
- Quispe, O.D.F. y Maldonado, C. (2020). Dosel de sombra y condiciones de sitio de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados en Alto Beni. *Apthapi* v.6 n.2. UMSA. La Paz, Bolivia.
- Saavedra. O. (2013). La Cultura Hidráulica de los Camellones de Tierras Bajas y Altas. Ministerio de Educación, VM de Ciencia y Tecnología. Red de Remediación Ambiental

y Recursos Hídricos. La Paz, Bolivia. 103 p.

Saavedra, O. (2009). Culturas Hidráulicas de la Amazonía Boliviana: Ecología cultural sofisticada y manejo del paisaje. Ensayo sobre filosofía, ciencia y desarrollo para la construcción e la perspectiva histórica. OXFAM. Scorpion Comunicación gráfica. 255 p.

Saavedra, O. y Lee, K. (1998). Culturas Hidráulicas de Moxos: Una opción ecológica inédita para el desarrollo sostenible del Beni- Amazonia. Comité Map. UNESCO. Biblioteca privada.

Solíz, CA, & Mercado, LN. (2022). La cadena de valor de la ganadería en los Llanos de Moxos. Trinidad, Bolivia: Grupo de Trabajo para los Llanos de Moxos/ Asociación Civil Armonía, 80 p.

Tejada, E.; Huertas, G.; Lavell, A. (2017). Retos y Oportunidades de la Gestión de Riesgos para contrarrestar los Efectos de las Emergencias en la Producción Pecuaria Familiar. Bienestar Animal y Seguridad Alimentaria. en las Américas. Universidad de Guadalajara, México.

Tejada, E.; Huertas, G. y Lavell, A. (2016). Estrategias de Gestión de Riesgos para Contrarrestar los Efectos de los Desastres Abióticos en la Producción Pecuaria familiar. XIII Reunión de la Comisión de Desarrollo Ganadero para América Latina y El Caribe, Capítulo Cono Sur y Andino. FAO. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Tejada, E. (2011). Ed. Experiencias exitosas de Gestión de Riesgos de Desastres en el Sector Agropecuario, para la Adaptación al cambio Climático. In: Memorias. Experiencias exitosas de Gestion de Riesgo de Desastres en el sector Agropecuario, para la Adaptación al Cambio Climático. FAO, Cooperación Italiana en Bolivia, VIDECI. 160 p.

Umberto, L. Canal, E.; Fehr, S.; Veit, H. (2011). Raised Field in the Bolivian Amazonia: A prehistoric green revolution or a flood risk mitigation strategy? Journal of Archaeological Science. pp. 502 – 512.

Velarde, M. J.; Mendoza, R. J.; Delgado, R.; Tejada, E.; y Quispe, M. (2010).

Sistematización de prácticas agroecológicas, pecuarias y de aprovechamiento de recursos naturales para la reducción de riesgos naturales. Proyecto TCP 3112.

Asistencia a los Pises andinos en la reducción de riesgos y desastres en el sector agropecuario, caso Municipio de Loreto, Beni, Bolivia. FAO, VIDECI, 35 P. La Paz.

Vanegas, E. (2020). Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la fitodepuración de aguas residuales domésticas (ARD) y aguas residuales no domésticas (ARnD). Universidad Nacional Abierta y A Distancia -UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y De Medio Ambiente ECAPMA Ingeniería Ambiental. Puerto Gaitán, 78 p.

Vargas, M. (2024, 18 de abril) El contexto de la ganadería de carne bovina en Bolivia. CIPCA.

Yana, P. and Tejada, E. (2015). Livestock refuge mounds to strengthen resilience against natural hazards in Bolivia. Protecting livestock and agriculture production during floods and droughts. FAO/Italian Cooperation in Bolivia/UNTFHS.

<https://issuu.com/ucerbolivia> (in Spanish). <https://teca.fao.org/read/8829>.

Yunus, A. y Cengel. (2007). Transferencia de calor y masa. Miguel Toledo (ed.lit); José Hernán Pérez (Trad.) México, 736 p. ISBN 978-970-10-6173-2

ANEXO 1. Tabla de radiación solar extraterrestre en MJ m-2d-1 (Allen et al.,(1998)

Lat. deg.	Southern Hemisphere											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
70	41.4	28.6	15.8	4.9	0.2	0.0	0.0	2.2	10.7	23.5	37.3	45.3
68	41.0	29.3	16.9	6.0	0.8	0.0	0.0	3.2	11.9	24.4	37.4	44.7
66	40.9	30.0	18.1	7.2	1.5	0.1	0.5	4.2	13.1	25.4	37.6	44.1
64	41.0	30.8	19.3	8.4	2.4	0.6	1.2	5.3	14.4	26.3	38.0	43.9
62	41.2	31.5	20.4	9.6	3.4	1.2	2.0	6.4	15.5	27.2	38.3	43.9
60	41.5	32.3	21.5	10.8	4.4	2.0	2.9	7.6	16.7	28.1	38.7	43.9
58	41.7	33.0	22.6	12.0	5.5	2.9	3.9	8.7	17.9	28.9	39.1	44.0
56	42.0	33.7	23.6	13.2	6.6	3.9	4.9	9.9	19.0	29.8	39.5	44.1
54	42.2	34.3	24.6	14.4	7.7	4.9	6.0	11.1	20.1	30.6	39.9	44.3
52	42.5	35.0	25.6	15.6	8.8	6.0	7.1	12.2	21.2	31.4	40.2	44.4
50	42.7	35.6	26.6	16.7	10.0	7.1	8.2	13.4	22.2	32.1	40.6	44.5
48	42.9	36.2	27.5	17.9	11.1	8.2	9.3	14.6	23.3	32.8	40.9	44.5
46	43.0	36.7	28.4	19.0	12.3	9.3	10.4	15.7	24.3	33.5	41.1	44.6
44	43.2	37.2	29.3	20.1	13.5	10.5	11.6	16.8	25.2	34.1	41.4	44.6
42	43.3	37.7	30.1	21.2	14.6	11.6	12.8	18.0	26.2	34.7	41.6	44.6
40	43.4	38.1	30.9	22.3	15.8	12.8	13.9	19.1	27.1	35.3	41.8	44.6
38	43.4	38.5	31.7	23.3	16.9	13.9	15.1	20.2	28.0	35.8	41.9	44.5
36	43.4	38.9	32.4	24.3	18.1	15.1	16.2	21.2	28.8	36.3	42.0	44.4
34	43.4	39.2	33.0	25.3	19.2	16.2	17.4	22.3	29.6	36.7	42.0	44.3
32	43.3	39.4	33.7	26.3	20.3	17.4	18.5	23.3	30.4	37.1	42.0	44.1
30	43.1	39.6	34.3	27.2	21.4	18.5	19.6	24.3	31.1	37.5	42.0	43.9

28	43.0	39.8	34.8	28.1	22.5	19.7	20.7	25.3	31.8	37.8	41.9	43.6
26	42.8	39.9	35.3	29.0	23.5	20.8	21.8	26.3	32.5	38.0	41.8	43.3
24	42.5	40.0	35.8	29.8	24.6	21.9	22.9	27.2	33.1	38.3	41.7	43.0
22	42.2	40.1	36.2	30.6	25.6	23.0	24.0	28.1	33.7	38.4	41.4	42.6
20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1
18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7
16	41.1	39.9	37.2	32.8	28.5	26.2	27.0	30.6	35.2	38.7	40.6	41.2
14	40.6	39.7	37.5	33.4	29.4	27.2	27.9	31.3	35.6	38.7	40.2	40.6
12	40.1	39.6	37.7	34.0	30.2	28.1	28.9	32.1	36.0	38.6	39.8	40.0
10	39.5	39.3	37.8	34.6	31.1	29.1	29.8	32.8	36.3	38.5	39.3	39.4
8	38.9	39.0	37.9	35.1	31.9	30.0	30.7	33.4	36.6	38.4	38.8	38.7
6	38.3	38.7	38.0	35.6	32.7	30.9	31.5	34.0	36.8	38.2	38.2	38.0
4	37.6	38.3	38.0	36.0	33.4	31.8	32.3	34.6	37.0	38.0	37.6	37.2
2	36.9	37.9	38.0	36.4	34.1	32.6	33.1	35.2	37.1	37.7	37.0	36.4
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

ANEXO 2. Tabla de conversión de unidades para determinación de la pérdida de calor por Evapotranspiración

T agua [°C]	T amb [°C]	T prom [°C]	Eto mm/dia	Eto m/dia	Lambda [kJ/kg]	Densidad [kg/m ³]	Calor [kW/m ²]	Calor [W/m ²]
20.1	29.9	25	5.9234745	6.86E-08	2453	998.2	1.68E-01	1.68E+02
21.9	27.56	24.73	5.7290987	6.63E-08	2449	997.8	1.62E-01	1.62E+02
20.4	30.27	25.335	5.4783191	6.34E-08	2452	998.1	1.55E-01	1.55E+02
19.22	24	21.61	4.5114547	5.22E-08	2455	998.4	1.28E-01	1.28E+02
21	27.8	24.4	5.1893283	6.01E-08	2451	998	1.47E-01	1.47E+02
20	31	25.5	5.1441096	5.95E-08	2453	998.2	1.46E-01	1.46E+02
19	32.7	25.85	5.3677192	6.21E-08	2456	998.4	1.52E-01	1.52E+02
19.55	28	23.775	5.2801009	6.11E-08	2454	998.3	1.50E-01	1.50E+02

T agua [°C]	T amb [°C]	T prom [°C]	Eto mm/dia	Eto m/dia	Lambda [kJ/kg]	Densidad [kg/m ³]	Calor [kW/m ²]	Calor [W/m ²]
23.7	29.9	26.8	6.1727091	7.14E-08	2445	997.4	1.74E-01	1.74E+02
19.8	27.56	23.68	5.5875895	6.47E-08	2454	998.3	1.58E-01	1.58E+02
20.9	30.27	25.585	5.5100848	6.38E-08	2451	998	1.56E-01	1.56E+02
19.45	24	21.725	4.524626	5.24E-08	2455	998.3	1.28E-01	1.28E+02

20.67	27.8	24.235	5.1690287	5.98E-08	2452	998.1	1.46E-01	1.46E+02
19.88	31	25.44	5.1369782	5.95E-08	2454	998.3	1.46E-01	1.46E+02
20.51	32.7	26.605	5.4606054	6.32E-08	2452	998.1	1.55E-01	1.55E+02
20	28	24	5.3086901	6.14E-08	2453	998.2	1.50E-01	1.50E+02

T _{agua} [°C]	T _{amb} [°C]	T _{prom} [°C]	Eto mm/día	Eto m/día	Lambda [kJ/kg]	Densidad [kg/m ³]	Calor [kW/m ²]	Calor [W/m ²]
19.69	29.9	24.795	5.8950895	6.82E-08	2454	998.3	1.67E-01	1.67E+02
21.36	27.56	24.46	5.6927106	6.59E-08	2450	997.9	1.61E-01	1.61E+02
20.77	30.27	25.52	5.5018258	6.37E-08	2452	998.1	1.56E-01	1.56E+02
19	24	21.5	4.4988561	5.21E-08	2456	998.4	1.28E-01	1.28E+02
20.22	27.8	24.01	5.1413473	5.95E-08	2453	998.2	1.46E-01	1.46E+02
19.35	31	25.175	5.1054812	5.91E-08	2455	998.4	1.45E-01	1.45E+02
20	32.7	26.35	5.4292333	6.28E-08	2453	998.2	1.54E-01	1.54E+02
19.94	28	23.97	5.3048782	6.14E-08	2453	998.2	1.50E-01	1.50E+02

V.II. Educación Superior

El papel de la universidad en el desarrollo de Bolivia

Carlos Aguirre-Bastos¹⁴

Pedro Crespo¹⁴

Ronanth Zavaleta-Mercado¹⁴

Einstein Tejada¹⁴

Resumen

La visión de la ANCB para la Educación Superior en Bolivia hacia 2040 subraya que las universidades son instrumentos clave para el desarrollo sostenible, la soberanía y la fortaleza del país, siendo el centro de origen del conocimiento, investigación, educación y crítica intelectual. Para cumplir esta misión vital, la libertad académica y la autonomía institucional son esenciales para garantizar la calidad en la enseñanza y la investigación. Bolivia debe dejar su papel pasivo en la globalización, priorizando la investigación, la innovación y una educación de muy alta calidad para alcanzar prosperidad y equidad.

Sin embargo, la universidad boliviana enfrenta desafíos significativos. Se observa un bajo posicionamiento en rankings globales de publicaciones. Existen limitaciones en la gobernanza, donde intereses personales y la burocracia obstaculizan la excelencia. La oferta sostenida de programas de posgrado es limitada, afectando la formación de docentes calificados y la investigación. Además, los centros de excelencia carecen de recursos financieros e infraestructura. Es imperativo construir instituciones más sólidas, adoptar un nuevo modelo adaptado a las necesidades nacionales y regionales, y fomentar interrelaciones con el sector productivo debido a la disminución de fondos. El objetivo es generar un ambiente estimulante que asegure la calidad en la investigación y la enseñanza.

Palabras claves: Universidades, investigación, calidad, desafíos, autonomía.

¹⁴ Academia Nacional de Ciencias

Abstract

The Role of the University in Bolivia's Development

The ANCB's vision for Higher Education in Bolivia towards 2040 highlights that Bolivian universities are key instruments for sustainable development, sovereignty, and the strength of the country, being the epicentre of knowledge, research, education, and intellectual critique. To fulfil this vital mission, academic freedom and institutional autonomy are essential to guarantee quality in teaching and research. Bolivia must abandon its passive role in globalisation, prioritising research, innovation, and very high-quality education to achieve prosperity and equity.

However, the Bolivian university faces significant challenges. There is a low position in global publication rankings. There are limitations in governance, where personal interests and bureaucracy hinder excellence. The sustained provision of postgraduate programmes is limited, affecting the training of qualified teachers and research. Furthermore, world-class centres of excellence lack financial resources and infrastructure. It is imperative to build stronger institutions, adopt a new model adapted to national and regional needs, and foster interrelations with the productive sector due to declining funds. The objective is to create a stimulating environment that ensures quality in research and teaching.

Keywprds; Universities, research, quality, challenges, autonomy

Introducción

El conocimiento tiene hoy un mucho mayor valor que los recursos naturales. Solamente los países que lo dominan tienen la posibilidad de brindar un mayor bienestar a sus ciudadanos. La universidad, que es la institución dedicada al dominio del conocimiento, es el instrumento clave para un desarrollo sostenible e inclusivo. La universidad boliviana se convierte por ello en la institución por excelencia para crear una nación fuerte y soberana.

Una nación fuerte y soberana es crucial para enfrentar los desafíos contemporáneos. La soberanía permite a un país tomar decisiones en beneficio de su población, gestionar sus recursos y proteger su integridad. Además, una nación sólida puede responder mejor a crisis económicas, ambientales y de seguridad, así como participar activamente en el ámbito internacional. Fomentar una identidad nacional unida y resiliente juega un papel fundamental en esta fortaleza. La universidad es la única institución en la sociedad en que se encuentran cuatro actividades juntas e interactuantes: investigación, educación, entrenamiento profesional, y crítica intelectual. La universidad es por excelencia el centro de origen del conocimiento, desde donde se promueven paradigmas, enfoques, modelos e ideas que revolucionan y transforman la realidad en beneficio de la calidad de vida y el bienestar social.

La universidad es la piedra fundamental sobre la cual se ha construido la búsqueda de conocimiento y la verdad. En esta época de la nueva globalización, la creciente inequidad social, y otros desafíos al desarrollo sostenible e inclusivo, la universidad como institución rectora de la cultura y los valores democráticos cobra un valor inigualable para la sociedad.

La universidad solamente puede cumplir con su misión, si los profesores, los estudiantes, y la administración gozan de libertad académica y es autónoma. La libertad académica y la autonomía institucional son esenciales para avanzar en la calidad del aprendizaje, la enseñanza, y la investigación, incluida la práctica artística y creativa. La calidad es entendida como la observancia de altos estándares de disciplina académica. La comunidad de académicos, administrativos, y estudiantes, así como los líderes de la educación superior deben combinar la autonomía y la rendición de cuentas, y la responsabilidad social.

Para que la universidad pueda cumplir con el objetivo de jugar un papel clave en el desarrollo de Bolivia, es necesario “Generar en ellas un ambiente excitante, atractivo, riguroso y empoderante a estudiantes y profesores, capaz de garantizar calidad en la investigación y la enseñanza, generar y difundir nuevo conocimiento y formar profesionales bien calificados, para dar respuesta a los distintos desafíos económicos, sociales, ambientales actuales y futuros del país.”

El mundo hoy y en el futuro próximo

Para alcanzar un escenario de prosperidad, democracia, equidad e inclusión, en el marco de las grandes transformaciones globales que están aconteciendo, y en las cuales Bolivia debe abandonar su papel pasivo, que no aprovecha las oportunidades y solo sufre las consecuencias de una globalización excluyente. Se propone así un escenario caracterizado por la consolidación de una democracia social, con justicia y empleo digno, respetuosa a la diversidad, equidad en todas las dimensiones, seguridad pública y un estado proactivo, promotor del desarrollo, democrático y eficiente, que convoque a la construcción a un futuro deseado por todos.

Un escenario de esta naturaleza es posible alcanzar, pero para ello se requieren de acciones ambiciosas, sobre todo en materia de investigación, innovación, y de educación en todos sus niveles.

Mas aun, y con urgencia, es necesario superar la titánica tarea que tienen quienes deciden las políticas públicas para que sean conscientes de la prioridad que conlleva tener un sistema universitario de muy alta calidad, y considerar que una universidad de investigación tiene su foco principal en el desarrollo de la investigación, incluyendo áreas de alta especialidad, ofreciendo programas de doctorado, mientras que las universidades de enseñanza se enfocan al desarrollo de una enseñanza de calidad, y de programas de pregrado y postgrado al nivel de maestría. Ambos tipos de universidad son importantes pues tienen la misión de producir profesionales exitosos contribuyendo con sus esfuerzos al avance de metas de investigación o de negocios.

Caracterización de la universidad boliviana a partir de indicadores existentes

Existe un número grande de rankings globales de universidades que tienen gran visibilidad e impacto sobre las instituciones y las comunidades académicas locales, suscitando al mismo tiempo, reacciones encontradas. En el caso de las universidades latinoamericanas, se argumenta que las variables elegidas para confeccionar un ranking y el peso relativo que se

les asigna jerarquizan un concepto de calidad que no condice necesariamente con la pluralidad de modelos de universidades y la función social que éstas cumplen.

Más aun señalan que “... algunas universidades eventualmente mejor posicionadas en algún ranking han aprendido a valerse de ellos a la hora de publicitar sus cursos, negociar presupuestos o fortalecer su imagen ante la opinión pública y que los indicadores han proliferado, normalmente bien intencionados, no siempre bien informados, y a menudo mal aplicados. Cuando organizaciones sin conocimiento sobre buenas prácticas e interpretación apropiada de indicadores llevan a cabo las evaluaciones, corremos el riesgo de dañar el sistema científico con los mismos instrumentos diseñados para mejorarlas.

Independiente de la forma como son elaborados los rankings, es importante que estos sirvan para medir el desempeño de las universidades en un país comparándolos con países de similar estado de desarrollo. Para el caso de las universidades en Bolivia, la plataforma SCImago coloca a la Universidad Mayor de San Andrés, la Universidad Mayor de San Simón y la Universidad Católica entre las tres mejores en Bolivia por el número de publicaciones, y en los puestos 213, 266 y 378 respectivamente en la región latinoamericana.

En el caso de la Plataforma Webometrics (2023) entre 3,924 universidades de América Latina la Universidad Mayor de San Andrés está en el puesto 125, la Universidad Mayor de San Simón en el puesto 331, la Universidad Jose Ballivián en el puesto 524, y la Universidad Católica en el puesto 527.

Políticas y Estrategias de la Universidad Boliviana

Ha sido una preocupación del CEUB y de cada una de las universidades del sistema universitario el quehacer científico tecnológico desde hace mucho tiempo y desde los inicios del milenio se incorporó con fuerza la innovación. Las universidades han elaborado documentos al respecto, planes, estrategias y se han propuesto metas. Un ejemplo bien desarrollado es de la Universidad Mayor de San Simón, que, en diciembre del 2017 desarrolló un Marco Conceptual Estratégico de la Ciencia, Tecnología e Innovación.

El Marco conceptual, que es referente no solo para la propia universidad, sino para el sistema en sí. Contiene conceptos como: la economía del conocimiento y la innovación; la sociedad del conocimiento, la Transferencia Tecnológica efectiva, la generación de investigación que asegura una vocación hacia la universidad de clase mundial como modelo de organización con una expectativa de altos índices de calidad que propicien la excelencia.

Si bien parece centrarse en el desarrollo económico y social para Bolivia y Cochabamba, su componente teórico adquiere una fuerza interesante desde los conceptos en ciencia, tecnología e innovación que se van construyendo en este espacio subcontinental de Sudamérica.

La gobernanza en las universidades latinoamericanas sobre todo en Bolivia tiene múltiples limitaciones, situación que coincide con lo manifestado por Jamil Salmi, quien sostiene que

“la elección democrática de los rectores y de los principales líderes académicos favorece que los académicos impongan sus intereses personales por encima de la excelencia académica. Con frecuencia los procesos de decisión están teñidos de corporativismo y son demasiado largos, complejos y plagados de burocracia e ineficiencia”.

Algunas conclusiones

Bolivia enfrenta grandes desafíos internos: de crecimiento económico, y de desarrollo sostenible e inclusivo. Al mismo tiempo, el país no parece reconocer que también hace parte de un mundo complejo y en plena transformación, un proceso que genera gran incertidumbre en el futuro, y que aumenta en la medida que se reconocen límites al conocimiento.

Para enfrentar los desafíos internos y aquellos que impone la transformación, la cuestión institucional es clave. Bolivia requiere con urgencia construir instituciones mucho más sólidas. En la mirada desde el futuro sobre la Bolivia de hoy, no se advierten estas instituciones. El país no se desarrollará mientras se encuentre anclado en el pasado y sin instituciones sólidas. La universidad es absolutamente necesaria como una de esas instituciones. La contribución que pueden hacer las universidades bolivianas para enfrentar los desafíos del país es inconmensurable.

A partir de un escenario de una “La Bolivia que queremos” se concluye en la necesidad de tomar conciencia acerca de las consecuencias del cambio estructural global. Seguir el camino de la inercia o la inacción no es una opción porque amplía las brechas de Bolivia frente al mundo y conduce a un retroceso y/o un discreto desempeño en los indicadores de posicionamiento global. La gestión de la investigación y la innovación,

junto con la formación de calificados recursos humanos, que son las principales tareas de la universidad, son esenciales para avanzar hacia escenarios de transformación.

Para Bolivia, la utopía es alcanzar una sociedad y la economía basada en el conocimiento que brinda la ciencia. El gran desafío para las políticas nacionales de educación superior, ciencia, tecnología e innovación es en este contexto, conectarse con las metas globales y las dimensiones nacionales y globales del cambio en curso.

En nuestras universidades existen excepcionales e importantes centros de excelencia (e investigadores) de categoría mundial que son los que permiten a los rankings clasificar a esas universidades como de mayor calidad. Es importante reconocer que los artículos publicados en aquellas bases de datos que recogen la “corriente principal de la ciencia” constituyen un indicador de la calidad de la investigación, pero no de la universidad en su conjunto. De hecho, la calidad no es un atributo homogéneo para cada universidad, sino que varía en gran medida entre las distintas facultades o departamentos. Existen rankings de facultades o departamentos disciplinarios que con frecuencia arrojan resultados diferentes a los de la universidad en su conjunto.

Sin embargo, aun en las universidades bolivianas que pudieran ser clasificadas como de investigación, sus centros de investigación de clase mundial tienen muchas dificultades de desarrollar a planitud sus trabajos por la ausencia de recursos financieros e infraestructura.

En la mayoría de los casos estos operan gracias a la cooperación internacional. Lo que si cuentan esos centros es con investigadores de muy alta calidad, cada vez en mayor número, con títulos de postgrado, sobre todo doctorado, conferidos en universidades prestigiosas del exterior.

En cuanto a las universidades de enseñanza, es claro que su calidad depende de aquella de sus profesores y de la infraestructura que ofrecen. En este caso, los indicadores de docencia, o no existen o son rudimentarios lo que hace difícil medir su calidad.

Considerando los indicadores que establecen los rankings, se advierte que los desafíos que tanto la demanda nacional e internacional imponen necesaria “una nueva universidad”. La pregunta que surge es por tanto ¿de qué nueva universidad se está hablando? La necesaria respuesta es que Bolivia debe aspirar a constituir universidades de clase mundial como parte importante de un sistema de educación superior robusto. Esto no quiere decir necesariamente que se deben crear universidades de élite que compitan con aquellas del primer mundo conocidas como universidades de investigación.

Para responder también a la pregunta anterior es importante señalar que hacer parte de un grupo de universidades de clase mundial (o aún regional o nacional) no se alcanza por una auto declaración, sino por el estatus que le confiere el mundo externo sobre la base de su reconocimiento internacional. En este sentido, los rankings internacionales, a pesar de sus deficiencias, ofrecen una manera más sistemática de identificar universidades de clase mundial.

Es también claro que, en este momento, el modelo tradicional de las universidades del legado del movimiento de reforma de Córdoba —aunque fue innovador y exitoso hace un siglo— no es adecuado para la actualidad y debe ser revisado críticamente. Otro movimiento de esas dimensiones es necesario, pero esta vez no un modelo común como lo propuso Córdoba, sino uno que tome la forma de ideas innovadoras e iniciativas valientes que se adapten a las necesidades y aspiraciones nacionales y regionales de cada país.

Un caso particular relacionado con la calidad es aquel que se refiere al posgrado, que constituye el factor clave de una universidad de clase mundial. A este efecto, se pueden formular varias observaciones y recomendaciones por lo menos para el caso particular de las carreras derivadas de las ciencias naturales, ingenierías, otras áreas tecnológicas y matemática, tanto en el área publica como en la privada.

En general no existe oferta sostenida de programas de posgrado que conduzcan a títulos de maestría y doctorado. De hecho, en general, no existen facultades de posgrado que oferten estos programas. La oferta de posgrado es más bien ocasional y no abarca programas sino temas específico discontinuos ofertados por las mismas carreras de pregrado que muchas veces presuponen la contratación de docentes al efecto, muchas veces de manera virtual.

La inexistencia de ofertas permanentes de programas de posgrado ofertadas por facultades creadas al efecto impide la formación de cuadros docentes con las calificaciones necesarias, especialmente de grado doctoral concedido por universidades acreditadas, que ameriten no

solamente la formación teórica necesaria, sino también la realización de experimentación e investigación en ambientes formados al efecto, incluyendo profesores guía de debida experiencia.

Lo anterior deviene en cuadros docentes que la mayor parte del tiempo cuentan solamente con un grado académico inicial (licenciatura) sin mayor formación de posgrado e investigación. La exigencia de formación docente para el ejercicio de la docencia universitaria por parte de instituciones de educación superior normalmente incluye diplomado o maestría en educación superior, pero no se hace referencia a la formación disciplinar, más allá de la exigencia de una licenciatura en el área requerida.

Lo anterior se traduce en general, salvo excepciones encomiables, en medios docentes en educación terciaria que no se encuentran al día con el avance de conocimiento en el área en que se desenvuelven, creándose una brecha de conocimientos especialmente con el mundo industrializado, muy difícil de superar en el mediano plazo.

Esto deviene en que nuestro País, no cuente con ninguna acreditación en departamentos de ingeniería en ninguna universidad ni publica ni privada, de clase mundial, restringiéndose a acreditaciones regionales como Mercosur-Arcusur.

Una universidad tradicional, como son la mayoría de las universidades bolivianas, puede adaptarse al cambio, lo que conduce progresivamente a nuevas exigencias, aunque con grandes resistencias internas que retardan el proceso.

La adaptación hará inevitable que cada universidad busque su especificidad y ventajas comparativas, aunque sea un proceso lento y lleno de tensiones internas y externas. Su empuje creará nuevos empleos y permitirá a los estudiantes y profesores nuevas oportunidades para el aprendizaje en el trabajo. En la medida que se empujen los programas de investigación, los estudiantes tendrán mayor tiempo y apoyo para perseguir sus propios proyectos, alimentar la innovación en todos los negocios e industrias creativas.

A medida que la universidad se acerque a la sociedad, se ira convirtiendo, desde el punto de vista de su infraestructura en un complejo físico con núcleo rodeado de instituciones de apoyo, actividades culturales relacionadas, y lugar de encuentro internacional entre otros.

Bajo la consideración de universidades que puedan adaptarse al cambio surge una recomendación, a modo de pregunta, que se origina en el examen de los rankings:

¿será posible que algunas universidades privadas se integren para mejorar su infraestructura y sus servicios? La dispersión no es conveniente para fortalecer la calidad ni de la investigación ni de la enseñanza.

Si una universidad boliviana opta por establecer una estrategia propia para adelantarse y enfrentar al cambio, no puede estar encerrada en su entorno geográfico. En tal universidad primará la calidad y será frecuente la figura del profesor que une su labor en formación, con participación en proyectos con instituciones externas, y cierta capacidad empresarial para conectar la investigación y la difusión social de sus innovaciones.

De esta manera las universidades bolivianas de clase mundial buscarán su significado en un mundo globalizado, preparando profesionales para competir con aquellos de

otros países. Debido a que los estudiantes tendrán mayor acceso a los profesores, materiales, y otros estudiantes en la web y redes educativas, se graduarán con una impresionante red global de socios y contactos. Estas universidades atraerán a los mejores talentos y ofrecerán a los investigadores perspectivas de carrera competitiva.

La búsqueda de nuevos talentos es importante. Es necesario, en algunos casos ajustar el examen de ingreso que privilegie la calidad del estudiante que entra. Un robusto programa de becas manejado científicamente contribuiría a resolver el problema de acceso.

En las universidades de enseñanza de clase mundial, los profesores deben mantenerse al día para asegurar calidad en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Es necesario por tanto que sus profesores puedan ser alentados a participar en grupos de investigación con otras universidades bolivianas públicas o privadas, y junto a otros investigadores fueran del país. Es claro también que la calidad si surge en muchos casos de activa práctica profesional, lo que también requiere de investigación. Una nueva universidad de clase mundial está llamada a contribuir al fortalecimiento del país mediante la generación de nuevo conocimiento a través de la investigación y de estudios que se dirijan a adoptar o mejorar las políticas públicas. Las políticas públicas bolivianas adolecen de profundidad estratégica y visión de largo plazo. Los indicadores sobre la calidad de las políticas públicas bolivianas colocan al país en posiciones inferiores a otros países de la región que a su vez ocupa posiciones inferiores a otros países desarrollados y muchas regiones emergentes como es el caso del Sudeste Asiático.

En el marco anterior, si la educación superior, y si la ciencia, la tecnología y la innovación han de responder mejor a un futuro que se acelera, requieren de una amplia inteligencia estratégica puesto que un solo escenario libre de sorpresas es insuficiente. De esta manera, no solamente la incertidumbre será objeto de las políticas, sino también permitirá explorar perspectivas normativas diferentes del futuro. Las universidades en Bolivia están llamadas a crear esta inteligencia estratégica

A niveles más puntuales existe un gran número de cuestiones que pueden ser identificadas. Por ejemplo, las convocatorias a ocupar cátedras que debe ser reconsideradas. El requerir un portafolio completo (no solamente un currículo y examen de competencia) a ser evaluado por pares debe guiar la designación de nuevos catedráticos.

Es urgente que las páginas web de las universidades registren apropiadamente las actividades de investigación, sus resultados, las tareas de asesoría, los informes técnicos y otros que no son registrados por los indicadores dedicados a los rankings. Este importante cúmulo de información puede conferir a la respectiva universidad una mayor calidad que aquella que hoy se le confiere vía indicadores de ranking solamente. Más aun, los servicios de información de las universidades deben estar estrechamente vinculados a plataformas y bases de datos regionales o internacionales, y proveer a estas la información actualizada.

Desde la óptica institucional, existe un sin número de tareas a considerar. Para Bolivia, un modelo de universidad de clase mundial es posible alcanzar gradualmente, las direcciones universitarias deben adaptar sus planes para llegar a la excelencia (predefinida) con índices internacionales de calidad. Para ello se requiere una transformación en los perfiles de las direcciones universitarias en responsabilidades

ligadas a la investigación. Es particularmente importante crear una cultura de fomento a la investigación, la que no ha despegado en la mayoría de las universidades. La institucionalidad debe reconocer la necesaria relación entre “socios” de la investigación y al mismo tiempo definir claramente los indicadores que se utilizan, como por ejemplo superar la dificultad de calcular el indicador: investigador a tiempo completo.

También es tarea institucional superar la alarmante lógica existente que parece ser que los científicos no le dedican el tiempo necesario para entender los acontecimientos políticos. La situación actual de la universidad hace con que el aporte intelectual no llegue a la sociedad, no tiene los mecanismos, ya no es una institución de consulta; por ello se ha hecho menos propositiva. Parece que los problemas internos y la falta de recursos, le ha dado este destino.

Existen factores que limitan la calidad e intensidad de la formación e investigación, por ejemplo, la movilidad interna (nacional) de investigadores (y tesistas) es muy limitada; las actuales estructuras universitarias no pueden albergar ideas multidisciplinarias. No hay un tema encarado desde varias facultades o carreras, no hay una resolución que permita y no hay planes que lleven a la graduación en ese sentido; la acreditación ha sobrepasado la expectativa de planificar las actividades. Es urgente revisar los procesos de acreditación de universidades, facultades, programas.

El papel del Estado es fundamental, sobre todo en el financiamiento y la adopción de políticas de fomento e incentivo. Es reciente que el Estado ha decidido en invertir (de manera limitada) en investigación y ha lanzado un buen número de necesidades de algunas empresas para preparar proyectos de investigación, a la que seguramente se

adjudicaran algunos centros de investigación preparados, haciendo más grande la brecha entre los centros del país.

Existen acontecimientos que son importantes destacar al momento de caracterizar la situación actual y que atentan contra la universidad boliviana. Uno de ellos, la casi irreversible situación de haber ya perdido el aporte valioso que representaba el IDH en las arcas universitarias, que sobre todo financiaban numerosos proyectos de investigación y transferencia a todo nivel.

Eso, además de remarcar también el retiro de la mayor parte de la cooperación internacional que solventaba tales iniciativas (COSUDE, GIZ, Coop. Española y otras; o ASDI en el caso de la cooperación sueca que ha reducido en más del 56 % su valioso aporte (a la UMSA y la UMSS). En este contexto, resulta altamente auspicioso y esperanzador que para solventar los gastos y la inversión de las universidades acudir al fomento de las interrelaciones y nexos de beneficio mutuo más estrechos, entre las universidades con el sector productivo nacional.

Concluyo señalando lo que inicio esta presentación: “Generar en ellas un ambiente excitante, atractivo, riguroso y empoderante a estudiantes y profesores, capaz de garantizar calidad en la investigación y la enseñanza, generar y difundir nuevo conocimiento y formar profesionales bien calificados, para dar respuesta a los distintos desafíos económicos, sociales, ambientales actuales y futuros del país.”

Referencias

Aguirre Bastos, C. (2022). El Retorno del Socialismo en Bolivia: ¿Qué perspectivas?: Una Mirada desde el Futuro. En: Socialismo Democrático en el Nuevo Siglo: Opciones para América Latina. C. Brundenius y S. Bitar, Editores. Editorial Catalonia, Santiago de Chile.

Aguirre Bastos, C. (2022). ¿Hacia dónde van nuestras universidades? Foro de Prospectiva Universitaria. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa. 30 junio.

La Universidad en el Desarrollo de Bolivia

Albornoz, M., Osorio, L. (2018). Ranking de Universidades: calidad global y contextos locales. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS, vol. 13, núm. 37, pp. 13-51, 2018. Altbach, P.G. (2004). Globalization and the university: Myths and realities in an unequal world. Tertiary Education and Management 10(1):3-25. DOI: 10.1080/13583883.2004.9967114

Banco Mundial. (1999). 1998/99 World Development Report: Knowledge for Development. Washington.

Benedictus, R., Miedema, F. (2018). Redefine excellence: Fix incentives to fix science. University Medical Center Utrecht, the Netherlands.

Bitar, S. (2016a). Why and How Should Latin America Think about the Future, The Dialogue, Leadership for the Americas, Global Trends and the Future of Latin America, September 2016.

Bitar, S. (2016b). Las tendencias mundiales y el futuro de América Latina. CEPAL, Serie Gestión Pública #85, Santiago de Chile. de América Latina. Edición 2016. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40788/1/S1600740_es.pdf

Bitar, S., Máttar, J., Medina, J. (2021). El Gran Giro de América Latina: Hacia una región democrática, sostenible, próspera e incluyente. Programa Editorial de la Universidad del Valle, Colección Ciencias de la Administración. Cali, Colombia. 168 pp. Junio 2021.

CEPAL. (2022). Panorama Social de América Latina y el Caribe: La Transformación de la Educación como base del Desarrollo Sostenible. Comisión Económica para América Latina (LC/PUB 2022/15-1). Santiago.

De-Moya-Anegón, F., Herrán-Páez, E., Bustos-González, A.; Correa-Álvarez, E., Tibaná-Herrera, G., Rivadeneyra, F. (2021). Ranking iberoamericano de instituciones de educación

superior 2021 (SIR Iber). Granada: Ediciones Profesionales de la Información. ISBN: 978 84 120239 6 1 <https://doi.org/10.3145/sir-iber-2021>.

Albornoz, M., Osorio, L. (2018). Ranking de Universidades: calidad global y contextos locales. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, vol. 13, núm. 37, pp. 13-51, 2018.

De-Moya-Anegón, F., Herrán-Páez, E., Bustos-González, A., Correa-Álvarez, E., Tibaná-Herrera, G., Rivadeneyra, F. (2020). Ranking iberoamericano de instituciones de educación superior 2020 (SIR Iber). Granada: Ediciones Profesionales de la Información. ISBN: 978 84 120239 3 0 <https://doi.org/10.3145/sir-iber-2020>

Federkeil, G. et al. (2012): “Classifications and Rankings”, en F. A. Van Vught y F. Ziegele (eds.): *Multidimensional Ranking the Design and Development of U- Multirank*. Disponible en: <http://www.springer.com/us/book/9789400730045>.

FEM (2018). Foro Económico Mundial: Informe de riesgos mundiales 2018 (13.ª edición).

Glen J.C., Florescu, E., Millenium Team (2018). *State of the Future 19.0*, Proyecto Milenio, Washington DC.

Hicks, D., Wouters, P., Waltman, L., de Rijckeb, S., Rafolsc, I. (2015). Manifiesto de Leiden sobre indicadores de investigación. (Traducción al castellano de Hicks et al. (2015). The Leiden Manifesto for research metrics. *Nature*, 520, 429-431. www.ingenio.upv.es/manifiesto)

Marczak, J., Peter Engelke, P., Bohl, D. & Saldarriaga-Jiménez, A. (2016). América Latina y el Caribe 2030: Escenarios futuros, Banco Interamericano de Desarrollo y Consejo del Atlántico, en colaboración con el Centro Pardee.

Medina Vásquez, J. (2020) Abriendo caminos en la prospectiva de América Latina y el Caribe. Presentación al Webinar preparatorio del IX Congreso Centroamericano de Universidades. 12 mayo 2021. <https://congreso2021.csuca.org>

Petersen, I., Kruss, G., van Rheede, N. (2022). Strengthening the university third mission through building community capabilities alongside university capabilities. *Science and Public Policy*, Volume 49, Issue 6, December 2022, Pages 890–904, <https://doi.org/10.1093/scipol/scac036>

Salmi, J. (2009). The challenge of establishing World-Class universities. *World Bank Directions in Development: Human Development*. Washington D.C.

SCImago Research Group. (2014). <http://www.scimagolab.com>. <http://www.scimagoir.co>

Schaper-Rinkel, P., Weber, M., Wasserbacher, D., van Oost, E., Ordoñez Matamoros, G., Krooi, M., Hölsgens, R., Nieminen, M., Pelkonen, A.. (2018). Exploring the future of research. Trends and drivers in doing and governing research Deliverable D1.1 Stocktaking

report on results of FLAs and the state of the art in Research. RIF Research & Innovation Futures 2030. Report to the European Commission.

Stiglitz, J. (2020). Capitalismo progresista en la era del malestar. Editorial Taurus, 16 de enero 2020 (versión en español)

TWI2050 (2018). Transformations to Achieve the Sustainable Development Goals. World in 2050 initiative. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxemburg,

Habilidades metacognitivas en estudiantes de educación superior

Madai de los Ángeles Aramayo Chuquimia¹⁵

Resumen

Con esta investigación se pretende describir las habilidades metacognitivas en el contexto de la educación superior y su importancia. Teniendo en cuenta diversos estudios que hacen evidente la importancia del desarrollo de las habilidades metacognitivas porque se ha demostrado que son fundamentales para un aprendizaje autónomo y eficaz.

Considerando la falencia de los enfoques educativos en relación a las habilidades metacognitivas, fomentando aún una enseñanza tradicional que se basa en la transmisión de contenido teórico, estando ausentes las estrategias para promover un aprendizaje autorregulado. En esta investigación generaremos datos que permitirán identificar las habilidades metacognitivas relacionadas con un buen rendimiento académico, motivación, además de niveles de satisfacción con el propio aprendizaje. Así mismo, se describirán estrategias didácticas efectivas para fomentar el desarrollo de dichas habilidades.

Este estudio contribuirá a enriquecer el conocimiento hacer de las habilidades metacognitivas en el contexto de la educación superior, ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones y también intervenciones educativas, pretendiendo mejorar el rendimiento académico de los estudiantes, sino a su vez la experiencia educativa y profesional.

Destacamos el valor de formar estudiantes de educación superior preparados para enfrentar los constantes desafíos del mundo actual, teniendo un impacto positivo en su vida personal, profesional, además de bienestar emocional, contribuyendo también a un desarrollo integral y completo.

Palabras claves: Habilidades metacognitivas, Educación Superior, éxito académico.
Metacognition and Academic Success at the University Level

¹⁵ Universidad Mayor de San Andrés

Abstract

Metacognitive Skills in Higher Education Students

This research aims to describe metacognitive skills in the context of higher education and highlight their importance. Numerous studies have shown the crucial importance of developing metacognitive skills for autonomous and effective learning.

Given the shortcomings of traditional educational approaches, which focus on the transmission of theoretical content and lack strategies to promote self-regulated learning, there is a need to delve deeper into this topic.

This study will generate data that will allow us to identify the metacognitive skills associated with high academic performance, greater motivation, and levels of satisfaction with one's own learning. Likewise, effective didactic strategies to foster the development of these skills will be described.

The findings of this research will contribute to enriching the knowledge of metacognitive skills in the university context, providing a solid foundation for future research and educational interventions. The goal is to not only improve students' academic performance but also to enhance their educational and professional experience.

We emphasize the importance of educating higher education students who are prepared to face the challenges of the current world, which will have a positive impact on their personal, professional, and emotional well-being, thus contributing to a comprehensive development

Keywords: Metacognitive skills, higher education, academic achievement

Introducción

Actualmente la educación superior se está viendo enfrentada a uno de los mayores retos para estudiantes y educadores, que es la manera de promover la educación que no solo promueva la memorización de conceptos teóricos basados en un modelo de enseñanza tradicional, sino que los estudiantes también tengan habilidades de generar de manera autónoma el aprendizaje y puedan aplicarlo en su vida profesional.

Con el avance de la curricula crece también la complejidad de los contenidos que se deben aprender, junto a la necesidad de que los estudiantes vayan creciendo en su independencia académica, poniendo así en evidencia lo importante que son las habilidades metacognitivas para tener éxito académico y profesional.

La educación se va caracterizando por la complejidad a la hora de demandar habilidades cognitivas superiores, teniendo así a la metacognición como un elemento clave para el éxito académico y profesional. La competencia humana de analizar sus propios procesos de aprendizaje, planificarlos, monitorearlo y evaluarlos, es esencial a la hora de tener un aprendizaje autorregulado.

Estas habilidades no solo les proporcionan una mayor conciencia sobre cómo aprenden, sino que también les otorgan herramientas para mejorar y regular su rendimiento académico. En el ámbito académico, las habilidades metacognitivas han sido utilizadas con éxito para mejorar el aprendizaje, demostrando que los estudiantes que las desarrollan son más capaces de adaptarse a diferentes contextos y desafíos académicos.

Numerosas investigaciones han señalado que cuando los estudiantes aplican estrategias metacognitivas, no solo optimizan la forma en la que adquieren conocimientos, sino que también incrementan las capacidades de solución de problemas de manera más eficiente y de transferir el aprendizaje a situaciones nuevas.

Sin embargo, pese a la relevancia del estudio y formación en habilidades metacognitivas, las consecuencias en lo que a calificaciones se refiere de los estudiantes de educación superior, muestran las falencias que tienen los mismos para aplicar sus habilidades de manera eficaz. Lo que afectaría su paso de educación secundaria, con el bachillerato a la educación a nivel universitario, donde es evidente la mayor demanda que recibirán en su formación ya que los estudiantes tendrán que desarrollar más su autonomía.

La presente investigación pretende profundizar el conocimiento de las habilidades metacognitivas del ámbito de educación superior. Además, se tendrá un aporte de datos teóricos que contribuyan al diseño de nuevas estrategias pedagógicas más eficientes que vayan en favor de un aprendizaje autónomo y consciente, con el que los estudiantes se pueden adaptar a las demandas de la sociedad actual.

Metodología de análisis y recolección de datos Diseño de la Investigación

En la presente investigación se realizó una investigación de tipo descriptiva, buscando explorar y sintetizar la literatura existente sobre el desarrollo de habilidades metacognitivas en estudiantes de educación superior. Esto nos permitió identificar las principales tendencias, teorías y estrategias pedagógicas utilizadas en investigaciones anteriores.

Selección de la muestra

La muestra de este estudio estuvo conformada por investigaciones académicas publicadas en bases de datos científicas de reconocidas, como: Google Academis, Scopus, Dialnet, Scielo, Science Direct, entre otros.

Instrumentos de recolección de datos

Como principal instrumento de recolección de datos fue la revisión sistemática de investigaciones. Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de literatura en base a las palabras clave desarrolladas relacionadas con el tema de estudio.

Modelo de sustentación conceptual

Se utilizó un diseño descriptivo con una revisión sistemática de la literatura por la importancia de explorar y reunir el conocimiento ya existente sobre el desarrollo de habilidades metacognitivas, siendo este un tema con múltiples dimensiones. Con este enfoque pudimos observar las principales tendencias, teorías y estrategias pedagógicas utilizadas, lo cual es clave para guiar investigaciones futuras.

Resultados

Después de una revisión exhaustiva de literatura pertinente, se pretende motivar a los docentes a trabajar en función al desarrollo de las competencias metacognitivas de los universitarios, para poder contribuir en la mejora del rendimiento académico de los mismos, desarrollando herramientas que no sólo contribuyan con la autorregulación a nivel educativo, sino también a futuro a un nivel profesional.

El trabajar en habilidades metacognitivas en los estudiantes va en relación a una mejora en la educación, dejando de lado la enseñanza tradicional en donde los estudiantes se centran en aprender la teoría y replicar la información de memoria. Las habilidades metacognitivas contribuyen a que el alumno tome un rol participativo en su aprendizaje, por lo tanto, el nivel de la calidad del aprendizaje será mejor, ya que el contenido que sea recibido será más profundo y el estudiante tendrá más consciencia en la importancia del contenido. En el ámbito de la formación superior, el desarrollo de las habilidades metacognitivas resulta importante para promover un aprendizaje autónomo. Entonces, es importante contar con estrategias específicas para desarrollar las habilidades mencionadas y proponer métodos de evaluación para medir la presencia de dichas habilidades en los estudiantes universitarios.

Desarrollo de las habilidades metacognitivas

El fomentar el desarrollo de habilidades metacognitivas en estudiantes universitarios se sugiere lo siguiente:

Estrategias pedagógicas

- Aprendizaje basado en problemas (ABP): el presentar a los alumnos problemáticas complejas que requieran de un punto de vista crítico y habilidades de solución de problemas, lo que permitirá a los alumnos tomar consciencia de los procesos mentales involucrados para ajustar sus estrategias de aprendizaje.

Es un método que pone a los estudiantes en circunstancias en las que se les presentan problemas de la vida diaria, fomentando la colaboración y autonomía.

- Aprendizaje colaborativo: Promover el trabajo en grupos para que los estudiantes reciban retroalimentación en función a las ideas que tienen y poder aprender unos de otros. El trabajo en equipo contribuye a los estudiantes al compartimiento de ideas y conocimientos, lo que ayuda a la reflexión de los alumnos sobre sus propios procesos de pensamiento, esto

ayudará a los estudiantes a organizar sus ideas en función de mejorar el entendimiento con sus pares de manera clara y coherente.

- Uso de diarios reflexivos: Incentivar a los alumnos registren sus modos de aprendizaje, para que puedan identificar cuales les fueron útiles y cuales deberían ajustar en función a los objetivos que pretenden lograr.

- Modelado docente: los docentes también deben de mostrar las habilidades metacognitivas de manera que los estudiantes las puedan observar en base al ejemplo, al momento de dar una problemática podrían resolver el problema en voz alta o evaluar las tareas.

Entonces, el docente serviría de modelo para los estudiantes, ya que los mismos podrían aplicar y replicar las estrategias y ajustarlas a sus propios estilos de aprendizaje.

- Evaluación formativa: El utilizar evaluaciones que vayan en función a la reflexión y autoevaluación.

Entonces, fomenta la retroalimentación sobre su progreso, así verán las áreas de mejora y las que van bien, el participar en procesos de coevaluación los estudiantes entonces toman más consciencia de sus procesos de aprendizaje.

El aprendizaje colaborativo es una herramienta muy importante ya que los estudiantes podrán discutir sus propias estrategias de aprendizaje entre ellos. Según Paris & Winograd (1990), las discusiones en grupo permiten que los estudiantes tomen consciencia de diferentes puntos de vista que tienen para resolver problemas lo que aumenta la reflexión metacognitiva.

Tecnologías educativas

- Plataformas de aprendizaje en línea: realizar el uso de plataformas que permitan a los estudiantes acceder a recursos educativos que les permitan retroalimentación y evaluación en tiempo real.

- Herramientas de colaboración: Hacer el uso de herramientas como Padlet, Google Docs, donde permiten la colaboración en tiempo real.

- Simulaciones: Crear espacios en donde los estudiantes puedan experimentar diferentes escenarios en base a sus conocimientos y habilidades.

Ambiente de aprendizaje

- Clima en aula: El crear un ambiente de aula donde los alumnos se sientan cómodos y que dentro se van a respetar sus puntos de vista, hará que los mismos puedan expresar con mayor facilidad sus ideas y realizar preguntas.

- Autonomía: Los estudiantes con mayor grado de autonomía al seleccionar técnicas y estrategias de aprendizaje que se ajusten a su propio proceso.

- Relevancia: Los estudiantes tienen las herramientas para relacionar los contenidos aprendidos a su vida profesional y vida personal, aumentando así su nivel de motivación y compromiso.

Medición de Habilidades Metacognitivas

Es importante a su vez la evaluación de las competencias metacognitivas de los universitarios en el entorno de formación superior para así ver en función a qué habilidades se deben fomentar más en aula, se pueden hacer el uso de las siguientes herramientas: Cuestionarios y escalas

Existen diversos tipos de instrumentos que han sido diseñados para medir las habilidades metacognitivas, por ejemplo; Metacognitive Awareness Inventory (MAI), El cuestionario de Motivación y Estrategias de Aprendizaje (MSLQ, por sus siglas en inglés) estos cuestionarios nos permiten evaluar el nivel de conciencia que tienen los estudiantes sobre cada uno de sus procesos cognitivos y las estrategias de aprendizaje.

- El inventario de Estrategias Metacognitivas de Aprendizaje (MAI, por sus siglas en inglés), creado por Schraw y Dennison (1994), mide dos dimensiones de la metacognición: el conocimiento y la regulación metacognitiva. Siendo este el instrumento más utilizado al momento de hacer la medición de habilidades metacognitivas.
- El cuestionario de Motivación y Estrategias de Aprendizaje (MSLQ, por sus siglas en inglés) realizado por Pintrich, Smith, García y McKeachie (1991). Mide componentes motivacionales como estrategias de aprendizaje, incluyendo las habilidades metacognitivas.

Observación

La observación activa del desarrollo de los estudiantes en cuanto a sus tareas académicas permite a los docentes identificar cuáles son las estrategias que utilizan y si se presentan obstáculos cómo los solucionan. También se puede complementar esta información con la ayuda de entrevistas directas con los estudiantes.

Para una mejor organización a la hora de realizar observación directa, los docentes pueden realizar el uso de lista de cotejo para registrar cómo los estudiantes planifican sus tareas, si monitorean su progreso y finalmente si lo evalúan.

Análisis de Productos

La evaluación de la producción de los universitarios en relación con las tareas que se les asignan, como ensayos, proyectos escritos, entre otros, puede ofrecer información significativa sobre el manejo de las competencias metacognitivas de cada uno. Discusión y conclusiones

En esta investigación se ha abordado la importancia de conocer más y describir las habilidades metacognitivas en el contexto de la educación superior, resaltando la importancia

no sólo para el éxito académico, sino también para una formación holística de los estudiantes universitarios a largo plazo.

A lo largo del documento, se ha puesto en evidencia que la formación de estas competencias es importante para que los estudiantes puedan gestionar por ellos mismos sus estilos de aprendizaje, adaptarse a las demandas de los entornos académicos en los que se desarrollan, esto debido a que por la sociedad globalizada actual se hace cada vez más complejo el enfrentar las exigencias del mundo laboral de la actualidad.

Entonces, después de una revisión bibliográfica exhaustiva podemos evidenciar que el fomentar la formación de habilidades metacognitivas en estudiantes de formación universitaria es imprescindible a la hora de tener altos niveles en cuanto al éxito académico y su gratificación con el proceso de aprendizaje.

En primer lugar, es importante resaltar que las habilidades metacognitivas, que incluyen la organización, monitoreo y control del propio aprendizaje, son competencias que requieren de un nivel de formación sostenida. El desarrollar habilidades metacognitivas en la formación superior precisa un enfoque centrado en la reflexión, colaboración y autorregulación.

Esta investigación ha encontrado que muchos estudiantes que se encuentran en un nivel universitario enfrentan problemas a la hora de gestionar su propio aprendizaje, lo que resultaría en bajas calificaciones y por lo tanto baja motivación a la hora de aprender.

Estos datos ponen en evidencia la necesidad de formar nuevos enfoques pedagógicos, que dejen de lado la educación centrada en la memorización de contenidos y la reproducción de los mismos y cambiemos por un modelo donde se fomente el papel activo de los estudiantes en su propio aprendizaje. Con el uso de las estrategias como el modelado docente, diarios de aprendizaje, los estudiantes pueden desarrollar herramientas que les permite autogestionar su aprendizaje.

Así mismo, se ha encontrado que existe una gran importancia en la incorporación de estrategias educativas que vayan en favor de la formación de estas habilidades. Por lo tanto, es imprescindible que las instituciones de formación superior reformulen sus currículas y vayan en relación a incentivar la formación de competencias metacognitivas en todas las áreas de formación.

En lo que a las estrategias didácticas se refiere, con la revisión bibliográfica hemos encontrado que las actividades que involucran a sus compañeros de estudio, la enseñanza de técnicas metacognitivas son clave para fomentar estas competencias en los alumnos. Aun así, es importante que los docentes también reciban una formación y actualización a cerca de la importancia del desarrollo de la metacognición en aula.

Es importante también resaltar la evaluación de las habilidades metacognitivas. los datos encontrados han resaltado la importancia de desarrollar a su vez más instrumentos que contribuyan con la obtención de nuevos datos que midan también la autoeficacia, autosatisfacción y motivación de los alumnos.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se debe pensar en que las competencias metacognitivas tienen importancia no solo en el ámbito académico. Estas habilidades además de preparar a los estudiantes para los retos educativos, también les dan herramientas para mejorar sus comportamientos ante el manejo de estrés, ansiedad y otros aspectos relacionados con su bienestar emocional. El promover un aprendizaje significativo y autorregulado va en favor al desarrollo holístico de los alumnos, formándolos para su vida profesional y personal.

Para concluir, esta investigación puso en evidencia la relevancia de conocer a cerca de las habilidades metacognitivas en la formación superior y la necesidad de incluirlas efectivamente en los procesos de enseñanza – aprendizaje. Con el desarrollo de las exigencias del mundo actual, el mundo laboral es cada vez más competitivo, lo que hace que las instituciones académicas deban adaptarse a nuevas realidades que preparen a sus estudiantes al nivel y exigencias de la sociedad moderna. El promocionar el conocimiento

de estas competencias es imprescindible para la formación de futuros profesionales que se adapten con facilidad y contribuyan de manera sustancial a la sociedad.

Referencias bibliográficas

- Biggs, J. (2001). Mejorando el aprendizaje: ¿Una cuestión de estilo o de enfoque? En R. J. Sternberg & L. Zhang (Eds.), *Perspectivas sobre el pensamiento, el aprendizaje y los estilos cognitivos* (pp. 73-102). Lawrence Erlbaum Associates.
- Boekaerts, M. (1999). Aprendizaje autorregulado: Dónde estamos hoy. *International Journal of Educational Research*, 31(6), 445-457.
- Brown, A. L. (1987). Metacognición, control ejecutivo, autorregulación y otros mecanismos más misteriosos. En F. E. Weinert y R. Kluwe (Eds.), *Metacognición, motivación y comprensión* (pp. 65-116). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cano García, M. E., & Justicia Justicia, F. (1993). Estilos cognitivos y estrategias de aprendizaje. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 46(4), 157-167.
- Chirinos, L. (2008). La Metacognición En Los Estilos De Aprendizaje De Estudiantes De Postgrado Durante La Elaboración Del Trabajo De Grado. *Revista Estilos de Aprendizaje*, 11(22), 1650-1680.
- Efklides, A. (2011). Interactions of metacognition with motivation and affect in self-regulated learning: The MASRL model. *Educational*
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.
- Kuhn, D., & Dean, D. (2004). Metacognition: A bridge between cognitive psychology and educational practice. *Theory into Practice*, 43(4), 268-273.
https://doi.org/10.1207/s15430421tip4304_4

Mato-Vazquez, D.; E. Espiñeira Y V. López-Chao (2017): «Impacto del uso de estrategias metacognitivas en la enseñanza de las matemáticas»,a?id=13253901006 [2018- 12-12].

Paris, S. G., & Winograd, P. (1990). How metacognition can promote academic learning and instruction. En B. F. Jones & L. Idol (Eds.), *Dimensions of thinking and cognitive instruction* (pp. 15-51). Lawrence Erlbaum Associates.

Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33-40.

Pujol, J. M. (2008). Estilos de aprendizaje, frecuencia de uso de estrategias metacognitivas y su interacción en la búsqueda de información precisa en hipermedios. *Revista de Investigación Educativa*, 26(2), 229-250.

Schraw, G. (1998). Promoviendo la conciencia metacognitiva general. *Instructional Science*, 26(1-2), 113-125.

Veenman, M. V. J., van Hout-Wolters, B. H. A. M., & Afflerbach, P. (2006). Metacognición
y

aprendizaje: Consideraciones conceptuales y metodológicas. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.

Vrugt, A., & Oort, F. J. (2008). Metacognition, achievement goals, study strategies and academic achievement: pathways to achievement. *Metacognition and Learning*, 3(2), 123-146.

Zapata-Zapata, A., & Vesga-Bravo, G. J. (2023). Habilidades Metacognitivas En Los Procesos De Aprendizaje En La Educación Superior: Una Revisión Sistemática 2017- 2022. *Psicología UNEMI*, 7(13), 73-93. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8379vol7iss13.2023pp73-93p>

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice*, 41(2), 64-70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2

Psicopoesía Ecológica

Jackeline Leonor Barriga Nava¹⁶

Resumen

El problema de la investigación radica en la deficiencia de la educación en valores, donde no se aprovechan adecuadamente herramientas innovadoras y pedagógicas como la poesía didáctica. Además de mejorar la comprensión lectora, la poesía fomenta la concreción de acciones. Con el apoyo de la psicología educativa, esta herramienta se integra al desarrollo sostenible global en temas ecológicos. El objetivo de la investigación es crear un método científico sobre educación en valores tomando en cuenta estrategias didácticas a través de la poesía didáctica para aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionado a la ecología. La investigación es exploratoria, cualitativa, constructivista y cuasi-experimental, los métodos son el análisis teórico y prueba piloto en la cual fue implementada la propuesta a tres grupos etarios: 15-21 años, 35-40 años y un grupo zonal (30 personas). La propuesta fue validada por expertos y consta de tres estrategias: 1) comprensión lectora, 2) implementación de acciones sostenibles 3) creación de redes de activismo. Los procedimientos incluyeron convocatoria a poetas internacionales para recabar poemas didácticos, revisión de literatura; desarrollo de estrategias a través de análisis teórico; implementación de prueba piloto; recolección de datos; análisis e interpretación y conclusiones. En la convocatoria de poemas se seleccionaron a 59 poetas, 60 poemas de 32 países;; el análisis teórico incluyó autores principales como Jean Piaget, David Ausubel, Lev Vygotsky, Jerome Bruner y la teoría del procesamiento de información; la efectividad de la propuesta es de 20 %.

Palabras clave: Psicología educativa, poesía didáctica, ecología.

¹⁶ Presentado para la evaluación del proyecto de investigación educativa

Abstract

Ecological Psychopoetry

The problem of the research lies in the deficiency of education in values, where innovative and pedagogical tools such as didactic poetry are not properly used. In addition to improving reading comprehension, poetry encourages the completion of actions. With the support of educational psychology, this tool is integrated into global sustainable development on ecological issues. The objective of the research is to create a scientific method on education in values taking into account didactic strategies through didactic poetry to contribute to the Sustainable Development Goals related to ecology. The research is exploratory, qualitative, constructivist and quasi-experimental, the methods are theoretical analysis and pilot testing in which the proposal was implemented to three age groups: 15-21 years, 35-40 years and a zone group (30 people). The proposal was validated by experts and consists of three strategies: 1) reading comprehension, 2) implementation of sustainable actions 3) creation of activism networks. The procedures included calling for international

poets to collect didactic poems, literature review; strategy development through theoretical analysis; pilot test implementation; data collection; analysis and interpretation and conclusions. In the call for poems, 59 poets, 60 poems from 32 countries, were selected; the theoretical analysis included main authors such as Jean Piaget, David Ausubel, Lev Vygotsky, Jerome Bruner and information processing theory; The effectiveness of the proposal is 20%.

Keywords: Educational psychology, didactic poetry, ecology.

Introducción

El proyecto “Psicopoesía ecológica”, es una propuesta innovadora, educativa y cultural, donde une la Literatura-Ecología-Ciencia, literatura porque se utiliza la poesía específicamente la poesía didáctica como herramienta fundamental del proyecto; ecología porque es el tema de emergencia y ciencia porque se utiliza los métodos y técnicas que proporciona la psicología educativa por un ser área del conocimiento que estudia el cómo un ser humano aprende. En este caso se proporciona un método científico para aplicar de manera objetiva la poesía didáctica en la educación en valores.

Hay que considerar que el problema ambiental que sufre Bolivia y el mundo es de interés de todos los seres humanos por ser el elemento fundamental de vida y salud para la sobrevivencia del humano, por ese motivo se considera una temática de urgencia para abordar por la velocidad autodestructiva que practica el hombre contra su propio hábitat, no existe equilibrio entre el hombre, animales y naturaleza, por ese motivo es importante tomar acciones prontas desde la comunidad incorporando en la formación de las personas valores ecológicos para el bien común, pero con un método científico efectivo puesto que la poesía como herramienta del proyecto es subjetiva, sin embargo con un método se dará la objetividad que precisa el proceso educativo enseñanza aprendizaje y además pueda servir para que implemente cualquier persona sin necesidad de ser experta en tema educativo.

Asimismo, se considera los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS relacionado a la ecología que son 15 de 17 ODS y 86 de las 169 metas.

El daño ambiental en el planeta aumenta a una velocidad no vista antes, es decir es una emergencia que escritores, profesionales, poetas y cualquier ser humano sea parte de este movimiento y unirse con acciones que contrarresten incendios forestales, cambio climático, pérdida de biodiversidad, contaminación, desechos y todo aquello que ponga en peligro la salud y vida de los seres vivos y el equilibrio entre la naturaleza y el hombre. A continuación, sólo como ejemplo se mencionan

algunos sucesos que son latentes y considerados problemas globales en cuanto a la ecología:

En Bolivia los incendios forestales en 10 años perdieron 40.8 millones de hectáreas de bosques y pastizales por incendio (ANF, 2024). Solo en la gestión 2024 en 2 meses se llegó a una pérdida de 10,1 millones de hectáreas, 58 % corresponden a bosques (Fundación Tierra, 2024) y con ello animales vertebrados, invertebrados, árboles y otras especies de vida.

Por otro lado, existe la presencia de la contaminación atmosférica es el mayor contribuyente ambiental a las muertes prematuras, al causar unos siete millones de ellas cada año. Una cuarta parte de la carga mundial de morbilidad se atribuye a factores de riesgo ambientales evitables, la mayoría por la exposición a la contaminación y a las sustancias tóxicas en agua y suelo, los más afectados son los grupos y las comunidades pobres, discriminadas y marginadas. En los países de ingreso bajo y mediano están generándose nuevos sitios contaminados debido a la industrialización (por ejemplo, las centrales eléctricas de carbón) y al extractivismo (por ejemplo, la extracción de oro artesanal y en pequeña escala). En numerosos Estados, la limpieza y el saneamiento se retrasan por la falta de fondos disponibles (ONU, 2022) o la corrupción estatal y judicial sobresale a estos sucesos.

Muchas de las injusticias ambientales son por las transnacionales, ya que el consumo en los estados ricos tiene graves consecuencias para la salud, los ecosistemas y los derechos humanos en otros estados. Los estados de ingreso alto siguen exportando irresponsablemente materiales peligrosos, junto con los riesgos sanitarios y ambientales que acarrear a países de ingreso bajo y mediano ya que su reglamentación es menos estricta y su aplicación es limitada. Por otro lado, las empresas son otras instancias que violan todo derecho humano y ambiental (ONU, 2022).

Por lo mencionado, existe la necesidad de efectuar proyectos que prevengan en el futuro estos acontecimientos, por ese motivo el presente proyecto une la Literatura- Ecología-Ciencia, está dirigido a personas a partir de los 15 años, porque este grupo tienen características para hacer cambios y llegar a las personas como ser (BID, 2018): son disruptores; tienen un pensamiento crítico, flexivo; son comunicadores estratégicos; son empáticos; hacedores determinados; apasionados; se puede cultivar su interior más fácilmente. Con relación a los adultos presentan responsabilidad de sus acciones, es consciente de los límites, tiene autonomía y capacidad de razonar (Gómez, 2021).

Desde un aspecto legal nacional e internacional, Bolivia apoya la educación en valores, Madre Tierra y medio ambiente, se menciona en la Constitución Política del

Estado de Bolivia, artículo 9 numeral 6; artículo 30 numeral 10; artículo 33; artículo 34. En cuanto a la educación menciona en art. 80 numeral 1; artículo 108 numeral 16. (Infoleyes, 2009).

También se otorga atribuciones al Tribunal Agroambiental, según artículo 89 numeral 1; artículo 255 numeral 8. En cuanto a las competencias del Estado con relación al medio ambiente señala el artículo 298 numeral 20; artículo 299 inciso II numeral 1; artículo 302 inciso I numeral 5; artículo 304 Inciso II numeral 4; artículo 304 inciso III numeral 3. Respecto a la económica plural comprende según el artículo 312 inciso III; artículo 316 numeral 6; artículo 319 inciso I; art 337. Desde el artículo 342 hasta el artículo 358 trata sobre la protección del medio ambiente y todo aquello que afecte a su bienestar integral, asimismo en el artículo 378 inciso I; artículo 391 inciso I; artículo 402 numeral 1 (Infoleyes, 2009).

Con base a la Constitución boliviana se tiene distintas leyes que protegen el medio ambiente, considerando normativas internacionales donde participa Bolivia, estas son (MMAA, 2015):

En cuanto al marco legal ambiental, está en vigencia la Ley de Medio Ambiente N° 1333.

En el marco supranacional Bolivia presenta importantes Convenios internacionales, algunos de ellos son: Convenio marco de las naciones unidas sobre el cambio climático; Convenios de Viena y Montreal para la protección de la capa de Ozono; Protocolo de Bioseguridad de Cartagena; Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional como Hábitat de Aves Acuática (RAMSAR), otros.

En cuanto a la educación en valores según la Ley 070 Avelino Siñani Elizardo Pérez señala en el artículo 3 numeral 11; artículo 4 numeral 2 y numeral 5 y numeral 11; artículo. 5 numeral 8 numeral 9 numeral 12. En artículos transitorios en la décima segunda señala que debe constituir una prioridad del Estado implementar en el Sistema Educativo, educación en derechos de la Madre Tierra, educación en valores y ética (...) (Gaceta, 2010).

De esta manera el objetivo del proyecto es crear un método científico sobre educación en valores tomando en cuenta estrategias didácticas a través de la poesía didáctica para aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionado a la ecología.

En otras palabras, se quiere conocer cómo las personas pueden aprender valores referente a la ecología, por ese motivo se propone un método científico considerando estrategias didácticas con el uso de la poesía didáctica, porque la

poesía además de ser musical y artística, resume información, al ser así es corta y fácil de leer, pero es subjetiva en contenido y no basta leer poemas para educar, para ello se necesita un método que asegure discernir un conocimiento y aplicar ese conocimiento para formar valores; asimismo para determinar la efectividad de la propuesta se realiza una prueba piloto a tres diferentes grupos de personas, para conocer la efectividad o la ineficacia según a las

características integrales que poseen; además pueda ser implementado por cualquier persona que no necesariamente sea educador, puede ser poeta, escritor o cualquier persona interesada en aplicar la poesía.

Con ello, se está aportando a diferentes áreas del saber cómo la psicología, literatura, educación y ecología como también a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, considerando que la ODS tiene un carácter multiactor. El sector público y las organizaciones son agentes clave en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, pero los ciudadanos también lo son, todos son parte de la solución. Las iniciativas de las Naciones Unidas ponen a disposición de todos los ciudadanos algunas guías con acciones muy sencillas que, introduciéndolas en una rutina, pueden contribuir a la Agenda 2030, entre ellas acciones a favor de la ecología (Santillana, 2022).

Metodología

La investigación es exploratoria, cualitativa, longitudinal.

Presenta paradigma constructivista, porque se basa en cómo los individuos construyen conocimiento a través de experiencias y contextos sociales.

El diseño es cuasi-experimental, porque comprende intervención sin aleatorización, comparación entre grupos y observación a lo largo del tiempo.

Los métodos utilizados son”

Análisis teórico: para que el proyecto tenga mayor sustento, se explica a través de un marco teórico los conceptos y se relaciona cada variable considerando la psicología, psicología educativa en cuanto a los métodos, técnicas según las teorías de Jean Piaget (1976), David Ausubel (1983), Lev Vygotsky (1978), Jerome Bruner (2015) y la teoría de procesamiento de información; asimismo se toma en cuenta la educación en valores, poesía, poesía didáctica y las ODS referido a la ecología con su respectiva bibliografía.

Prueba piloto: las estrategias del proyecto se aplicaron a tres grupos de personas de distintas edades 1) 15 a 21 años 2) 35 a 40 años 3) grupo zonal, el tiempo total de aplicación fue 1 año y 6 meses.

Validación de expertos: Las estrategias desarrolladas fueron sometidas a validación por un grupo de expertos en psicología educativa y ecológica para asegurar su pertinencia y coherencia con los objetivos planteados. Los validadores son el Dr.

Antonio Saavedra (Bolivia), Dr. Muhammad Shanazar (Pakistán) y Msc. José Chuquimia (Bolivia).

El proceso de la investigación es:

Lanzamiento de la convocatoria a poetas del mundo.

Revisión de literatura: Estudio de teorías relevantes para el desarrollo de estrategias y/o propuesta.

Desarrollo de estrategias: Formulación de tres estrategias basadas en el análisis teórico.

Implementación de prueba piloto: Aplicación de estrategias (propuesta) a los tres grupos de diferentes edades.

Recolección de datos: Observación y recolección de información sobre la efectividad de las estrategias en cada grupo.

Análisis e interpretación: Evaluación de resultados y comparación de experiencias entre grupos.

Conclusiones: Redacción de hallazgos y sugerencias para futuras investigaciones.

Resultados

Resultados de la selección de poemas didácticos

Se lanzó la convocatoria a poetas internacionales, para la construcción de poemas en idiomas español e inglés, específicamente relacionado a la ecología boliviana o elementos ecológicos con importancia mundial como el agua.

La selección de los poemas estuvo a cargo por los mismos profesionales que validaron el método científico. Para la selección de los poemas se consideró los siguientes parámetros y variables: 1 punto: Completamente en desacuerdo. 2 puntos: En desacuerdo. 3 puntos: Neutral. 4 puntos: Completamente de acuerdo. 5 puntos: De acuerdo. Las variables son: a. Intención educativa b. Fomenta la reflexión y el análisis c. Transmite valores y moral d. Originalidad en la presentación e. Impacto emocional.

Se seleccionaron 59 poetas, 60 poemas de 32 países: Alemania, Argentina, Bolivia, Brasil, Camerún, Canadá, Chile, Colombia, Cuba, Dinamarca, Ecuador, El Salvador, España, Estados Unidos, Grecia, Holanda, India, Indonesia, Israel, México, Nepal, Nicaragua, Panamá, Perú, Puerto Rico, Reino Unido, República Dominicana, Rumania, Serbia, Taiwán, Trinidad y Tobago, Turquía.

El proyecto concluyó con nueve auspiciadores: Academia Boliviana de Educación Superior (ABES); Colegio de Psicólogos de Bolivia, Gobierno Autónomo Municipal de La Paz (GAMLP), Coordinadora en Defensa de la Madre Tierra (CODMA), Fundación Especial de Medio Ambiente (FUNEMA-Colombia), Centro de Conocimiento Integral y de Innovación (Cii), Voluntarios de Bienestar Animal Integral, Movimiento Acción de Paz (Argentina), Organización Humanitaria por La Paz (IOPSH Marruecos).

Resultados del análisis teórico para construcción de estrategias (propuesta): Estrategia 1: Comprensión lectora de poemas

Enfatizando en las estrategias, específicamente la 1 se considera cuatro métodos lógicos de la psicología educativa estas son: el inductivo (el participante compara el contenido del poema con la realidad), deductivo (comprueba la veracidad del contenido del poema identificando al sujeto del poema y relacionando el contenido con ese sujeto), analítico (hace

una clasificación del contenido, de sus sentimientos y los explica) y sintético (llega a conclusiones a través de la evaluación) como propone la Escuela de Perfeccionamiento Técnico (2009); en este último punto también se logra por parte del participante que traduzca el conocimiento adquirido en términos lingüísticos a través de dibujos, dramatizaciones, periódicos murales enunciados o frases como señala Bruner (2015) entre las actividades que debe considerar el facilitador; entonces, según a la creatividad del facilitador este puede hacer un libro de frases de los participantes, rescatando los dibujos entre otros productos y resultados que extraiga de la evaluación. Estas acciones son muy importantes, porque el fin es que el participante comprenda el contenido y sus sentimientos lo cual facilita para que identifique sus valores, tomando en cuenta conocimientos previos, lo cual ayuda a formar otros conocimientos como señala Vygotsky (1978),

Asimismo, según Ausubel (1983), el participante logra descubrir el contenido, sentimientos y valores relacionando sus conocimientos previos y al asimilarlos el participante da un significado propio al contenido; es decir logra un aprendizaje significativo que en este caso lo usará a favor de acciones ecológicas en las estrategias 2 y 3.

Piaget (1976), hace mención sobre la asimilación y acomodación, en este caso el participante al asimilar el contenido, sentimientos y valores que proporcionan los poemas según a sus conocimientos previos, deberá hacer un ajuste a sus estructuras cognitivas porque se encontrará con desequilibrios de ambos elementos por ejemplo: lo correcto es que no exista destrucción de la naturaleza pero a través de la asimilación de los poemas se dará cuenta que sí existe esa destrucción, entonces deberá realizar una reestructuración de ese contenido a través de la implementación de acciones que se solicita en las estrategias 2 y 3, todo lo asimilado, comprendido, aprendido el participante debe aplicarlo en la realidad.

Estrategia 2 y 3: Implementación de acciones sostenibles y crear redes de activismo

La teoría de Vygotsky (1978), sobre todo enfatiza en la estrategia 1 y 2 puesto que todas las actividades son netamente grupales como señala el autor, se considera que los niveles interpsicológicos e intrapsicológicos alcanzan un alto nivel en el aprendizaje a través de contextos sociales de cooperación puesto que los valores, habilidades y conocimientos de los participantes se verán fortalecidos por actividades grupales que entre todos aprenderán hacerlo y a potenciarlos.

Estas acciones de llevar la teoría a la práctica desarrollan mayor motivación por la acción misma que presenta cada actividad con un objetivo común; entonces se llega a reforzar la memoria a largo plazo lo cual se mantendrá a través del tiempo y se refuerza el procesamiento de la información otorgada desde la poesía didáctica, porque es una práctica reiterada aplicando una y otra vez acciones hacia la ecología.

Entonces:

La estrategia 1 se centra en consolidar la comprensión lectora de poemas para que la interpretación sea correcta y no exista distorsiones del mensaje de la poesía, se debe considerar que la poesía muchas veces maneja palabras de baja frecuencia por ese motivo el

uso del diccionario es importante, para adquirir la información correcta y este uso del diccionario evita interpretaciones erróneas de la palabra, por otro lado el participante identifica el sujeto de quien se habla en el poema lo cual es importante porque ya existiría la relación de los adjetivos, frases u otros elementos referente a ese sujeto; otra característica importante de esta estrategia es identificar los sentimientos porque eso es la poesía refleja sentimientos y debe llegar a la sensibilidad del ser humano, pero hay que realizar de manera consciente por ese motivo el tratar de explicarlos es fundamental; con relación a la evaluación en esta estrategia es reescribir los poemas, se ha considerado este tipo de evaluación porque clarifica lo que se entendió del poema en las propias palabras, criterios y valores del participante; asimismo se trabaja con el pensamiento y reescribiendo el

participante está volviendo a evaluar su propio conocimiento, con ello se está fortaleciendo un conocimiento, un sentir, un valor, un entender. Al final el facilitador tendrá resultados y producto de manera escrita, en dibujos, dramatizaciones y periódicos murales.

El facilitador puede quedarse en esta primera estrategia puesto que está asegurando que se llegó a un intelecto, pero si quiere continuar, la estrategia 2 consta que los participantes con ese entendimiento, comprensión, sensibilización que se obtuvo de la estrategia 1 propongan acciones en favor de la naturaleza tomando en cuenta su aplicación en el hogar, barrio, en algún lugar específico, etc., tratando de incluir a otras personas, de sumar sin importar la cantidad, incluso puede ser a una sola persona, la propuesta debe ser coherente y accesible de manera individual o grupal y se debe aplicar en 2 a 3 meses; es decir que con estas acciones los valores se estarían convirtiendo en hábitos y cumpliendo la premisa de lo explica las teorías estudiadas. En caso de ser la propuesta de tipo grupal, el facilitador buscará un líder el cual será el responsable de hacer el seguimiento, lo cual es fundamental para que se consigan los resultados esperados, además el líder será el garante de medir el compromiso y responsabilidades de cada miembro del grupo, como es netamente práctico los resultados se pondrán en una revista digital para dar a conocer a la ciudadanía o considerar estas propuestas las cuales pueden ser aplicadas por otras personas.

La estrategia 3 consiste en convertir estas acciones en un activismo sobre la base de la experiencia adquirida en la estrategia 1 y 2; es decir de manera constante en el tiempo y con impacto social consolidando la creación de un colectivo formal al servicio de la ciudadanía, siendo así se puede invitar a otras personas y profesionales para la realización de distintas actividades como conferencias, cursos cortos, talleres, realización de poemarios, se puede ingresar a los colegios, entre otras instancias utilizando la poesía como herramienta didáctica entre otros elementos, con ello se está llevando la palabra a la acción o la poesía a la acción.

Formar valores no se trata de una sesión, formar valores requiere tiempo, constancia y aplicar de manera individual a la vida para llamarlo “valor”.

Asimismo, se ha considerado en la propuesta de estrategias didácticas acciones de la investigadora.

Propuesta: Estrategias Didácticas

Estrategia 1: Comprensión lectora de poemas

Objetivo: Consolidar la comprensión lectora de poemas para interpretar de manera acertada el contenido y significado de los poemas.

Número de participantes: 10 Tipo de trabajo: Individual Tiempo: 3.30 horas Procedimientos:

- 1.- El facilitador debe considerar para esta estrategia tres componentes: Introducción, cuerpo y conclusiones.
- 2.- El facilitador debe evaluar los conocimientos previos de los participantes, con preguntas relacionadas al tema de manera escrita o verbal con lluvia de ideas.
- 3.- El facilitador escoge un poema y proporciona a los participantes elementos para que lean tomando en cuenta el ritmo, velocidad y la entonación.
- 4.- De manera grupal todos leen un poema considerando los elementos de ritmo, velocidad y entonación, repitiendo las veces que el facilitador considere necesario.
- 5.- El participante escoge tres poemas que le agrade y empieza a leer de manera individual.
- 6.- Si existen palabras que no entiendan los participantes, deben utilizar el diccionario.
- 7.- Identificar en los poemas los sujetos a quien se refiere el poema.
- 8.- Identificar los sentimientos generales que los poemas hacen sentir o transmiten al participante.
- 9.- El participante debe dividir en sentimientos positivos y negativos.
- 10.- Según los sentimientos mayoritarios tratar de reflexionar el porqué de esos sentimientos de manera escrita. Preguntándose en todo momento porqué siento pena, porqué siento...
- 11.- Evaluación cualitativa: El facilitador solicita a los participantes reescribir de manera individual el contenido y/o mensaje de los tres poemas en uno solo de manera libre estos pueden ser en 1) mediante dibujos, 3) periódicos murales 4) dramatización del poema, con el objetivo de dar mayor clarificación al contenido, en la cual debe tomarse en cuenta 1) mensaje positivo hacia los elementos de la naturaleza únicamente según a los poemas que se ha leído 2) valores, 3) sentimientos, 4) enunciados y frases según al contenido de los poemas.

Estrategia 2: Implementación de acciones sostenibles

Objetivo: Proponer e implementar acciones y/o actividades individuales o grupales para mantener, erradicar, prevenir, mejorar el bienestar de la naturaleza.

Número de participantes: 10

Tipo de trabajo: Individual o grupal Tiempo: 2 a 3 meses Procedimientos:

- 1.- Terminado la primera estrategia se debe volver a reunir a los participantes para que realicen una propuesta con relación al bienestar natural, pueden ser aplicado en su zona, un parque o lugar en particular.
- 2.- La propuesta debe contener los siguientes puntos: Introducción, problema, objetivos, actividades, tiempos de las actividades, responsables, presupuesto básico, cronograma.
- 3.- El facilitador debe revisar la coherencia y la accesibilidad de la propuesta y con ello aprobar.
- 4.- El facilitador debe hacer firmar un acta de compromiso a todos los participantes para el cumplimiento de las actividades las cuales deben realizarse en un tiempo de 2 a 3 meses
- 5.- Si el trabajo es grupal el facilitador debe identificar un líder según al grupo que está trabajando si son estudiantes de alguna instancia educativa el líder puede ser un profesor, si es un colegio de profesionales o grupo vecinal el presidente puede ser el líder, todo ello para que se realice el seguimiento de las actividades y hacer cumplir las responsabilidades de los participantes.
- 6.- Las propuestas, procedimientos y resultados obtenidos se pondrán en una revista digital para dar a conocer a la ciudadanía.
- 7.- Evaluación cualitativa: presentación de resultados tangibles y probatorios.

Estrategia 3: Crear redes de activismo

Objetivo: Creación de redes de activistas a favor de la naturaleza. Número de participantes: 10

Tiempo: Indefinido

Procedimientos:

- 1.- Con las personas más comprometidas las cuales resaltarán según la estrategia 2, el facilitador organizará con ellos diversas actividades donde se incluyan otras personas, estas actividades pueden ser: invitación a profesionales, colectivos, realizar conferencias virtuales o para dar continuidad a las propuestas de la estrategia 2.
- 2.- Cada integrante debe realizar flyers que concienticen a la ciudadanía y compartir en redes sociales.
- 3.- Consolidar el grupo creando un colectivo con nombre, logotipo y objetivos concretos.
- 4.- Evaluación cualitativa: según al número de actividades que se efectúe de manera trimestral, semestral o anual, las cuales deben tener un impacto social.

Resultados de la implementación:

Estrategia 1: Comprensión lectora de poemas

Dentro de los resultados del grupo 1, personas de 15 a 20 años realizaron un periódico mural con la inclusión de bastantes dibujos, frases, referidos a la contaminación ambiental; asimismo, como segundo resultado es un poema sobre el gato montés, el árbol tajibo y la reserva de Toro Toro, la construcción de este poema presenta bastante profesionalismo, por la rima versada, donde refleja la grandiosidad de estos tres elementos y también existe una reflexión, lo cual es positivo para ahondar en el problema e introversión de la realidad; por otro lado, la poesía en prosa se caracteriza por su reflexión hacia el ser humano con la naturaleza.

En el grupo 2 correspondiente a las personas adultas de 35 a 40 años, realizaron una reflexión referida al reciclaje y un cuento donde relacionan el ser humano con la naturaleza, por lo cual se puede confirmar que existió una asimilación de la información sobre el cuidado del medio ambiente, por la relación y conclusión que extrajeron de los poemas leídos.

Con relación al grupo vecinal también se observa dibujos y un poema como resultado de la creación de los participantes, donde también se refleja una reflexión sobre la importancia que tiene la naturaleza.

En general, se puede concluir de los tres grupos que existió la asimilación de la información otorgada a través de los poemas didácticos, pero también hubo comprensión, entendido como la capacidad de “entender” el significado de la información, “relacionarla” con conocimientos previos y “explicarla” en las propias palabras (Palacios, 2015), por lo cual se construye un conocimiento, y por tanto, la posibilidad de comprender la realidad (Ramírez y Castro, 2011, p. 11). Estos resultados confirman la comprensión y conocimiento que adquirieron los participantes ya que cumplen con las variables mencionadas. Asimismo, se puede observar en los resultados, donde presentan elementos de crítica, creatividad, síntesis, se mencionan valores y poseen un mensaje positivo hacia el medio ambiente; el tipo de comprensión que se dio lugar es la comprensión teórica.

La "comprensión teórica" se refiere a la capacidad de entender y asimilar conceptos, principios o ideas de manera más abstracta y conceptual, en lugar de centrarse en su aplicación práctica inmediata. En el contexto de la educación y el aprendizaje, la comprensión teórica implica entender los fundamentos y las relaciones entre las ideas, teorías o conceptos sin necesariamente aplicarlos de inmediato en situaciones prácticas (Ramírez y Castro, 2011, p. 98).

Se debe considerar que el objetivo del proyecto es que los participantes puedan aplicar la teoría, para consolidar una conducta a través de los valores que incluyan en su pensamiento. También se debe resaltar que la teoría por sí sola puede ser útil para comprender conceptos abstractos, pero si no se aplica en la práctica, su utilidad puede ser limitada. La falta de aplicación práctica puede hacer que el conocimiento no se traduzca en resultados tangibles o beneficios concretos.

Con el tiempo, si un conocimiento no se aplica ni se actualiza con la práctica, puede perder relevancia. Las teorías deben ser probadas y refinadas mediante la aplicación práctica para mantener su pertinencia y utilidad en el mundo real; asimismo, la teoría sin validación

empírica puede ser cuestionable en términos de su veracidad, fiabilidad y puede limitar el desarrollo de soluciones prácticas para problemas reales. La aplicación práctica proporciona una oportunidad para probar y validar la teoría en situaciones reales, lo que fortalece su base, credibilidad y permite identificar desafíos, generar ideas y diseñar soluciones efectivas.

Otras variables que resaltan comparando los tres grupos de trabajo en esta primera estrategia, sobresale el grupo más joven, los participantes de 15 a 20 años, porque presentaron mayor dinamismo, responsabilidad y la asimilación de la información de los poemas fue más rápido que los grupos de los adultos.

El grupo de los adultos fue el más difícil de trabajar, por las priorizaciones que poseen en su vida como es el trabajo y la familia, fueron elementos que no permitieron seguir de manera organizada, puesto que no se consolidó un solo taller sino fueron divididos en varios grupos, un grupo fue presencial y otros de manera virtual. También, para la asimilación de información tuvo que realizarse de manera reiterativa ya que tardaban en asimilar los conceptos, por otra parte, la actitud no fue adecuada ya que no aceptaban correcciones y tampoco aceptaban de manera objetiva sus errores.

Resultados estrategia 2: Implementación de acciones sostenibles

El grupo 1 de 15 a 20 años, no llegaron a la meta de cumplir los 90 días, solo 1 participante llegó con una cantidad superior de 31 a 40 días, la mayoría se encuentra entre los 11-20 días de los 90.

El grupo 2 de 35 a 40 años, se observa que realizaron manualidades dos trenzados de cartón, cuatro tapetes de corchos y obtuvieron de las botellas 10 vasos y un florero, trabajaron en este caso de manera grupal.

El grupo 3 de vecinos, hicieron un trabajo informativo, realizando un tríptico en contra del maltrato animal, los 10 participantes y distribuyeron a diferentes grupos de WhatsApp y redes sociales.

De los tres grupos, el más complejo fue el grupo 1 de los jóvenes de 15 a 20 años, en el caso de los adultos los resultados fueron básicos y muy escasos.

En conclusión, a los tres grupos se les complicó “hacer”, los participantes tuvieron otros requerimientos específicamente económicos, ya que solicitaban honorarios por la implementación práctica del proyecto, no existió una aplicación responsable y constante por parte de los participantes, considerando que teóricamente existieron elementos importantes para su comprensión, pero llevar esa teoría a la práctica fue difícil.

Por lo mencionado, se pudo identificar dos elementos que estuvieron muy marcados en los participantes para no consolidar esta estrategia: 1) preferencia por el dinero por la solicitud de honorarios y 2) fue muy difícil aplicar la teoría, puesto que se necesita tiempo y voluntad para efectivizar una acción, y estos elementos estuvieron carentes.

La preferencia por el dinero sobre la responsabilidad social y/o ecológica, incluso por encima del compromiso dado por los mismos participantes, puede estar influenciada por varios factores, estos son (Melendo, 2013):

Prioridades individuales: Los participantes tienen prioridades personales diferentes, y para algunos, la acumulación de riqueza es una prioridad más alta en comparación con la responsabilidad social en cuanto a la preservación del medio ambiente. Esta prioridad se debe a aspectos sociales, culturales y falta de conciencia; en muchas sociedades y Bolivia no es la excepción, el éxito financiero y material es un indicador clave de estatus y éxito; asimismo, en el caso de los participantes si bien entendieron de manera teoría la importancia de la naturaleza, pero existe una desconexión personal con la naturaleza o con problemas sociales específicos. La falta de empatía o conexión emocional puede contribuir a la falta de compromiso con la responsabilidad ambiental. Igualmente, en sociedades donde el crecimiento económico se valora y se prioriza sobre otras metas, las personas pueden estar más inclinadas a buscar el éxito financiero por sentir presión social o competencia económica a expensas de consideraciones sociales o ambientales.

Incentivos financieros inmediatos: Por la inmediatez de obtener beneficios emocionales y económicos que actualmente se vive y se experimenta en el mundo, las recompensas financieras son inmediatas y tangibles, mientras que los beneficios de las acciones responsables con el medio ambiente son a largo plazo y son más difíciles de cuantificar directamente. Cuando no existen suficientes incentivos o regulaciones para fomentar prácticas socialmente responsables, algunas personas pueden optar por priorizar el beneficio financiero inmediato.

Desconexión perceptual: Algunas personas pueden percibir que las acciones individuales no tienen un impacto significativo en los problemas sociales o ambientales más amplios, lo que puede llevar a una falta de motivación para cambiar comportamientos.

Es importante destacar que estas razones no son universales, y hay muchas personas y organizaciones que valoran tanto el éxito financiero como la responsabilidad social y ambiental. Las actitudes y comportamientos individuales pueden variar significativamente según la cultura, la educación y las experiencias personales. Además, hay un creciente reconocimiento de la importancia de la responsabilidad social y ambiental en muchos sectores de la sociedad.

Con respecto a otras dificultades que se presentaron para aplicar el proyecto de la teoría a la práctica pueden ser por las siguientes razones (Padovan, 2020):

Falta de conexión personal: En los participantes faltó conexión personal significativa entre la teoría y sus propias experiencias y valores, la teoría se entendió, pero no se relacionó con la realidad de los participantes considerando que estos incluso tienen malos hábitos con relación al medio ambiente, aplicarlos de manera práctica en favor de aquello que consideraban innecesario fue complejo, ya que además sus familias no apoyaban a acciones que el participante debió realizar en el proyecto, estas acciones desmotivaron a los

participantes considerando que además no existía un beneficio económico lo cual era una prioridad para los participantes.

Falta de habilidades prácticas: No olvidemos que las habilidades requieren tiempo para adquirirlas en el caso del proyecto estas habilidades que se iban a desarrollar en hábitos resultaba muy tedioso para la mayoría de los participantes, por lo cual se frustraban con facilidad.

Resistencia al cambio: existió resistencia al cambio por algunos participantes, no encontraban el sentido para cambiar sus hábitos en favor del medio ambiente, si bien cuidar del medio ambiente es importante, pero su actuar no era importante, por lo cual la falta de flexibilidad, la rigidez en el pensamiento dificultó la aplicación práctica de la teoría de manera efectiva.

Por los factores mencionados, existió incumplimiento por parte de los participantes para proseguir con la implementación de la estrategia, por ese motivo existió un nuevo acuerdo con la facilitadora del proyecto, ya que se firmó un acta de compromiso, para no revelar los nombres de los participantes que fue a solicitud de ellos, esta acción les desvincula de cualquier responsabilidad a futuro.

Resultados estrategia 3: Crear redes de activismo

Si bien los participantes del proyecto (prueba piloto), comprendieron la importancia de conservar, cuidar el medio ambiente, pero fue complejo lograr que actúen, que realizasen de manera constante, en esta ocasión de 30 participantes de los cuales no conocían casi nada sobre los beneficios de la ecología y poseían acciones en sus vidas incluso destructivas con el medio ambiente, se pudo despertar la conciencia de 6 personas, con estos participantes se pudo realizar acciones interesantes, específicamente con el reciclaje de botellas de vidrio, papel y plásticos.

Un elemento muy importante que se debe rescatar en los resultados es la incorporación de la BENEFICENCIA, ya que se recolectó botellas de plástico, para donarlo a una señora, cuyo único ingreso económico para su subsistencia era la recolección de botellas de plástico de la basura, para luego venderlo, también se recolectó una cantidad de dinero por la venta de papel, esto sirvió a la vez para cancelar el corte de botellas de vidrio, las cuales se regaló a personas cercanas y fue parte del uso diario de los participantes, con ello se evita seguir comprando vasos nuevos y se evita el cúmulo de más basura.

De 30 participantes se comprometieron 6 participantes, esto significa que el

proyecto “Psicopoesía Ecológica” es efectivo en 20 %, lo cual es un éxito, porque al implementar el método a más personas el porcentaje aumentaría considerablemente, asimismo cambiar la estructura mental y llegar a la comprensión y conciencia de una persona adulta es bastante complejo, pero con el método implementado se logró esa modificación de actitud.

Por el dinamismo de las acciones que hubo en esta estrategia, y los resultados que se obtuvieron, se llegó a constituir la Fundación Mundo Positivo con la cual se concretizará y

materializará este proyecto. La ONG se encuentra en etapa de presentación de documentos y requisitos en el Ministerio de Autonomía de Bolivia.

Por otra parte, se logró todas estas acciones gracias al uso de poesía para la educación en valores, según las encuestadoras señalan que casi la mitad de la población boliviana no lee (Soruco, 2019), entonces hay que actuar de distinta manera y aportar a la sociedad, con solo escribir poemas no es un aporte social ni ecológico, en estos tiempos donde además todo se innova y se tiene seres humanos con otro tipo de características para recibir, comprender y construir valores, información, conocimientos, hábitos y comportamientos.

Por ese motivo el proyecto implementado es innovador, novedoso, útil a la sociedad, es mundial por la participación de poetas de 32 países del mundo, une la literatura (poesía didáctica), psicología (psicología educativa) y ciencia (método científico), es decir aporta a varias áreas del conocimiento, a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, además de aportar a la ecología con acciones sostenibles e impacto social.

Discusión y conclusiones

Se creó un método científico sobre educación en valores tomando en cuenta estrategias didácticas a través de la poesía didáctica para aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionado a la ecología, el método científico con base a los lineamientos científicos y bibliografía de la psicología educativa propone tres estrategias: 1) Comprensión lectora de poemas 2) Implementación de acciones sostenibles 3) Crear redes de activismo, es decir llevar la teoría a la práctica con sostenibilidad en tiempo y con impacto social, cabe resaltar que el método fue validado por expertos, antes de su implementación; la propuesta no es únicamente para profesionales o educadores o para la temática en ecología es para cualquier persona interesada en implementar la poesía para educar con un método eficiente. El método propuesto se puede utilizar para otros temas de interés, porque el aporte del proyecto es el método, no el tema específicamente, sin embargo, como la ecología es un tema de emergencia mundial se consideró en esta ocasión realizar una prueba piloto a distintos grupos sociales con lineamiento ecológico. Asimismo la propuesta incentiva en llevar la teoría a la práctica, porque la educación en valores es práctica; es decir debe fortalecer en el ser humano el desarrollo de un hábito en esta ocasión en apoyo a la naturaleza; por otra parte, aporta a la ODS en varios objetivos como la ODS 3 salud y bienestar por la creación de la fundación y redes de activismo en reciclaje de vidrio, papel y plástico; aporta a la ODS 4 fortaleciendo la educación con la educación en valores que se propone en el presente proyecto; aporta también a la ODS 16 cultura de paz, porque al hablar de ecología se habla de

un elemento fundamental que es la seguridad alimentaria, que es donde empieza la paz y es el objetivo general de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que propone las Organización de Naciones Unidas (ONU).

Se analizaron las características e importancia de la implementación de la educación en valores utilizando la poesía didáctica para aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionado a la ecología, se debe resaltar que los valores se adquieren a través de la educación y es parte de la formación integral de un ser humano, asimismo tiene relación con

la conciencia porque el ser humano con valores se da cuenta que los elementos de su entorno existen por algo y tienen un sentido que en este caso del proyecto es la ecología, entonces es un bien, es decir algo positivo para todos; existe muchos valores pero el proyecto se enfatiza en valores hacia la ecología, por ello tiene un enfoque ecosocial (implementación del proyecto ecológico a diferentes grupos sociales) y biocultural (la poesía ecológica como medio de expresión emocional y cultural), donde tiene que existir una transformación de actitudes del ser humano, por ese motivo el proyecto psicopoesía ecología ha logrado ese cambio de 20 % con los participantes del proyecto. Los valores son importantes porque desarrollan una conducta, la cual se convierte en un hábito; es decir práctica, y lo mismo expresa la ODS: la única forma de cambiar y llegar a erradicar la pobreza y hambruna del mundo que es el objetivo global de la ODS es con la práctica, entonces el proyecto aporta a la educación con valores siendo práctico, cuya herramienta principal del proyecto es la poesía didáctica, porque expresa sentimientos, pensamientos, creencias, conocimientos de manera estética y dinámica, a través de la palabra escrita, igualmente es la representación de la cultura de un país y de su gente; además la ODS señala que todos y cada una de las instituciones como personas civiles tienen la responsabilidad de aportar al bienestar de toda especie viva en el planeta, con esta afirmación el proyecto psicopoesía ecológica aporta a la ODS con la implementación de un método científico en educación en valores ecológicos a través de la poesía didáctica como herramienta principal del proyecto.

Se realizó una antología en poesía didáctica referida a la ecología, la cual sirvió de herramienta principal para la implementación de la educación en valores a través de un método científico, la antología consta de la participación de 32 países del mundo, 59 poetas y 60 poemas didácticos, los cuales fueron seleccionados por expertos.

Cabe resaltar que se escogió la poesía didáctica, porque es específica y es una herramienta analítica fácilmente utilizable, por ese motivo en el caso del proyecto se aplicó la especificidad a un elemento ecológico (animal, reservas, plantas bolivianas o elementos ecológicos importantes a nivel universal), para describir características específicas del lugar o ser ecológico, este punto es importante porque el proyecto se

implementó en Bolivia y para lograr un aprendizaje positivo los participantes deben sentirse identificados culturalmente, para que la asimilación de la información y comprensión sea eficiente, por ese motivo uno de los requisitos del proyecto fue solicitar a los poetas la construcción de los poemas sobre la base de la ecología boliviana o elementos universales por ejemplo, el agua; por otro lado, la poesía didáctica describe beneficios para el hombre; transmite sentimientos, valores, cultura. En general la poesía aplicada a la educación es beneficiosa, porque ayuda a ampliar las situaciones y posibilidades comunicativas; permite imaginar realidades diferentes; enriquece la capacidad de uso del lenguaje; permite acceder a una forma de conocimiento diferente; amplía la conciencia, afirma la sensibilidad y renueva la comprensión del mundo; abre a la experiencia estética; permite comprobar cómo la gente experimenta el mundo en distintas épocas; el uso de la escritura siempre supone profundizar en las características del tipo de texto que se escribe; con todo ello se puede llevar a cabo principios metodológicos en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Se realizó una prueba piloto (implementación del método) de las estrategias didácticas sobre educación en valores en ecología a tres distintos grupos sociales: 10 adolescentes y jóvenes entre 15 a 20 años; 10 profesionales de 35 a 40 años y 10 vecinos zonales para conocer la efectividad del método, en total se implementó a 30 personas, las características de los participantes fue exclusivamente el desconocimiento sobre la importancia de la ecología, incluso algunos tenían acciones agresivas hacia otros seres vivos; las actividades que se realizó fueron de manera individual y grupal, las evaluaciones fueron cualitativas, la estrategia 1 y 2 se consolidó con la firma de un acta de compromiso por los participantes, y la continuidad de la estrategia 3 por parte de los participantes fue de manera voluntaria, la implementación finalizó con 6 personas de 30, es decir 20 %, con ellos se concretó la red de activistas con actividades de reciclaje y la creación de la Fundación Mundo Positivo. Los resultados no tuvieron diferencia en los distintos grupos, esto significa que el método implementado sirve para cualquier grupo social a partir de los 15 años.

Se difundió el método científico como los resultados de la implementación en las siguientes actividades: Feria del Libro Virtual en Australia; Feria del Libro Virtual en Colombia; Feria Internacional del Libro en Cochabamba, Bolivia; Cumbre Mundial de La Paz en Argentina; I Congreso Mundial Virtual Cosmovisión Vallejiana Planetaria en España; Exposición del proyecto organizado por la Unión de los Pueblos Indoamericanos, espacio “Martes de Cultura”, auditorio del hotel Torino, La Paz, Bolivia 19 de marzo de 2024; publicación en la revista de la Academia Boliviana de Educación Superior Nro. 6/ 2023; publicación en el periódico Norte en Línea de Argentina en noviembre de 2023; publicación en ensayo en la revista electrónica “Inmediaciones” de Bolivia el 20 de julio de 2023; publicación en la revista “Alma América” de España el Nro. 22/ mayo 2023 y nombramiento como Embajador Internacional de la Paz en Bolivia, por la institución “Global Nation” de Bangladesh, posteriormente se realizará otras presentaciones a nivel nacional e internacional. Además, el proyecto tuvo 9 instituciones auspiciadoras.

Con respecto a los resultados y aportes: lograr modificar el actuar de 6 personas, llevar la teoría a la práctica sostenible y crear la ONG Mundo Positivo, con estos elementos se consolida el objetivo del proyecto en el tiempo y se logra un impacto social, es innegable que el proyecto y el método propuesto es efectivo y exitoso, además de ser innovador, integral, mundial, porque participan poetas de 32 países del mundo, asimismo une la psicología, literatura, ciencia lo cual aporta a diferentes áreas del conocimiento como la Psicología Educativa, Psicología Social, Pedagogía, Ecología, Literatura, Metodología de la Investigación, Ciencias de la Educación, Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Referencias

- Agencia de noticias Fides. (ANF). (2024, 1 de septiembre). En 10 años Bolivia perdió 40.8 millones de hectáreas de bosques y pastizales por incendio. Estudio realizado por Fundación Tierra. Recuperado el 18 de octubre de 2024
- Ausubel, David. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. Fascículos de CEIF, 1(1- 10).

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2018, 9 de noviembre) 7 cualidades que tienen los jóvenes que cambian el mundo. Blog de la División de Educación Recuperado el 1 de febrero de 2023

Bruner, Jerome. (2015). La educación, puerta de la cultura. Antonio Machado Libros. V.3

Escuela de Perfeccionamiento Técnico (EPT). (2009). Psicología educativa y métodos de enseñanza. grupo postgrado [archivo en PDF] Recuperado el 9 de junio de 2023

Fundación Tierra. (2024, 7 de octubre). Bolivia: El fuego consumió más de 10,1 millones de hectáreas; 58% corresponden a bosques. Revista Tierra. Recuperado el 20 de octubre de 2024

Gaceta Oficial de Bolivia (2010). Ley de Educación 070 Avelino Siñani Elizardo Pérez. [archivo en PDF].

Infoleyes online (2009). Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (CPE). Recuperado el 5 de enero de 2024

Gómez, José; (2021). Adulto: Responsabilidad y madurez. Blog psicólogo terapéutico. Recuperado el 26 de noviembre de 2022

Melendo, Tomás. (2013). El dinero en su más propia esencia. Metafísica y Persona. Filosofía, conocimiento y vida, 7, pp. 73-106

Ministerio de Medio Ambiente y agua de Bolivia (MMAA). Ley de Medio Ambiente 1333. Recuperado el 17 de octubre de 2023 yagua.com.bo

Organización de las Naciones Unidas. (2022, 16 de febrero). La contaminación mata nueve millones de personas al año, el doble que el COVID-19. Recuperado el 23 de abril de 2023 <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504162>

Padovan, Ignacio. (2020). Teorías de la motivación. Aplicación práctica. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Económicas.

Palacios, Lady. (2015). Mejoramiento de la comprensión lectora en alumnos de segundo semestre del programa de español y Literatura de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Lingüística.

Piaget, Jean. (1976). Piaget’s theory. In Piaget and his school. Springer, Berlín: Heidelberg, pp. 11-23

Ramírez, Carlos y Castro, Diana. (2011). La lectura en la primera infancia. Investigación Cognición y Cultura. Grupo de Investigación Cognición, Educación y Formación de la Universidad Católica de Pereira, 20(7), pp. 7-16. Colombia.

Santillana, Propósito. (2022). ¿Qué puedo hacer yo por la Agenda 2030? [archivo en PDF] Recuperado el 9 de septiembre de 202

Soruco, Jorge. (2019). 48 % de los bolivianos no lee ni un solo libro en un año. La Razón. Bolivia. Recuperado el 6 de junio de 2023

Vygotsky, Lev Semiónovich. (1978). Socio-cultural theory. *Mind in society*, pp. 52- 58.

Transformación educativa en arquitectura: integración de la inteligencia artificial en la labor docente

Moisés Crespo Unzueta¹⁷

Resumen

Este estudio de caso analiza la integración de la inteligencia artificial (IA) y otras tecnologías avanzadas en la enseñanza de la arquitectura en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FADU) de la Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra (UPSA), Bolivia. El objetivo principal fue evaluar el impacto de estas tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje y en la preparación de los estudiantes para un entorno profesional en constante cambio. Se implementó una secuencia didáctica basada en el aprendizaje basado en proyectos (ABP), utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD), modelado BIM, diseño paramétrico y herramientas de IA. La evaluación, a través de observaciones, entrevistas y cuestionarios, reveló una mejora significativa en el desempeño académico de los estudiantes, un aumento en su compromiso y motivación, y un desarrollo notable en sus habilidades técnicas y creativas. Se identificaron desafíos, como la curva de aprendizaje de las nuevas tecnologías, pero la experiencia en general fue positiva, demostrando la viabilidad y los beneficios de integrar la IA en la educación en arquitectura en Bolivia.

Palabras claves: Educación en Arquitectura, Inteligencia Artificial, Tecnologías Avanzadas, Aprendizaje Basado en Proyectos, Innovación Educativa.

¹⁷ Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra (UPSA).

Abstract

Educational transformation in architecture: integration of artificial intelligence in teaching work

This case study examines the integration of artificial intelligence (AI) and other advanced technologies in architecture education at the Faculty of Architecture and Urbanismo (FADU) of the Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra (UPSA), Bolivia. The main objective was to evaluate the impact of these technologies on the teaching-learning process and on the preparation of students for a constantly evolving professional environment. A didactic sequence based on project-based learning (PBL) was implemented, using computer-aided design (CAD) software, BIM modeling, parametric design, and AI tools. The evaluation, through observations, interviews, and questionnaires, revealed a significant improvement in students' academic performance, an increase in their engagement and motivation, and a remarkable development in their technical and creative skills. Challenges were identified, such as the learning curve of new technologies, but the overall experience was positive, demonstrating the viability and benefits of integrating AI into architecture education in Bolivia.

Keywords: Architecture Education, Artificial Intelligence, Advanced Technologies, Project-Based Learning, Educational Innovation.

Introducción

La arquitectura, como disciplina, se encuentra en constante evolución, influenciada por los rápidos avances tecnológicos y las exigencias de un mundo globalizado. En Bolivia, la educación en arquitectura enfrenta el reto de adaptarse a estos cambios para preparar adecuadamente a los estudiantes, dotándolos de las competencias necesarias para desarrollarse en un entorno profesional en constante transformación. La necesidad de actualizar los métodos de enseñanza dentro de la carrera es evidente, y la incorporación de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA), se perfila como una solución viable para enriquecer la experiencia educativa y potenciar el aprendizaje de los futuros arquitectos.

La IA ha demostrado su impacto en diversas industrias, incluyendo la arquitectura, especialmente tras la liberación masiva de ChatGPT a finales de 2022. En el ámbito educativo específico de la carrera de arquitectura, la IA ofrece la oportunidad de guiar a los estudiantes en el desarrollo de habilidades clave relacionadas con la exploración creativa y la colaboración efectiva con herramientas de IA. Este enfoque integrador no solo mejora la comprensión y retención del conocimiento, sino que también fomenta una participación más activa y un aprendizaje más comprometido.

Este estudio de caso se centra en la implementación de la IA en la enseñanza de diversas materias de la carrera de Arquitectura en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FADU) de la Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra (UPSA), en Santa Cruz, Bolivia. La

propuesta surge en respuesta a la necesidad de actualizar los métodos educativos para enfrentar los desafíos contemporáneos, contando con el apoyo y la visión de las autoridades académicas para proyectar y preparar a los estudiantes para un entorno profesional en constante cambio.

El objetivo principal de este estudio es demostrar que la incorporación de la inteligencia artificial y otras herramientas tecnológicas en la práctica docente diaria en la carrera de arquitectura no solo es viable, sino que también resulta beneficiosa para el desarrollo profesional de los futuros arquitectos. Se espera que los resultados de esta experiencia contribuyan al desarrollo de nuevas estrategias pedagógicas que puedan ser adoptadas en la enseñanza de la arquitectura en Bolivia y en otras regiones con contextos similares.

Metodología de análisis y recolección de datos

La metodología empleada en el estudio de caso "Transformación Educativa en Arquitectura: Integración de la Inteligencia Artificial en la Labor Docente" se basa en un enfoque cualitativo y participativo, con el objetivo de evaluar el impacto de las tecnologías avanzadas en el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes de la carrera de arquitectura FADU de la UPSA. A continuación, se describe en detalle el diseño del estudio, los participantes, los instrumentos y herramientas utilizados, el procedimiento, y la metodología para la evaluación y análisis de datos.

Diseño del Estudio:

El estudio se desarrolló a lo largo de un semestre académico.

Se adoptó un enfoque de investigación-acción, permitiendo a los investigadores intervenir directamente en el proceso educativo y observar los efectos en tiempo real. Participantes:

20 estudiantes de arquitectura de diferentes niveles de la FADU - UPSA.

2 profesores, capacitados en el uso de tecnologías avanzadas y en la metodología del aprendizaje basado en proyectos (ABP).

Instrumentos y Herramientas:

Se emplearon diversas herramientas tecnológicas:

Software de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para la creación y manipulación de modelos tridimensionales.

Modelado de Información de Construcción (BIM) para la gestión y optimización de proyectos arquitectónicos.

Diseño Paramétrico (Rhinceros+Grasshopper) para modelado con algoritmos. Herramientas de Inteligencia Artificial específicas para el análisis de datos, preparación de propuestas y generación de alternativas de diseño.

Plataforma LMS (Moodle) UPSAVirtual para la entrega de materiales educativos y la comunicación entre estudiantes y profesores.

Procedimiento:**El procedimiento se estructuró en varias fases:**

Capacitación Inicial: Los profesores y estudiantes recibieron capacitación sobre el uso de las herramientas tecnológicas seleccionadas mediante talleres y sesiones prácticas.

Implementación de la Secuencia Didáctica: Se desarrolló una secuencia didáctica basada en el ABP, donde los estudiantes trabajaron en proyectos arquitectónicos que integraban tecnologías avanzadas. Los proyectos fueron diseñados para ser realistas y desafiantes, fomentando la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos.

Monitoreo y Evaluación: Durante el semestre, se realizó un monitoreo continuo del progreso de los estudiantes. Se utilizaron observaciones directas, entrevistas y cuestionarios para recopilar datos sobre el desempeño y la percepción de los estudiantes y profesores respecto al uso de las tecnologías.

Evaluación y Análisis de Datos:

Para evaluar el impacto de la experiencia se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos:

Observaciones Directas: En el aula y en los talleres de diseño para evaluar cómo los estudiantes utilizaban las herramientas tecnológicas y cómo influían en su proceso de aprendizaje.

Entrevistas: Semiestructuradas con estudiantes y profesores para obtener una comprensión profunda de sus experiencias y percepciones.

Cuestionarios: Al inicio y al final del semestre para medir cambios en el conocimiento, habilidades y actitudes de los estudiantes hacia el uso de tecnologías avanzadas en arquitectura.

Análisis de Proyectos: Los proyectos finales de los estudiantes fueron evaluados por un panel de expertos en arquitectura, quienes utilizaron criterios predefinidos para valorar la calidad e innovación de los diseños.

Se utilizaron diversos medios para la recolección de datos, como entrevistas y cuestionarios, y se definieron criterios de estudio basados en la observación y el análisis de proyectos, lo que permitió una evaluación integral del impacto de la integración de tecnologías avanzadas en la enseñanza de la arquitectura.

Resultados

La implementación de la inteligencia artificial (IA) y otras tecnologías avanzadas en la enseñanza de la arquitectura en la FADU - UPSA produjo resultados significativos en diversas áreas. A continuación, se detallan los hallazgos más relevantes:

Mejora en el Desempeño Académico:

Se observó una mejora general en el desempeño académico de los estudiantes.

Los proyectos finales evidenciaron un incremento en la calidad y complejidad de los diseños arquitectónicos.

Los estudiantes demostraron mayor capacidad para integrar conceptos teóricos y prácticos en sus proyectos.

El uso de la IA permitió optimizar los diseños y explorar soluciones innovadoras. El análisis de los proyectos mostró una notable mejora en la precisión y creatividad.

Los evaluadores destacaron la originalidad y la aplicación efectiva de las tecnologías en los diseños.

Compromiso y Motivación de los Estudiantes:

Se registró un aumento significativo en el nivel de compromiso y motivación de los estudiantes.

La integración de tecnologías avanzadas y el ABP promovieron un entorno de aprendizaje más dinámico y participativo.

Los estudiantes mostraron mayor interés en las actividades académicas y adoptaron una actitud proactiva hacia el aprendizaje.

Las respuestas a los cuestionarios y entrevistas reflejaron una percepción positiva sobre el uso de las tecnologías en el aula.

La mayoría de los estudiantes afirmó que las herramientas de IA facilitaron la comprensión de conceptos complejos.

El proceso de aprendizaje se percibió como más interesante y relevante.

Las entrevistas revelaron que los estudiantes se sentían mejor preparados para enfrentar desafíos profesionales.

Desarrollo de Habilidades Técnicas y Creativas:

Figura 3 - Elaboración propia

Se evidenció un desarrollo significativo en las habilidades técnicas y creativas de los estudiantes.

La incorporación de software CAD, modelado BIM y algoritmos paramétricos fortaleció sus competencias en diseño y resolución de problemas.

Las observaciones directas mostraron que los estudiantes utilizaban estas herramientas con confianza y destreza.

La capacidad de generar y analizar múltiples versiones de sus diseños promovió la mejora continua, fomentando la creatividad y la precisión técnica.

Desafíos y Áreas de Mejora:

Se identificaron desafíos, principalmente la curva de aprendizaje asociada al uso de nuevas tecnologías.

Estudiantes y profesores encontraron dificultades iniciales para dominar las herramientas de IA y su integración en los proyectos.

Se destacó la importancia de la capacitación continua y el soporte técnico adecuado. Se sugirió la implementación de programas de formación más extensivos y la disponibilidad de recursos de apoyo.

Impacto en la Práctica Docente:

La experiencia transformó el enfoque pedagógico de los profesores, motivándolos a adoptar metodologías más activas y centradas en el estudiante.

Los docentes destacaron la viabilidad y los beneficios de la IA y otras herramientas en la enseñanza de la arquitectura.

Se subrayó la importancia del desarrollo profesional continuo y la colaboración entre colegas para optimizar el uso de estas tecnologías.

Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio de caso corroboran la importancia de la innovación tecnológica en la educación en arquitectura, específicamente en la FADU - UPSA. La IA y otras tecnologías avanzadas, como el software CAD, modelado BIM y

algoritmos paramétricos, se han convertido en herramientas poderosas para mejorar la enseñanza y el aprendizaje.

Beneficios de la integración tecnológica:

Fomento de la creatividad, la precisión técnica y el compromiso estudiantil. Los estudiantes, al utilizar estas herramientas, no solo han mejorado la calidad de sus diseños arquitectónicos, sino que también han demostrado una mayor comprensión de los conceptos teóricos y una actitud más proactiva hacia el aprendizaje.

Preparación para el futuro profesional. El uso de estas tecnologías en el ámbito académico permite a los estudiantes familiarizarse con herramientas que ya son ampliamente utilizadas en el campo profesional, brindándoles una ventaja competitiva al momento de ingresar al mercado laboral.

Desafíos a considerar:

Curva de aprendizaje y necesidad de capacitación. La implementación de nuevas tecnologías conlleva una curva de aprendizaje tanto para estudiantes como para profesores. Es fundamental proporcionar programas de formación extensivos y continuos para garantizar un uso efectivo de las herramientas.

Soporte técnico y recursos adecuados. Para una integración exitosa de la tecnología, es necesario contar con la infraestructura y el soporte técnico adecuados para resolver problemas y brindar asistencia a los usuarios.

Adaptación pedagógica. La integración de la tecnología debe ir acompañada de una adaptación de las metodologías pedagógicas. El ABP, por ejemplo, ha demostrado ser una metodología efectiva para integrar la IA y otras tecnologías en la enseñanza de la arquitectura.

Impacto en la práctica docente:

Adopción de metodologías activas y centradas en el estudiante. La integración de la IA ha motivado a los docentes a adoptar metodologías más activas, como el ABP, y a centrar su enseñanza en las necesidades de los estudiantes.

Importancia de la colaboración y el desarrollo profesional continuo. La colaboración entre colegas y la participación en programas de desarrollo profesional continuo son cruciales para que los docentes se mantengan actualizados sobre las últimas tecnologías y las mejores prácticas pedagógicas.

Relevancia para el contexto boliviano:

Viabilidad y beneficios de la integración tecnológica. El estudio de caso demuestra la viabilidad y los beneficios de integrar tecnologías avanzadas en la educación en arquitectura en Bolivia.

Adaptación y escalabilidad a otras instituciones. La experiencia de la FADU - UPSA puede servir como modelo para otras instituciones educativas en Bolivia y en regiones con contextos similares.

Importancia de la innovación y el desarrollo. La integración de tecnologías avanzadas no solo mejora la calidad de la enseñanza, sino que también posiciona a las instituciones de educación superior como líderes en innovación y desarrollo.

Recomendaciones para una integración efectiva: Ampliar la capacitación y el soporte técnico.

Fomentar la colaboración interdisciplinaria. Desarrollar infraestructura tecnológica adecuada. Implementar un enfoque gradual.

Evaluar continuamente el impacto. Promover la innovación y la investigación. Adaptar políticas educativas.

Conclusión final:

La integración de la IA y otras tecnologías avanzadas en la educación en arquitectura es una estrategia con gran potencial para mejorar la calidad de la enseñanza y preparar a los estudiantes para los desafíos de un mundo laboral cada vez más tecnológico. Los resultados de este estudio de caso, junto con las recomendaciones propuestas, proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y prácticas en este campo.

Es fundamental que las instituciones educativas, los docentes y los estudiantes asuman un rol proactivo en la adopción de estas tecnologías y en la adaptación de las metodologías pedagógicas para aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece la innovación en la educación.

Referencias

Arias, F. G. (1999). El proyecto de investigación: Guía para su elaboración (3ra ed.). Editorial Episteme

Maya, E. (2014). Métodos y técnicas de investigación: Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines (1ra ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.

Monsalve, P. (2016). La teoría de la arquitectura y su visión holística a través del pensamiento humanista. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, 6(11), 58-61.

Carhuancho Mendoza, I. M., Nolzco Labajos, F. A., Sicheri Monteverde, L., Guerrero Bejarano, M. A., & Casana Jara, K. M. (2019). Metodología para la investigación holística. UIDE.

Satisfacción universitaria mejorando la calidad de servicio educativo

Daybi Callisaya Estrada¹⁸

Resumen

Las medidas adoptadas en post-pandemia generada por el COVID-19 han llegado a distintos espacios educativos, y una de las alternativas adoptadas fue la educación híbrida en la mayoría de las instituciones académicas, entre ellas la Universidad Privada Franz Tamayo con sede en la ciudad de El Alto, en el departamento de La Paz. La implementación de esta forma de educación es una estrategia que combina el Proceso de enseñanza - aprendizaje presencial con la educación en línea, mediante una comunicación frecuente con el universitario. La investigación tiene paradigma cuantitativo y el instrumento utilizado fue un cuestionario en la escala de Likert de manera online, que abordaron los siguientes ejes 1) organización académica, 2) desarrollo del proceso enseñanza – aprendizaje, 3) infraestructura, 4) servicios y 5) formación integral del estudiante. Dadas las condiciones de infraestructura, servicios de navegación y acceso a la plataforma virtual al estamento universitario, es necesario conocer si se cumple con sus expectativas; el proceso de enseñanza – aprendizaje no se limita dentro de la Universidad, es importante conocer si los universitarios tienen acceso a servicios de wifi en su domicilio, si cuentan con los recursos para acceder a herramientas tecnológicas (computadora, laptop, celular) y si tienen el dominio de las herramientas virtuales. La investigación denota que la conexión a una red de wifi debería ser parte de un servicio básico en el hogar e implementada en las políticas educativas.

Palabras claves: Satisfacción universitaria, post-pandemia, calidad de servicio educativo.

¹⁸ Universidad Privada Franz Tamayo (UNIFRANZ).

Abstract

University satisfaction improving the quality of educational service

The measures adopted in the post-pandemic generated by COVID-19 have reached different educational spaces, and one of the alternatives adopted was hybrid education in most academic institutions, including the Franz Tamayo Private University based in the city. from El Alto, in the department of La Paz. The implementation of this form of education is a strategy that combines the face-to-face teaching-learning process with online education, through frequent communication with the university student. The research has a quantitative paradigm and the instrument used was an online questionnaire on the Likert scale, which addressed the following axes: 1) academic organization, 2) development of the teaching-learning process, 3) infrastructure, 4) services and 5) comprehensive training of the student.

Given the conditions of infrastructure, navigation services and access to the virtual platform for the university community, it is necessary to know if their expectations are met; The teaching-learning process is not limited within the University, it is important to know if university students have access to Wi-Fi services at home, if they have the resources to access technological tools (computer, laptop, cell phone) and if they have the mastery of virtual tools. The research indicates that connection to a Wi-Fi network should be part of a basic service at home and implemented in educational policies.

Keywords: University satisfaction, post-pandemic, quality of educational service.

Introducción

En la última década, la tecnología ha avanzado a pasos gigantescos, este avance tecnológico en la educación ha permitido la integración de la enseñanza presencial y virtual en las instituciones educativas. La problemática durante la crisis sanitaria por pandemia en la gestión 2020 permitió empaparnos de este avance tecnológico en la educación virtual, de esta manera poder desarrollar una educación híbrida, en este sentido, nace el interés de conocer la percepción del grado de satisfacción de la calidad de

servicio educativo y formativo en los universitarios de la carrera de Bioquímica y Farmacia de la Universidad Privada Franz Tamayo.

Así mismo, elaborar instrumentos de investigación los cuales serán base para futuras investigaciones de satisfacción académica, de esta manera generar la construcción de políticas institucionales que satisfagan las necesidades universitarias.

Por tal razón, la investigación permite conocer criterios del grado de satisfacción del universitario, puntualizando factores que incidieron en el desarrollo de su formación profesional de esta manera replantear nuevas estrategias, y metodologías para lograr la satisfacción plena del proceso de enseñanza –aprendizaje. Tener en cuenta que los universitarios ya tenían conocimientos previos del uso de plataformas y otros medios digitales y se venía venir este proceso de educación híbrida como lo señalo Llor (2020), que “la educación virtual seguirá a un buen tiempo y, mientras tanto, se prepara para un modelo

híbrido que es el que resultará cuando tengan que regresar a la presencial”, puesto que la pandemia también ha demostrado que no para todos se necesita ir al aula. Centrados en el contexto boliviano, la competencia universitaria ha ido incrementando, con la existencia de varias universidades públicas, indígenas y privadas e instituciones de enseñanza superior que ofertan las mismas carreras que esta casa superior de estudio, el conocimiento sobre el efecto generado por la satisfacción estudiantil desde las perspectivas de Surdez, Sandoval y Lamoyi (2018), señalan que “el progreso de un país depende en gran medida de la calidad educativa que brinden las universidades y la satisfacción de los estudiantes es un indicador para evaluarla”. No obstante, para la calidad educativa no se puede establecer un concepto universal que se aplique a todas las instituciones de educación superior. Por su parte Bullón (2007), plantea “la necesidad de conocer la percepción, ya sea positiva o negativa, que tienen los estudiantes de su institución educativa para mejorar la calidad de la misma”. El mismo autor señala, “una adecuada evaluación es posible determinar cómo son percibidos los esfuerzos de la universidad, no sólo para atraer a su alumnado, sino también para mantenerlo”. Por ello, es importante que las universidades se aproximen a la medición de la satisfacción del estudiante con aquello que ofrece la carrera, para que sobre la base de esta información se puedan atender las demandas, necesidades y expectativas de manera más clara, oportuna y eficaz.

Esta investigación permitirá conocer las fortalezas, debilidades y acciones que se debe asumir con la incorporación de la educación híbrida en una carrera con exigencia práctica, investigativa y experimental, haciendo la enseñanza aprendizaje sea más compleja el cual obliga a una actualización docente en las Tecnologías de la Información y la Comunicación, también los universitarios deben desarrollar un pensamiento reflexivo, critico que puedan aplicar estrategias de autoformación y actualización continua en el campo profesional debido al aumento de las expectativas de la sociedad en lo que concierne a la labor del profesional. Sin embargo, es necesario que esta calidad educativa este acompañado de servicios adicionales como: personal de servicio, oportunidades de becas, instalaciones y reputación de la universidad, capaces de incrementar la satisfacción global del universitario.

Desarrollo

Algunos aspectos conceptuales

La investigación refleja realidades del proceso enseñanza-aprendizaje, por eso es necesario comprender referentes y antecedentes de lo que se está estudiando para provocar la reflexión e importancia de medir el nivel de satisfacción universitaria.

Noción de satisfacción

Jairo Sánchez (2018) en su investigación de la Satisfacción estudiantil en Educación Superior afirma que “la satisfacción como noción o categoría tiene múltiples interpretaciones y connotaciones según la perspectiva (psicológica, filosófica, sociológica, antropológica, económica, administrativa, mercadológica, etc.) con que se aborde.

El mismo autor menciona que “la noción de satisfacción parece estar asociada directa y cercanamente a las nociones de cumplimiento de expectativas, necesidades y deseos, bienestar, confort, felicidad, placidez, placer, encantamiento, contentamiento, alegría, equilibrio y deleite. Los diccionarios asocian el término satisfacción con sentimientos o emociones de felicidad, contentamiento con algo, el placer derivado del cumplimiento o solución de necesidades, deseos y expectativas”.

Importancia de la satisfacción estudiantil como indicador la calidad educativa

Los estudios sobre satisfacción estudiantil en las universidades como indicadores para evaluar la calidad educativa son particularmente importantes, porque la satisfacción estudiantil mejora el rendimiento académico. Al respecto Himmel (2002), menciona también “la satisfacción estudiantil reduce la deserción, el cambio de Carrera de los inscritos y que es un requisito para el éxito en el aprendizaje. A su vez, una comprobada calidad educativa fortalece la imagen y el prestigio de la institución”.

Para Egido (2005), el progreso de un país depende en gran medida de la calidad educativa que brinden las universidades y la satisfacción de los estudiantes es un indicador para evaluarla. No obstante, para la calidad educativa no se puede establecer un concepto universal que aplique a todas las instituciones de educación superior.

Ahora bien, considerando que generalmente la calidad de un servicio se mide por la satisfacción que proporciona al usuario con sus requerimientos psicológicos y materiales Sotomayor (2002), señala que para medir la calidad educativa de una institución de educación superior es menester conocer la satisfacción de los receptores de los servicios, es decir, los estudiantes, ya que, al ser ellos los destinatarios de los esfuerzos universitarios, sus valoraciones basadas en percepciones, expectativas y necesidades son indicadores de la eficacia de la gestión académica.

La satisfacción estudiantil y su medición

La medición de la satisfacción aún no ha seguido un criterio estandarizado y compartido por muchos investigadores, algunas de ellas se fundamentan que la satisfacción de los sujetos están en función de cada elemento de servicio, desde el punto de vista de la investigación educativa, mencionaremos algunos planteamientos que se fundamentan en las dimensiones de las expectativas que se quiere lograr alcanzar dentro de una evaluación global que parte de un ítem único que es la satisfacción e insatisfacción.

La medida “muy satisfecho – muy insatisfecho” fue duramente criticada por Westbrook citado por Trabelsi (2020), al considerar que la acusada asimetría negativa, que suele obtenerse en la evaluación de la satisfacción, es más que el reflejo de la incapacidad de este ítem para detectar y precisar los distintos niveles existentes dentro del sentimiento de satisfacción.

Así mismo, varios autores han elaborado y validado instrumentos para medir satisfacción en estudiantes universitarios. Se puede mencionar el de Mejia y Martinez (2009) que, a través de un análisis factorial con el método de rotación Varimax, determina seis dimensiones para

medir la satisfacción estudiantil: atención del personal, aspectos académicos, empatía, aspectos complementarios, oferta académica y gestión; el de Gento y Vivas (2003), validado con la técnica estadística de coeficiente de Proporción de Rangos y coeficiente de Alfa de Cronbach, compuesto de diez dimensiones: necesidades básicas, servicios ofrecidos, seguridad vital, igualdad de oportunidades, seguridad emocional, pertenencia, sistema de trabajo para la enseñanza, progreso personal, reconocimiento del éxito personal y satisfacción con la autorrealización; a su vez, está el de Mejias, Reyes y Maneiro (2006), que mide la satisfacción estudiantil con los servicios de apoyo académico de las instituciones de educación superior a través de la escala servqualing, que demostró fiabilidad a través del coeficiente de Alfa de Cronbach, y con análisis de factores se determinaron cuatro dimensiones: elementos tangibles, planificación, atención personal y atención institucional.

Aspectos metodológicos

El estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental o ex post-facto, donde no se manipularon las variables para la recolección de datos, siendo una investigación transversal, el cual refiere que los datos fueron recogidos en un solo momento y tiempo, para Hernandez, Fernández & Baptista (2014), la investigación que se realiza sin manipular variables, es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables, lo que

hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlo.

Tiene un enfoque cuantitativo, donde se pudo encontrar nexos entre causas y sus efectos en la realidad académica que se suscita en la post pandemia, por lo referido se realizara encuestas online tipo Likert, el cual cuenta con 5 dimensiones como 1) organización académica, 2) desarrollo del proceso enseñanza – aprendizaje, 3) infraestructura, 4) servicios y 5) formación integral del estudiante, así también una encuesta orientada a factores económicos y sociales que son parte del proceso enseñanza-aprendizaje.

Resultados alcanzados

Organización académica

El grado de satisfacción en relación al cumplimiento de las actividades planificadas en la carrera de bioquímica y farmacia, reflejan un índice de satisfacción en un 56% seguido de un 24% que se encuentra poco satisfecho. Respecto a los contenidos teóricos desarrollados de manera presencial y en plataforma el 62% de muestra su satisfacción y un 22% se encuentra poco satisfecho, el desarrollo práctico y laboratorios que son esenciales para la formación de los universitarios, reflejan que el 55% está satisfecho y un 23% muy satisfecho; la gráfica también refleja índices muy bajos de insatisfacción respecto a la organización académica.

Denotar que esta casa Superior de Estudios desarrolla sus contenidos curriculares mediante cinco Hitos, los cuales se desarrollan dentro de una evaluación continua y una evaluación procesual, siendo ambos evaluados de manera presencial y mediante la plataforma de la institución

Desarrollo del proceso enseñanza - aprendizaje

La percepción de los universitarios respecto al dominio que demuestran los docentes en los entornos virtuales de enseñanza aprendizaje EVEA, es satisfactorio en un 55%, un 21% poco satisfecho, un 17% muy satisfecho e índices muy bajos de insatisfacción, esta percepción es reflejo de la formación y actualización de talleres y cursos que brinda esta institución sus docentes.

Respecto a las estrategias y metodologías utilizadas por los docentes en esta educación híbrida, el 54% de los encuestados se encuentran satisfechos y un 26% poco satisfecho, también es importante conocer la percepción sobre las estrategias de evaluación que aplican los docentes dentro del curso y de manera online, al respecto el 56% se encuentra satisfecho, un 23% poco satisfecho y un 16% muy satisfecho; ambas estrategias presentan porcentajes bajos de percepciones muy insatisfecho e insatisfecho.

La gráfica sintetiza puntos relevantes respecto a la organización de tiempo, lo cual incluye duración de las clases teóricas y prácticas, donde el 53% se encuentra satisfecho, un 26% poco satisfecho. La asesoría académica por parte del docente indica que fue satisfactorio en un 55%, esto quiere decir que el docente se realiza el acompañamiento en clases presenciales y de la misma manera en plataforma generando un ambiente de confianza para que los participantes pregunten y expresen sus ideas, de esta manera sea más asertiva la asesoría y el seguimiento académico, también surgen actividades complementarias como generar videoconferencias, foros, debates, actividades deportivas, visitas o salidas de prácticas correspondientes a la carrera, entre otras actividades que organiza la Universidad, el 63% está satisfecho, un 20% poco satisfecho y un 15% se encuentra muy satisfecho.

Infraestructura y servicios universitarios

La percepción sobre la facilidad y comprensibilidad en la navegación de la plataforma virtual es satisfecho en un 43%, un 31% poco satisfecho y 13% muy satisfecho, este porcentaje menor al 50% da a entender que el estudiante tiene dificultades en el uso de la plataforma, es importante brindar talleres y capacitaciones para fortalecer el uso de las tecnologías de información y comunicación TIC.

Respecto a la a la interrogante ¿qué tan satisfecho estás con la infraestructura y los servicios que ofrece la Universidad? Un 41% se encuentra satisfecho, 29% poco satisfecho y un 18% muy satisfecho, esta interrogante se estructura en criterios de mejora que debes realizar la Universidad, entre los cuales resaltan la mala conectividad Wi-Fi, pocos ambientes recreativos, mala atención del comedor, condiciones de laboratorio en épocas de invierno(frio) y plataforma virtual (cortes repentinos en actividades evaluativas).

Respecto al acceso y las medidas de bioseguridad que implementa la Universidad, como ser molinetes para para ingresar mediante credencial que es otorgado a los estudiantes al momento de su inscripción, también la ampliación de la red de cámaras que brindan mayor seguridad al estamento universitario, en este sentido, el 62% se encuentra satisfecho, un 23% muy satisfecho y un 12% poco satisfecho.

Formación integral del universitario

El criterio de satisfacción sobre si la implementación de la educación híbrida le ayudó a fortalecer sus conocimientos, un 51% se encuentra satisfecho, un 28% poco satisfecho y un 13% muy satisfecho.

Un 46% se encuentra satisfecho y motivado por el uso de los entornos virtuales que adoptó la Universidad como parte de su proceso de enseñanza aprendizaje, un 31% se encuentra poco satisfecho y un 14% muy satisfecho.

Al respecto de cómo fue su experiencia en una educación híbrida como estudiante de la Universidad privada Franz Tamayo fue satisfactorio en un 57%, un 23% señala que fue poco satisfactorio y 14% se encuentra muy satisfecho.

Otros factores determinantes de la percepción

Cuenta con conexión de Wifi

Parte del proceso de una educación híbrida es relevante saber si el estudiante cuenta con conexión a una red de Wi-Fi, de esta manera se logró determinar que el 78% cuenta con la conectividad para trabajar de manera asincrónica desde su hogar, permitiendo mayor comunicación con sus compañeros, docentes y administrativos mediante la plataforma y aplicaciones dispuestas por la Universidad.

Recursos económicos y dominio de las TIC

La interrogante planteada si tienen los recursos económicos para pasar las clases virtuales satisfactoriamente el 54% de los universitarios responden que si, un 34% tiene pocos recursos económicos y un 12% no cuenta con las posibilidades económicas para pasar las clases virtuales satisfactoriamente.

En relación al dominio de las herramientas tecnológicas de los universitarios responden en un 52% que tienen poco dominio, un 40% si tiene el dominio y un 8% no tiene dominio de estas herramientas tecnológicas, estos datos permitirán plantear estrategias de apoyo en el ámbito de las TIC hacia los universitarios.

Herramientas tecnológicas con las que cuenta

En su mayoría que es el 92% de la población universitaria cuenta como recurso principal el celular, el 42% cuenta con una laptop donde realiza sus actividades académicas e interacción con la plataforma, un 17% tiene computadora de escritorio y un porcentaje muy bajo de 4% que cuenta con Tablet, entonces no todos los universitarios se encuentran en las mismas condiciones respecto al uso y tenencia de estas herramientas tecnológicas que son esenciales para un desarrollo óptimo dentro de su aprendizaje – enseñanza.

Discusión

En primera instancia medir o evaluar la satisfacción universitaria es importante porque contribuye significativamente el mejoramiento de la calidad educativa impartida y ofrecida

por los actores de la educación sean estos académicos y administrativos. Esta investigación de satisfacción universitaria contribuirá a la mejora y al éxito académico, la permanencia en el tiempo de la institución y la formación de una valoración positiva elevando el prestigio y reputación de esta casa superior de formación de estudios.

La metodología de esta investigación puede ser utilizada por otras instituciones de Educación Superior, porque hoy en día los estudios sobre satisfacción estudiantil son requeridos por los organismos internacionales de evaluación universitaria y un indicativo de áreas de mejora para un mejor posicionamiento en desempeño académico entre instituciones de Educación Superior.

Se necesita fortalecer el conocimiento de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en los docentes y universitarios mediante seminarios y talleres orientados al desarrollo de las clases en modalidad híbrida, de la misma manera generar

infraestructura con acceso a Wifi para el desarrollo pleno del avance curricular presencial y virtual.

Conclusiones

La percepción de los universitarios en el PEA en modalidad presencial y virtual respecto al dominio, estrategias, metodologías, organización de tiempo, asesoría, evaluación y actividades complementarias hacia su formación por parte de los docentes es satisfactorio. De la misma manera se encuentran fortalecidos y motivados con esta modalidad híbrida, calificando su experiencia satisfactoria.

La organización académica respecto al cumplimiento de las actividades planificadas, desarrollo de contenido teórico-práctico, organización de talleres, seminarios y la atención de los administrativos a sus requerimientos también fue satisfactorio en más del 50% de los universitarios encuestados.

Respecto a la infraestructura, servicios de navegación y acceso a la plataforma virtual el estamento universitario está satisfecho en un margen del 42%, debiendo mejorar en alguna medida los servicios de Wifi y navegación de la plataforma, respecto al acceso y bioseguridad a esta casa de estudios una gran mayoría se encuentra satisfecho.

Los universitarios en su mayoría cuentan con conexión a wifi en su domicilio, también cuentan con los recursos para acceder a una herramienta tecnológica, en este sentido la mayoría señala que cuenta con celular y laptop, sin embargo, una mayoría tiene poco dominio de estas herramientas virtuales.

Referencias

Bullón, V. (2007, agosto 11). La satisfacción estudiantil con la calidad educativa de la universidad. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias y Letras

Humanas. Retrieved June 15, 2023, from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/620/BULL%C3%93N>

Egido, I. (n.d.). Tendencias Pedagógicas. Reflexiones en torno a la evaluación de la calidad educativa. Retrieved marzo 25, 2023, from https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/4734/31237_2005_10_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gento, S., & Vivas, M. (2023, septiembre). El SEUE: un instrumento para conocer la satisfacción de los estudiantes universitarios con su educación. *Acción Pedagógica*, 12(2), 23.

Hernández, R., Fernández, C., & Bautista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGraw Hill.

Himmel, E. (n.d.). Modelos de análisis de la deserción estudiantil en la educación superior. *Calidad en la Educación*, 91. <https://doi.org/10.31619/caledu.n17.409> Llor, C. (2020, septiembre 9). Como afrontan las universidades el desafío de la educación virtual en tiempos de pandemia. *El Universo*.

Mejias, A., & Martinez, D. (2009). Desarrollo de un instrumento para medir la satisfacción estudiantil en educación superior. *Docencia Universitaria*, 10(2), 1-19. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/sadpro/Documentos/docencia_vol10_n2_2009/5_mejias_agustin_y_martinez_domelis.pdf

Quisbert, H. (2010). esis. Niveles de satisfacción y de aprobación como resultado de la implementación de medios didácticos informáticos en el PEA de la matemática. Caso primer semestre de la Carrera Electrónica en la Escuela Industrial Superior "Pedro Domingo Murillo". Universidad Mayor de San Andrés.

Sánchez, J. (2018). Satisfacción estudiantil en Educación Superior: validez de su medición. Universidad Sergio Arboleda.

Surdez, E., Sandoval, M., & Lamoyi, C. (2018, septiembre 26). Satisfacción estudiantil en la valoración de la calidad educativa universitaria. *Educación y Educadores*, 21(Universidad de la Sabana). <https://doi.org/10.5294/edu.2018.21.1.1>

Trabelsi, M. (2020, enero 21). El vínculo entre el consumidor y las marcas privadas y la fidelidad a la tienda: el papel de la satisfacción. *Open Journal of Business and Management*, 8. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2672890>

Propuesta de herramientas informáticas para contribuir al proceso de enseñanza - aprendizaje en la universidad privada Franz Tamayo

Estefanía Justina Carrión¹⁹

Resumen

Para el presente trabajo se ha considerado el tipo de investigación descriptivo debido a que el objeto de la investigación es examinar un problema poco estudiado.

Asimismo, tendrá como objetivo principal el proponer herramientas que podrían contribuir al proceso de enseñanza aprendizaje de la Universidad Privada Franz Tamayo de la ciudad de La Paz.

Por consiguiente, se pretende llegar a resultados que beneficien tanto a docentes como a estudiantes a través de la elaboración de una propuesta de herramientas informáticas que cuente con todos los recursos necesarios para fortalecer el mencionado proceso de enseñanza – aprendizaje de la comunidad estudiantil.

Para este fin se tomará en cuenta diferentes situaciones por las que atraviesan las universidades. Por ejemplo; en la actualidad la universidad en el ámbito de la docencia tradicional, se ve enfrentada a un nuevo paradigma, en el cual tanto docentes como alumnos deben asumir nuevos roles en un modelo de enseñanza que facilite el aprendizaje, y que responda a los requerimientos de la demanda actual, de acuerdo con las nuevas tendencias de la sociedad, de la cultura de la información y del conocimiento. Lo que exige a las instituciones de educación superior formar un profesional creativo, con autonomía, capaz de comunicarse, con conocimiento de las nuevas tecnologías y autogestión, que le permitan incorporarse al mundo laboral en forma eficiente como así también competente.

Finalmente es importante citar que en este contexto emergente frente a la presencia inevitable de las tecnologías de información y comunicación, los docentes, alumnos y autoridades universitarias necesitan reflexionar acerca de su quehacer; para reorientar y diversificar la pedagogía, ser capaces de modificar las actuales prácticas metodológicas, transformar las modalidades didácticas, los enfoques de evaluación aplicados por los docentes, que al mismo tiempo implica una revisión profunda del uso y aplicación de las tecnologías de la información.

Palabras claves: Herramientas Tecnológicas. Procesos de Enseñanza – Aprendizaje, Universidad Privada Franz Tamayo.

¹⁹ Universidad Privada Franz Tamayo - Sede La Paz.

Abstract

For this work, the descriptive type of research has been considered because the object of the research is to examine a little-studied problem

Likewise, its main objective will be to propose tools that could contribute to the teaching-learning process of the Franz Tamayo Private University in the city of La Paz.

Therefore, it is intended to achieve results that benefit both teachers and students through the development of a proposal for computer tools that have all the necessary resources to strengthen the aforementioned teaching-learning process of the student community.

To this end, different situations that universities are going through will be taken into account. For example; currently the university in the field of traditional teaching is faced with a new paradigm, in which both teachers and students must assume new roles in a teaching model that facilitates learning, and that responds to the requirements of current demand, in accordance with the new trends of society, of the culture of information and knowledge. This requires higher education institutions to train creative professionals, with autonomy, capable of communicating, with knowledge of new technologies and self- management, which allows them to enter the labor market in an efficient and competent manner.

Finally, it is important to mention that in this emerging context, faced with the inevitable presence of information and communication technologies, teachers, students and university authorities need to reflect on their work; to reorient and diversify pedagogy, to be able to modify current methodological practices, transform teaching methods, evaluation approaches applied by teachers, which at the same time implies a deep review of the use and application of information technologies.

Keywords: Technological Tools. Teaching-Learning Processes, Franz Tamayo Private University.

Introducción

Ahora bien, en referencia a los antecedentes de la investigación, en la actualidad se observa tendencias de globalización, por lo que se requiere de la utilización de nuevas tecnologías, lo que implica la elevación del nivel de complejidad de las actividades, y genera la creación de mayor cantidad de puestos de trabajo que hacen imprescindible una mayor capacitación de la fuerza laboral para realizar operaciones con nuevos tipos de tecnología sofisticadas, y al mismo tiempo tiende a disminuir los puestos de trabajo no calificados o semi- calificados, basados principalmente en la experiencia.

A continuación, se describen teorías e investigaciones previas relevantes en el panorama nacional e internacional relacionadas con el tema de investigación.

Propuesta de construcción política para el uso de las TIC en Costa Rica. Este país, al igual que el resto de los países latinoamericanos, enfrenta la necesidad de ajustar su sistema social y económico, de forma tal que proporcione las herramientas que posibiliten a la población

actuar de forma exitosa en sus actividades, y encarar los cambios que se producen a nivel internacional. (Área, 2001, pág. 45)

La tesis “Uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en actividades de formación universitaria” realizada por José Alberto Blanco Riveros de la Universidad Mayor de San Andrés – Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, la misma que tiene por objetivo identificar los usos reales que dan docentes y universitarios a las tecnologías de información y comunicación en las actividades de formación universitaria. La conclusión más importante a la que llegó mencionada investigación fue la siguiente: Los estudiantes como un sector pasivo y poco influyente en la actual coyuntura de formación universitaria, hacen uso de estas herramientas en un simple utilitarismo casual y frecuente, dependiente de variables como la necesidad de información o la urgencia en la comunicación en aspectos individuales hacia la colectividad.

Los docentes, agentes principales de la innovación metodológica en el aula, hacen un uso indiferente y con poca frecuencia de las tecnologías de la información y comunicación dándole una actuación mínimamente necesaria para la presencia en el aula (Blanco, 2010, pág., 9 - 103).

El siguiente trabajo de investigación que lleva por título “Competencias tecnológicas de las maestras y maestros en la elaboración de medios educativos audiovisuales” elaborado por Pablo Antonio de la Cruz, para la Universidad Mayor de San Andrés que tiene por objetivo determinar las competencias tecnológicas de las maestras y maestros en la elaboración de medios educativos audiovisuales del subsistema de educación regular: inicial, primaria y secundaria en el departamento de La Paz.

La conclusión más importante a la que se llegó fue la siguiente:

Tomando en cuenta la generalidad de la encuesta preliminar los resultados revelan que la mayoría de los participantes tienen muy poco conocimiento de las Tecnologías de Información y Comunicación y de los programas en software, este que deriva a las Competencias Tecnológicas de las maestras y maestros en la elaboración de medios educativos audiovisuales (De la Cruz, 2015, pág. 10)

La versión preliminar del Ministerio de Educación de Bolivia “Escuelas Superiores de Formación de Maestras y Maestros, un informe sobre 1er Taller de TIC y Educación”. Al ser este un taller de Tecnologías de la Información y la Comunicación, se plantean actividades de aprendizaje que incluyen, reflexión, análisis, puesta en práctica de algunas habilidades y la elaboración de pequeños documentos de investigación individuales y grupales que serán de utilidad para profundizar los contenidos de la unidad que si bien desarrolla los diferentes elementos no puede agotar la temática solo en un texto.

Las Tecnologías de la información y comunicación ofrecen a los docentes la posibilidad de replantear las actividades tradicionales de enseñanza, para ampliarlas y complementarlas con nuevas actividades y recursos de aprendizaje.

Se podría hablar de la posibilidad de utilizar una gran cantidad de recursos digitales disponibles, tanto elaborados por empresas comerciales como por los propios profesores, especialmente al software educativo, aunque podría hablarse también de otros objetos de aprendizaje. (Gómez, 2007, pág. 151)

Finalmente, en el documento sobre el “Estado de las Tecnologías de Información y Comunicación en el Estado Plurinacional de Bolivia”. El uso de tecnologías de información y comunicación (TIC) de última generación en toda la sociedad se ha universalizado, modificando sustancialmente las relaciones económicas, sociales, políticas y culturales. También se han generado nuevos paradigmas en la relación estado y sociedad a partir de la implementación y uso de la tecnología.

Y es que en los últimos años el estado boliviano ha invertido miles de millones de dólares para transformar el paisaje tecnológico del país. Desde la implementación de telecentros comunitarios, la distribución de ordenadores personales a los maestros y jóvenes de secundaria de todo el país, el espectacular lanzamiento del Satélite TK-1, el despliegue de redes de fibra óptica por todo el territorio, hasta el uso de firma digital.

Una vez analizados los distintos perfiles digitales dentro de la población boliviana, se puede establecer que: (AGETIC, 2018, pág., 459)

La mayoría de la población corresponde al perfil del o la “Principiante Digital” con el 46%, seguida por el “Hiperconectado Digital” con el 23%, “Indiferente Digital” con el 20%, y por último, con el 13% el perfil denominado “Geek Digital”.

El hecho de que la mayor parte de la población corresponda al perfil “Principiante Digital”, permite entender las dificultades que existen para adentrarse crecidamente a las distintas herramientas que ofrecen las Tecnologías de la Información y la Comunicación. Se encuentran limitantes técnicas: infraestructura, la conectividad y equipamiento; y limitantes económicas, que hacen más dificultoso el “ascenso digital” dentro de la población, sin que esto implique que sea determinante.

En cuanto a la situación problemática, las instituciones educativas principalmente las universidades hoy en la actualidad se encuentran utilizando las Tecnologías de la Información y Comunicación TIC, entre ellas está la Universidad Franz Tamayo de La Paz (UNIFRANZ), mencionada institución se encuentra adaptando sus tradicionales modelos de enseñanza a las posibilidades educativas que ofrecen las TIC como medio de apoyo para la enseñanza. Esto ha significado desarrollar y planificar modelos de enseñanza más flexibles y accesibles, donde el profesor deja de ser fuente de todo conocimiento y asume un rol de orientador en el proceso de aprendizaje, facilitador de recursos y de herramientas que permitan al estudiante explorar, como así también elaborar nuevos conocimientos de forma más efectiva, responsable y comprometida con el propio aprendizaje.

En este sentido, Cabero (2002) destaca algunas investigaciones cuyos resultados muestran que las actitudes hacia los medios informáticos condicionan significativamente el rendimiento, requiriéndose indagar en el impacto que están teniendo estos recursos en el

proceso enseñanza, y en qué medida desarrollan y/o potencian determinadas habilidades y destrezas necesarias para el logro de los objetivos educativos.

El contexto actual de la educación boliviana nos señala una integración paulatina de los recursos tecnológicos a las actividades cotidianas de profesores y estudiantes.

Por tanto, los profesores deben poseer los niveles de conocimiento y habilidades necesarias para acompañar a sus estudiantes durante este proceso, al mismo tiempo asumir que la incorporación de estas herramientas tecnológicas facilitará su quehacer pedagógico como así también administrativo, además, de enriquecer los ambientes de aprendizaje.

En el caso de la UNIFRANZ, misma que viene desarrollando sus actividades académicas desde el año 1970, ha generado una dinámica de cambios que inducen a repensar los procesos educativos y los métodos de uso asociados a la innovación y al cambio. Se puede decir que este proceso de incorporación de las TIC en la enseñanza obedece a dos miradas: por un lado, la tecnológica, por otro lado, la didáctica, elementos fundamentales para los diseños de instrucción que deberán asumir los afectos a esta tarea asociando las TIC con la teoría constructivista, en un sentido teórico y al enfoque de la comunicación en cuanto a la interacción entre los actores. En este contexto, la enseñanza debería producir una adaptación entre la singularidad pero también en la construcción personal de aprendizajes significativos de los que aprenden, de manera que sea significativa; esta responsabilidad la debe asumir el profesor que guía los aprendizajes, sin dejar de considerar que el que enseña se encuentra inserto en una cultura donde las características definidas por los significados sociales van a determinar y establecer su forma de actuar y de ser condicionando por su percepción de la realidad lo que en definitiva influye en su quehacer profesional.

Sin lugar a dudas, los mecanismos de evaluación utilizados son necesarios e importantes para dar una visión apropiada del impacto de la incorporación de estos recursos en las prácticas pedagógicas de los profesores. Importante será entonces, estudiar aquellas herramientas que se emplean como parte de las Tecnologías de la Información y la

Comunicación para la labor pedagógica, en el contexto y condiciones que ofrece la universidad.

Sin embargo, la comunicación, la productividad y el aprendizaje han mejorado sustancialmente con el uso apropiado de las TIC. El masivo impacto de la informática ha tocado a la educación en todos sus niveles de enseñanza, constituyendo para los profesores un desafío para las prácticas pedagógicas usadas actualmente, problematizando notoriamente su quehacer y a la vez, incentivándolos a la reflexión e innovación pedagógica.

Es válido, siguiendo a Berger y Luckmann, (1999) decir que “la sociedad es una realidad objetiva, y que las personas son producto de una sociedad que ellas mismas crean” significaría tener presente este ámbito en la construcción de los significados que le otorgan los profesores, desde su espacio socio – cultural a las TIC y a la incorporación de ellas en su quehacer pedagógico (Pág. 50)

Finalmente, los profesores, están sujetos a percibir su realidad de acuerdo a sus connotaciones socio – culturales y a su interacción con los otros en un espacio determinado y particular que lo condicionan en su forma de pensar y en su actuar. Por tanto, serán ellos los que asignarán la importancia y significado a las TIC, desde su percepción; no sólo considerando su uso, sino también las implicancias de ello, en el proceso de Enseñanza y de Aprendizaje.

Metodología de análisis y recolección de datos Formulación del Problema

¿Qué herramientas informáticas podrán contribuir al proceso de enseñanza – aprendizaje de los docentes y estudiantes de la Universidad Privada Franz Tamayo de la ciudad de La Paz?

Objeto de estudio

Proceso de Enseñanza – Aprendizaje en la educación superior Campo de acción

Tecnologías de la Información y la Comunicación. Objetivos

Objetivo general

Proponer herramientas informáticas que podrían contribuir al proceso de enseñanza-aprendizaje en la Universidad Privada Franz Tamayo de la ciudad de La Paz

Objetivos específicos

Describir el panorama y tendencia de las TIC en relación a la educación superior por competencias.

Caracterizar y conocer las condiciones actuales como así también el contexto en el que docentes y estudiantes utilizan las TIC en la UNIFRANZ de la ciudad de La Paz.

Determinar el nivel uso y aplicación de las TIC que emplean docentes y estudiantes de la Universidad Privada Franz Tamayo de la ciudad de La Paz, para la labor pedagógica.

Proponer una red educativa de mayor interés y necesidad para los docentes hombres y mujeres que deseen trabajar con herramientas que les ayuden a conectarse y comunicarse con sus estudiantes.

Hipótesis

La elaboración de una propuesta de herramientas informáticas contribuirá a mejorar los procesos de enseñanza – aprendizaje de la UNIFRANZ de la ciudad de La Paz

Variables

A continuación, se hace mención a la identificación y definición conceptual de las variables de estudio del presente trabajo de investigación

Variable independiente: Utilización de herramientas informáticas.

Son programas, aplicaciones, que facilitan tareas académicas de modo más sencillo. Variable dependiente: Proceso de enseñanza- aprendizaje.

Proceso didáctico de transmisión del conocimiento donde el estudiante es el receptor del mismo.

Diseño Metodológico

En esta investigación se utilizó el método no experimental transversal caracterizado por la descripción de las variables identificadas, lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tales como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos (Hernández, et al, p. 149).

Enfoque

“El enfoque para la presente investigación es mixto porque constituye el mayor nivel de integración entre los enfoques cualitativo y cuantitativo, donde ambos se combinan durante todo el proceso de investigación”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2016, p. 34).

El enfoque mixto es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, en una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema, o para responder a preguntas de investigación. (Mejía, 2010, p. 45).

Por lo tanto, se empleó la investigación mixta ya que se aplicó un cuestionario, se realizó entrevista a informantes claves y observación directa.

Tipo de investigación

En la presente investigación se ha considerado el tipo de investigación descriptivo debido a que el objeto de la investigación es examinar un problema poco estudiado, ello permitirá describir las variables de análisis, examinando cada una de las partes específicas del problema, para luego explicar su comportamiento y llegar a conclusiones concretas. (Hernández, Fernández, Baptista 2003, p. 115)

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (Hernández, et al, p. 80).

Métodos, Métodos teóricos, Método inductivo

Hernández (2007) “el método inductivo va de lo particular a lo general, es un método que se basa en la observación, el estudio y la experimentación de diversos sucesos reales para poder llegar a una conclusión que involucra a todos ellos”. Pág. 95

Se procesaron y analizaron los datos obtenidos del cuestionario y se interpretó la información a través de las técnicas de investigación desarrolladas, donde a partir de ello se obtuvo una respuesta dada por parte de la población total.

Método investigación-acción

El objetivo de este método está en producir los cambios en la realidad estudiada. Por medio de este método nos preocuparemos por resolver los problemas específicos utilizando una metodología rigurosa. El objetivo de la utilización de este método es situarse en un contexto espaciotemporal, intencionalmente unido a la realidad de cada día que se origina a partir de la experiencia vivida.

La forma más extendida de la utilización del método de investigación-acción está en la noción de necesidad, entendida como una discrepancia entre lo que se vive y lo deseable y entre los principales puntos de partidas de una investigación acción aplicada a la docencia está en que un profesor sienta la necesidad de introducir cambios o modificaciones en su práctica educativa.

En este sentido, mencionada investigación permitirá elaborar una propuesta práctica para poder capacitar tanto a docentes como así también a los estudiantes en el uso diferentes herramientas digitales a través de una didáctica bien estructurada que beneficiará a la comunidad UNIFRANZ La Paz. (S. Daniel, Rivero B, 2008, pág. 42)

Métodos empíricos Cuestionario mixto

Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir, el contenido de las preguntas de un cuestionario puede ser tan variado como los aspectos que mida y básicamente se puede hablar de dos tipos de preguntas: cerradas y abiertas. (S. Daniel, Rivero B, 2008, pág. 64)

Para la presente investigación se utilizó el cuestionario mixto; vale decir, aquel que considera en su construcción tanto preguntas cerradas como abiertas, las cuales fueron

formuladas de acuerdo a los resultados e información relevante obtenidos en el marco teórico y conforme a las variables planteadas en la presente investigación.

Se encuestaron a estudiantes de las diferentes carreras de la Universidad Privada Franz Tamayo de la ciudad de La Paz.

Para tener seguridad que estas personas si pertenecen a la muestra y su opinión aportará a la investigación, el encuestador preguntó si es estudiante regular de alguna carrera y su interés por responder al cuestionario. De esta forma se evitó contemplar en el estudio, elementos que puedan quitar validez a los resultados.

Entrevista no estructurada

La entrevista, desde el punto de vista del método, es una forma específica de interacción social que tiene por objeto recolectar datos para una indagación. El investigador formula preguntas a las personas capaces de aportarle datos de interés, estableciendo un diálogo peculiar, asimétrico, donde una de las partes busca recoger informaciones y la otra es la fuente de esas informaciones. (S. Daniel, Rivero B, 2008, pág. 64)

En este sentido y para el presente trabajo de investigación se utilizó la entrevista no estructurada o no formalizada en la cual existe un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas, para su desarrollo se contó con la participación de informantes claves como ser autoridades de la universidad (directores de carrera) con el fin de recabar información de los estudiantes y docentes para la aplicación del instrumento. La observación

La observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento o conducta manifiesta. Puede utilizarse como instrumento de medición en muy diversas circunstancias. Es un método más utilizado por quienes están orientados conductualmente.

Puede ser participante o no participante. En la primera el observador interactúa con los sujetos observados, pero en la segunda no ocurre tal interacción. En relación a la segunda no se tuvo un contacto directo de interacción con los participantes (S. Daniel, Rivero B, 2008, pág. 68-69)

Estadístico – Población y muestra Población docentes

El universo de la investigación está compuesto por 692 docentes, de las carreras de Administración de Empresas, Administración de Hotelería y Turismo, Bioquímica y Farmacia, Contaduría Pública, Derecho, Diseño Gráfico y Producción Crossmedia, Ingeniería Comercial, Ingeniería Económica, Medicina, Odontología, Periodismo, Psicología, Publicidad y Marketing, Ingeniería de Sistemas

Muestra docentes

Para la muestra se contó con la partición de 62 docentes. Población estudiantes

El universo está compuesto por 3689 estudiantes, de la UNIFRANZ regional La Paz, lo cuales son parte de las diferentes carreras mencionadas en la población docente,

Muestra estudiantes

Para la muestra se contó con la participación de 67 estudiantes.

A continuación, se hace mención a los elementos empleados para la obtención de la población y muestra tanto de docentes como de estudiantes de la UNIFRANZ regional La Paz

Específicamente, para obtener el número de la muestra en los docentes y estudiantes se utilizó el muestreo probabilístico, mismo que se utiliza para poblaciones finitas; este

muestreo se obtiene aplicando la distribución normal Z, debido a que ésta es utilizada cuando la población finita es mayor a 30 elementos. (Murray R. 1997, p. 186). Su fórmula es:

Dónde: n = Tamaño de muestra Z = Nivel de confianza

P = Probabilidad de éxito

Q = Probabilidad de fracaso o rechazo E = Error muestral

N = Universo o población

En este sentido se tiene la tabla de población y muestra de los docentes Población y muestra de los estudiantes.

Finalmente, el muestreo es el probabilístico, mismo que fue determinado con un error del 10% un p. y q. 50%, el tipo de selección será con un procedimiento definido por el programa STATS.

Es importante recalcar que la presente investigación cuenta con un aporte teórico basado en bibliografía actualizada referente a las Tecnologías de la Información y la Comunicación como un aporte a los procesos de enseñanza – aprendizaje dentro del ámbito educativo.

Se tomó en cuenta información sobre el estado de la utilización de estas herramientas por parte de docentes y estudiantes en las universidades públicas del país como así también estudios realizados por el Ministerio de Educación y la AGETIC, los cuales permitieron visibilizar indicadores que todavía requieren un fortalecimiento en el uso de las TIC.

Por otro lado, se pretende que mencionado trabajo de investigación sea un aporte para la UNIFRANZ sobre todo para la parte práctica, para ello es necesario contar con profesionales dispuestos a la adquisición de nuevos conocimientos y aprendizajes propios de la docencia.

Considerando que se presenta un conjunto de investigaciones realizadas en universidades públicas del país donde los resultados muestran que el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación continúa siendo un punto débil dentro del ámbito educativo, esto debido a que no existe mucha practica por parte de los docentes al momento de impartir las clases, por otro lado, los estudiantes hacen un mal uso de estas herramientas o no las usan por falta de desconocimiento.

En este sentido el contar con una propuesta de herramientas en TIC, permitirá proveer nuevos medios con metodologías activas para mejorar la impartición de las asignaturas, donde el estudiante sea el principal protagonista y el docente actué como guía.

Acerca de las citas

5 Se pueden incluir notas a pie de página aclaratorias, de ampliación de conceptos, información sobre autorización de propiedad literaria u otras acerca del contenido.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados del instrumento utilizado para el alcance y cumplimiento de los objetivos de investigación.

Se presenta de manera numérica los resultados más significativos obtenidos en esta investigación. Para su objetivación a lo largo de las siguientes páginas se utilizan gráficos circulares y principalmente su respectiva explicación.

Para una mejor comprensión del lector se invita a revisar los anexos donde se encuentra a mayor detalle los resultados del instrumento aplicado.

DATOS GENERALES

Nota: Elaboración propia 2020 (No se incluyen las tablas, pero si los resultados).

Como se observa en la tabla N° 1, según datos más significativos, para el grupo de los docentes se tiene que el 42% de los mismos que trabajan en la UNIFRANZ regional La Paz pertenecen a la carrera de Publicidad y Marketing (PYM), así sucesivamente el 16% corresponde a la carrera de Sistemas (SIS), mientras que el 11% son docentes de la carrera de Medicina (MED) y finalmente el 10% pertenecen a la carrera de Periodismo (PER).

Así también, se presenta los datos más significativos obtenidos del grupo de estudiantes, donde se observa que el 16% pertenecen a la carrera de Bioquímica y Farmacia (BYF), el 13% son estudiantes de las carreras de Administración de Empresas (ADM), como así también de la carrera de Publicidad y Marketing (PYM), por otro lado se observa que el 10% son alumnos de las carreras de Contaduría Pública (CPU), y Sistemas (SIS), mientras que un 9% pertenecen a la carrera de Medicina (MED) y un 8% son parte de la carrera de Odontología (ODO)

EVALUACIÓN PERSONAL

Nota: Elaboración propia, 2020

Como se aprecia en la tabla N° 3, para el grupo de los docentes se observa que el 66% de los profesionales en educación utilizan “demasiado” la computadora, un 23% utiliza “bastante” esta tecnología, mientras que un 9% utiliza de manera “regular” la computadora para el proceso enseñanza – aprendizaje.

Para el grupo de los estudiantes, se tiene que el 36% utiliza “bastante” la computadora sobre todo para la realización de trabajos prácticos, mientras que un 30% de los alumnos hace un uso “demasiado” de este medio tecnológico, por otro lado, un 18% de los alumnos utiliza de manera “regular” la computadora, finalmente un 12% no utiliza para nada este medio tecnológico en el ámbito educativo.

Nota: Elaboración propia, 2020

Seguidamente, se tiene la tabla N° 11 donde se observa que el 48% de los docentes de la UNIFRANZ regional La Paz utilizan las TIC para realizar sus trabajos académicos y para preparar sus clases, el 27% también afirmó que utiliza “bastante” estas TIC en el ámbito educativo, mientras que un 15% refirieron utilizar de manera “regular” estas TIC, esto debido a que optan por clases más de tipo magistral con uso de papeles y otro tipo de metodologías más activas como por ejemplo el juego de roles.

Los resultados que se muestran para el grupo de los estudiantes, se tiene que un 27% de los alumnos utilizan “poco” las TIC para realizar sus trabajos escolares esto debido a que los docentes optan por solicitarles otras tareas como ser: ensayos, resúmenes, monografías, etc. Mientras que un 24% indicaron que si utilizan “bastante” las TIC sobre todo cuando los docentes les piden exponer sobre un tema o una investigación, finalmente un 18% de los alumnos refirieron que utilizan de manera “regular” mencionadas TIC.

Nota: Elaboración propia, 2020

Según datos ofrecidos por la tabla N° 15, de manera general tanto para el grupo de docentes como para el grupo de estudiantes en un porcentaje del 100% refirieron “no saber” si las Tecnologías de la Información y la Comunicación son importantes para la UNIFRANZ regional La Paz.

EVALUACIÓN DE LA UNIVERSIDAD

Nota: Elaboración propia, 2020

De acuerdo a la tabla N° 16, el 37% de los docentes que trabajan en la UNIFRANZ regional La Paz mencionaron no tienen acceso para “nada” al internet proporcionado por la universidad esto debido a que la señal es muy pobre o se satura con mucha facilidad dificultando la utilización del mismo, el 29% indicaron que tiene “poco” acceso al internet y el 23% de los docentes precisaron utilizar de manera “regular” el internet, por lo que la mayoría de los profesionales optan por la utilización de un servicio propio, en este caso el internet.

Asimismo, para el grupo de los estudiantes, se observa que el 33% accede de manera “regular” al internet de la universidad, sobre todo porque la señal es mala debido a la saturación por el uso de docentes y estudiantes, lo que dificulta la señal del WiFi, el 25% refirió no tener acceso para “nada” a internet de igual forma optando por la utilización de un servicio propio, finalmente el 22% de los alumnos tiene “poco” acceso a internet.

Nota: Elaboración propia, 2020

A continuación, la tabla N° 18 muestra que el 61% de los docentes indicaron que para “nada” es suficiente la velocidad del internet en la universidad y eso se ve reflejado al momento de conectar el WiFi para la utilización de la data show donde muchas veces la señal se cuelga dificultando el avance regular de la materia, finalmente el 24% mencionaron que es “poco” suficiente la velocidad del internet en la universidad por las situaciones mencionadas en la tabla N° 16.

Datos similares se observan el grupo de los estudiantes, donde el 64% indicaron que para “nada” es suficiente la velocidad del internet y un el 18% mencionaron que es “poco” suficiente la velocidad del internet en la universidad.

Nota: Elaboración propia, 2020

Como se explica en la tabla N° 20, el 27% de los docentes opinaron que los directivos han promovido “bastante” la capacitación de docentes en la utilización de las TIC en el aula, sin embargo, el mismo porcentaje es decir 27% también mencionaron que de manera “regular” los directivos han socializado este tipo de actividades, mientras que el 19% refirieron que los directivos han promovido “poco” este tipo de capacitaciones para los docentes que imparten clases en la UNIFRANZ regional La Paz.

Como se describe en la tabla N° 21, 32% de los docentes indicaron que de manera “regular” el personal administrativo utiliza las TIC, un 27% opinaron que este personal utiliza “poco” estas herramientas mientras que un 21% expresaron que los administrativos utilizan “bastante” las TIC.

Por otro lado, se tiene, que el 31% de los estudiantes mencionaron que el personal administrativo de la universidad utiliza de manera “regular” las TIC, un 25% dijeron que utilizan “poco” y un 22% expresaron que no utiliza las TIC para “nada”.

EVALUACIÓN DOCENTES

Nota: Elaboración propia, 2020

A continuación, los resultados de la tabla N° 22 muestran que el 47% de los docentes utilizan “bastante” el pizarrón como medio de enseñanza, un 31% utiliza “demasiado” y un 15% hace un uso de manera “regular”

El 36% de los estudiantes opinaron que los docentes utilizan “bastante” el pizarrón para el avance de las materias, el 25% utiliza de manera “regular” y el 21% utiliza “bastante” este medio de enseñanza.

Nota elaboración propia, 2020

Como se observa en la tabla N° 25, el 34% de los docentes utiliza “demasiado” el proyector de slites “diapositiva” en el avance de las diferentes materias, el 26% utiliza “bastante” este medio de enseñanza mientras que el 19 no utiliza para “nada”

Los estudiantes expresaron que el 25% de los docentes utilizan “bastante” este medio de enseñanza, mientras que el 21% utiliza de manera “regular”.

Nota: Elaboración propia, 2020

De acuerdo a los resultados ofrecidos en la tabla N° 26, se tiene que el 58% de los docentes de la UNIFRANZ utilizan “demasiado” data show para la impartición de las diferentes asignaturas y el 31% utiliza “bastante” este medio de enseñanza.

Como se observa en la tabla, el 37% de los estudiantes mencionaron que los docentes utilizan “demasiado” este medio de enseñanza en el avance de las materias, mientras que el 30% utiliza “bastante” y el 21% de los docentes hacen un uso “regular” de la data show.

EVALUACIÓN HERRAMIENTAS

Nota: Elaboración propia, 2020

Como se observa en la tabla N° 36, el 27% de los docentes utiliza bastante el Zoom para la impartición de las diferentes asignaciones, el 24% utiliza de manera “regular” esta herramienta, mientras que el 19% refirieron no utilizar para “nada” esta TIC en el avance de las materias.

El 60% de los estudiantes opinaron que no utilizan para “nada” el Zoom, mientras que el 13% manifestaron utilizar de manera “regular” o “poco” esta herramienta.

Nota: Elaboración propia, 2020

Como se describe en la tabla N° 38, el 27% de los docentes utilizan “demasiado” el Moodle para la programación del avance de las diferentes asignaturas, mientras que el 26% expresaron utilizar “bastante” esta herramienta y el 18% utiliza de manera “regular”

En cuanto a los estudiantes, se observa que el 69% no utilizan el Moodle en el avance de sus asignaturas, el 16% refirieron utilizar “poco” sobre todo para el envío de trabajos prácticos y el 13% utiliza de manera “regular”

Nota: Elaboración propia, 2020

Según datos ofrecidos en la tabla N° 42, el 58% de los docentes utilizan “demasiado” el Google Drive sobre todo para elaborar las carpetas docentes – estudiantes y la publicación de los planes de formación global de cada materia, así también el 29% utiliza “bastante” esta herramienta para compartir las carpetas estudiantes.

El 25% de los estudiantes expresaron utilizar de manera “regular” esta herramienta sobre todo para la subida de evidencias de cada asignatura, mientras que el 21% utiliza “bastante” y el 12% no utiliza para nada el Google Drive.

Nota: Elaboración propia, 2020

Como se observa en la tabla N° 43, el 27% de los docentes utiliza bastante el Google Classroom como parte del proceso enseñanza – aprendizaje, el 26% indicaron que utilizan “bastante” esta herramienta y un 21% utiliza de manera “regular”

El 34% de los estudiantes opinaron que utilizan de manera “regular” esta herramienta en el avance de las asignaturas, el 21% de los alumnos utiliza “bastante” el Google Classroom y el 22% indicaron que la universidad no utiliza para nada este medio de enseñanza.

Discusión y conclusiones

De acuerdo a la información obtenida en el trabajo de campo, con los resultados obtenidos y el análisis del instrumento, se logró cumplir con el objetivo general y específicos planteados para la investigación.

En lo que respecta a la revisión de la bibliografía, se concluye que las tecnologías de la información y la comunicación son las extensiones del hombre con las que cuenta actualmente en el mundo moderno para transmitir, difundir, informar, comunicar y producir una gama importante de protocolos, reglas, datos y conocimientos que permite al habitante del mundo occidental estar interconectado.

Por otro lado, en el diagnóstico se pudo evidenciar que la utilización de herramientas informáticas es de vital importancia tanto en docentes como en estudiantes, en este sentido la UNIFRANZ debe adaptarse a un más a las tendencias que constituyen desafíos en esta sociedad de la información, pensando en el cambio tecnológico como un contorno social que aporta elementos para la reconstrucción del vínculo curriculum-sociedad.

Ahora bien, la propuesta incrementará el nivel de uso por que ha introducido un nuevo estilo de enseñanza aprendizaje, abriendo espacios distintos de relación y comunicación hacia el fortalecimiento de procesos de construcción del conocimiento a nivel individual y colectivo con énfasis en los docentes.

Finalmente, se plantea la necesidad de dotar a los docentes de herramientas abiertas. Es decir, de herramientas de comunicación estándares, pero también más sofisticadas, así como de herramientas para la creación o adaptación de sus propios contenidos.

VI. Conclusiones y recomendaciones

La Academia Nacional de Ciencias de Bolivia (ANCB), la Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC) y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) organizaron la “Cumbre Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación 2024 (CNESCTI 2024)” los días 7 y 8 de noviembre de 2024. El evento se llevó a cabo en el Auditorio de la Carrera de Informática de la UMSA en la ciudad de La Paz.

El propósito principal de la cumbre fue establecer un foro nacional para el intercambio de conocimientos y estadísticas actualizadas, el debate de problemáticas, la proposición de soluciones, el descubrimiento de nuevas ideas, la forja de colaboraciones entre investigadores y la incidencia en políticas públicas. Además, la cumbre ofreció a investigadores bolivianos y extranjeros la oportunidad de difundir sus trabajos científicos mediante la presentación de artículos, lo que fue particularmente beneficioso para el crecimiento profesional y el reconocimiento académico de los jóvenes. De esta manera, la CNESCTI 2024 constituyó un espacio para el intercambio de conocimiento entre entidades académicas, empresas públicas y privadas, la sociedad civil y organismos internacionales.

Para esta edición, la Cumbre se estructuró en torno a cinco ejes temáticos fundamentales:

- Educación Superior
- Recursos Hídricos
- Seguridad Alimentaria
- Transición Energética
- Cambio Climático

Los participantes expusieron sus investigaciones dentro de estos ejes con el fin de fortalecer el rol de la Educación Superior, la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, y así contribuir a la transformación y adaptación de la sociedad boliviana frente a un mundo cambiante y globalizado.

Tras las conferencias magistrales, en especial la elaborada por la Academia Nacional de Ciencias sobre Educación Superior, y la presentación de los artículos seleccionados, se realizó una sesión de preguntas y respuestas. Esta sesión permitió abordar los hallazgos, desafíos, oportunidades y tendencias identificados en los principales ejes temáticos:

1. Educación Superior: Los expertos presentaron una significativa cantidad de artículos enfocados en diversos modelos de enseñanza-aprendizaje innovadores, la transformación digital y tecnológica, y la inclusión a través de la educación terciaria, lo cual fue expuesto por el representante del Banco Mundial. También se trató la vinculación entre academia, industria y sociedad, conocida como la triple hélice.
2. Recursos Hídricos: Se abordaron temas clave como la gestión sostenible, las tecnologías de conservación y reutilización del agua, y el acceso equitativo.

3. Transición Energética: Aunque este eje temático tuvo menos presentaciones de artículos, se puso un fuerte énfasis en las energías renovables y las tecnologías de eficiencia energética.

4. Seguridad Alimentaria: Los puntos centrales fueron los sistemas agroalimentarios sostenibles, la preocupación por la contaminación del suelo, aire y agua por agroquímicos, la innovación agrícola, y el acceso equitativo a alimentos saludables.

5. Cambio Climático: Los temas principales incluyeron las estrategias de mitigación, resiliencia y adaptación, políticas alineadas con convenios internacionales, y tecnologías verdes.

A partir de estos ejes temáticos, se derivaron las siguientes recomendaciones:

1. Educación Superior: El reto primordial para la educación superior en Bolivia es su transformación continua para satisfacer las demandas de una sociedad del conocimiento en constante evolución. Aunque la masificación del acceso es un logro, ha generado brechas en la calidad, pertinencia y equidad. No obstante, esta situación representa una valiosa oportunidad para rediseñar los sistemas universitarios, impulsando la innovación pedagógica, la investigación aplicada y estableciendo vínculos más robustos con el desarrollo nacional, departamental y municipal. La tendencia actual se dirige hacia modelos híbridos de enseñanza-aprendizaje, la internacionalización académica y la consolidación de sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación articulados con políticas públicas de desarrollo sostenible.

2. Recursos Hídricos: La gestión hídrica se ve sometida a una presión creciente debido al aumento demográfico, la expansión agrícola y el cambio climático. En diversas regiones, la gobernanza del agua es fragmentada y carece de una visión integral basada en cuencas hidrográficas. Pese a ello, surgen oportunidades significativas a través del uso de tecnologías de monitoreo, sistemas de alerta temprana y estrategias de gestión participativa e intercultural del agua. La tendencia global se inclina hacia un enfoque ecosistémico, priorizando la seguridad hídrica, la recuperación de fuentes naturales y la resiliencia ante eventos extremos como sequías e inundaciones.

3. Transición Energética: La transición energética constituye un imperativo global, presentando un desafío particular para los países en desarrollo, que deben reducir sus emisiones sin comprometer su crecimiento. Bolivia, por ejemplo, tiene la oportunidad de diversificar su matriz energética al integrar fuentes renovables como la solar, eólica, geotérmica e hidroeléctrica a pequeña escala. Además, esta transición ofrece una oportunidad estratégica para generar empleo verde y fortalecer la soberanía energética. La tendencia actual se enfoca en la descentralización energética, los sistemas inteligentes de gestión y la participación activa de las comunidades locales en la producción y uso sostenible de la energía.

4. Seguridad Alimentaria: Asegurar la seguridad alimentaria trasciende la mera producción para abarcar el acceso, la sostenibilidad y la resiliencia. El cambio climático y la pérdida de biodiversidad, junto con los conflictos geopolíticos, impactan los sistemas alimentarios

globales. No obstante, surgen oportunidades a través de la agroecología, la recuperación de saberes ancestrales, la biotecnología y las cadenas cortas de comercialización. La tendencia se encamina a sistemas agroalimentarios sostenibles que logren un equilibrio entre productividad, nutrición y conservación ambiental, con un rol protagónico para pequeños productores, mujeres rurales y comunidades indígenas.

5. Cambio Climático: El cambio climático es el eje transversal que exacerba todas las problemáticas previas. Su naturaleza multidimensional exige respuestas articuladas entre la ciencia, la política y la sociedad. Aun cuando su impacto es desproporcionado en los países más vulnerables, también puede catalizar transformaciones positivas hacia modelos de desarrollo regenerativo. Las oportunidades incluyen el financiamiento climático, la planificación territorial resiliente y el fortalecimiento de las capacidades científicas y tecnológicas locales. Las tendencias actuales subrayan la urgencia de integrar la adaptación y mitigación en todas las políticas públicas, bajo principios de justicia climática, equidad intergeneracional y corresponsabilidad nacional.

Finalmente, se extiende un profundo agradecimiento a todos los participantes, organizadores, auspiciadores y colaboradores. Se enfatiza la importancia de la colaboración continua entre el gobierno en sus tres niveles, la academia, la cooperación internacional y los ciudadanos. Es imperativo continuar impulsando los temas abordados en esta Cumbre Nacional, y para conocerlos en detalle, se invita a la lectura de esta Memoria

VII. Anexos

VII.I. Programa

CUMBRE NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

Noviembre 7 y 8 de 2024

Auditorio, Edificio Carrera Informática, Piso 6 (Segundo Patio) de la UMSA, La Paz, Bolivia.

Nota: Este programa está sujeto a cambios de última hora.

JUEVES 7 DE NOVIEMBRE DE 2024			
HORA	LUGAR	DISERTANTE/INSTITUCIÓN	ACTIVIDAD/TEMA
8:00–9:00	Auditorio, Edificio Carrera Informática, Piso 6 (Segundo Patio)	Registro de Participantes	
9:00 a 9:40	IDEM	Vicerrector o Secretario General de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) -Manuel Enrique Arellano PhD. Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia (ANCB) -Ing. M.Sc. Gabriel Bustillos Presidente Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC) -Pedro Daniel Angulo Aranda Director de Educación Superior Universitaria del Ministerio de Educación.	Acto de Inauguración -Bienvenida por parte de los organizadores -Necesidad de realizar un evento como la “Cumbre Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación” (CNESCTI) -Presentación de los ejes temáticos de la CNESCTI 2024 -Palabras de Inauguración
EJE TEMATICO: EDUCACION SUPERIOR			
9:50 a 10:10	IDEM	Conferencia ANCB (Académico Pedro Crespo M.Sc.)	La visión de la ANCB sobre la Educación Superior en Bolivia hacia el 2040
10:20 a 10:40	IDEM	Conferencia CNI (Ing. Pablo Camacho, Presidente de la Cámara Nacional de Industrias)	Requerimientos de las empresas en Bolivia de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación
10:40 a 11:00	IDEM		Refrigerio y Networking

EJE TEMATICO: CAMBIO CLIMATICO			
11:00 a 11:20	IDEM	Video - Conferencia de la Asociación Internacional del Agua y Tecnológico de Monterrey (Pabel Fernández PhD)	Aplicaciones e Implicaciones Ambientales de la Nanotecnología
EJE TEMATICO: EDUCACION SUPERIOR			
11:30 a 11:50	IDEM	Conferencia IIDEPROQ - UMSA (Ing. Diego A. Miranda y Co-autor Waldo Vargas, Director Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos IIDEPROQ)	Perspectivas de la Investigación Académica en Suecia y Bolivia en el Marco de la Innovación Global
11:50 a 12:10	IDEM	ANCB, ABAC y UMSA	Resumen, preguntas, respuestas y sugerencias

12:10 a 14:00			Pausa Almuerzo
14:00 a 14:20	IDEM	Video - Conferencia del BM (Andreas Blom – Gerente de la Práctica de Educación del Banco Mundial)	Educación Terciaria
EJE TEMATICO: CAMBIO CLIMATICO			
14:30 a 14:50	IDEM	Conferencia ANCB (Ac, DAEN Dr. Horacio Toro)	Desastres Antrópicos, Sociales y su Impacto en la Salud Humana, Bolivia, 2023 - 2024
15:00 a 15:20	IDEM	Conferencia HELVETAS (Mariana Daza)	Ciudades Resilientes: Desafíos y Oportunidades
15:30 a 15:50	IDEM	Conferencia Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ (Génesis Nava)	Retos en la Gestión de los Recursos Hídricos en Bolivia
EJE TEMATICO: SEGURIDAD ALIMENTARIA			
16:00 a 16:20	IDEM	Video Conferencia FAO (Rosse Noda – Representante Adjunta de la FAO Bolivia)	Los Desafíos de los Sistemas Agroalimentarios en el Contexto Actual
16:30 a 17:00	IDEM		Refrigerio y Networking
EJE TEMATICO: TRANSICION ENERGETICA			
17:00 a 17:20	IDEM	Conferencia IDEPROQ – UMSA (Ing Boris Párraga Andrade M.Sc. e Ing. Geraldine Villa Canaviri)	Estudio y Aplicación de Electrodialisis para la Reducción de la Relación Mg/Li en la Salmuera de Silvinita del Salar de Uyuni
17:30 a 17:50	IDEM	ANCB, ABAC y UMSA	Resumen, preguntas, respuestas y sugerencias
VIERNES 8 DE NOVIEMBRE DE 2024			
8:00 a 9:00	IDEM	Registro de Participantes	
EJE TEMATICO: EDUCACION SUPERIOR			
9:00 a 9:20	IDEM	Artículo: Ruth Mercedes Laura Choque, Giovana Karla Torrez Juaniquina y Antonio López Andrade	Factores que influyen en el Ingreso y rendimiento en la Educación Superior de un Bachiller Alteño
9:20 a 9:40	IDEM	Artículo: Facundo Aliaga, Marco Bedregal y Edgar Salazar (UPB Santa Cruz)	El impacto de la enseñanza basada en artículos científicos en el área de procesamiento de señales
10:00 a 10:20	IDEM	Artículo: Benigno Caballero Claire y Rolando Caballero Martínez (UTO,	La Educación Universitaria en Bolivia. Un Análisis Multicausal de Elección Discreta

		UCB y UAGRM)	
10:20 a 10:40	IDEM	Conferencia (Cnel DAEN Dorian Ariel Arce Conde Ph.D)	Conocimiento Científico, Sinergia para el Desarrollo del Estado
10:40 a 11:00	IDEM		Refrigerio y Networking
11:00 a 11:20	IDEM	Conferencia Especialista en Educación y Desarrollo (Adhemar Poma Ph.D).	Tendencias Contemporáneas en el Enfoque de Competencias

11:20 a 11:40	IDEM	Conferencia ABAC (Ing. Carlos Fernández Mariño, PhD)	Las Ciencias de la Complejidad en la Educación Superior
11:40 a 12:00	IDEM	ANCB, ABAC y UMSA	Preguntas, Respuestas y Sugerencias
12:00 a 14:00			Pausa Almuerzo
EJE TEMATICO: RECURSOS HIDRICOS			
14:00 a 14:20	IDEM	Artículo: Ivette Echeverría Rojas, Oliver Saavedra Valeriano	Aplicación de un método AHP para la selección de la tecnología más adecuada para el tratamiento de las aguas residuales. Caso de estudio: Valle Alto de Cochabamba
14:20 a 14:40	IDEM	Artículo: Freddy Soria, Carolina Garvizu y Omar Salinas (UCB La Paz)	El papel de las aguas residuales en la propagación de la resistencia a los antimicrobianos: Revisión de investigaciones realizadas en enterobacterias en cuerpos de agua urbanos en Bolivia
14:40 a 15:00	IDEM	Artículo: Natalia Maite Romero Seleme, Nury Katya Rosales Rojas, María Mercedes Álvarez Caero, Henry Antezana Fernández	Degradación del Plaguicida Thiamethoxam por procesos de oxidación avanzada
15:00 a 15:20	IDEM	Artículo Melisa Maldonado Nogales, Pascual Maldonado López	Análisis de Turbobomba Hidráulica para Trasvase de Agua en la Provincia de Tiraque a al Valle Alto en Cochabamba
EJE TEMATICO: SEGURIDAD ALIMENTARIA			
	Presentación	Artículo: Winder Felipez, Martha Serrano, Jennifer Villavicencio, Wilson Siñaniz, Willams Pillco Antonio Costa de Oliveira (UNSXX)	Genes WRKY en Malus spp.: Identificación y Análisis de su Rol en la Adaptación a Estrés Abióticos
15:20 a 15:40	IDEM	Conferencia FAO (Sergio Ledezma – Agregado de Representación de la FAO Bolivia)	Hacia un Modelo Agroalimentario Sostenible: El Poder de la Innovación
15:40 a 16:00	IDEM	Artículo Sergio Daga (Virtual)	Impactos de Shocks Climáticos en los Resultados de la Agricultura de Granjas en Bolivia
16:00 a 16:20	IDEM	Artículo: Daniela Andrea Arteaga Voigt, Ángel Fernando Copa Bazán, Ruddy Luna Barrón	Identificación Genética de Insectos Plagas y sus Potenciales Biocintroladores para la Alerta Temprana

16:20 a 16:40	IDEM	Artículo: Evelyn Clara Agreda Terrazas y Agatha Da Silva Ovando	Análisis de viabilidad de un canal alternativo mixto para la comercialización de alimentos frescos conectando a productores y clientes en Cochabamba, Bolivia
EJE TEMATICO: CAMBIO CLIMATICO			
16:40 a 17:00	IDEM	Artículo Marko Andrade Uzieda, Mariela Iquize Jaillita, Saul Salazar Claros, y Rocio Guzmán	Proyecto Piloto de Estimulación de Nubes en el Valle Alto y Cono Sur de Cochabamba. Evaluación de resultados utilizando modelación numérica de clima y datos de reanálisis

17:00 a 17:20	IDEM	Artículo Jhonatan Enrique Ureña Camacho, Oliver Cristian Saavedra Valeriano	Análisis del modelo MIROC como GCM y RCM en la modelación hidrológica de la cuenca Guadalquivir, Bolivia
17:20 a 17:50	IDEM	ANCB – ABAC - UMSA	Conclusiones y Recomendaciones Recapitulación de los principales temas y conclusiones de la cumbre. Compromisos y próximos pasos para continuar promoviendo la Educación Superior, la Ciencia, la Tecnología y la Innovación hacia un futuro sostenible
17:50 a 19:30	IDEM	-Maria Eugenia García, Ph.D. Rector de la Universidad Mayor de San Andrés -Ing. Gabriel Bustillos, M.Sc. Presidente de ABAC - Manuel Enrique Arellano, Ph.D. Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia	Ceremonia de Clausura del Evento (Vino de Honor)

VII.II. Lista de asistentes a la cumbre nacional de educación superior, ciencia, tecnología e innovación

Noviembre 7 y 8, 2024

Número	FECHA	NOMBRE Y APELLIDOS	PROFESION U OCUPACION
1.-	7/11/2024	Williams Tapia Cáceres	Estudiante
2.-	7/11/2024	Cristian J. Velasco Conde	Estudiante
3.-	7/11/2024	Víctor Hugo Mamani Castro	Estudiante
4.-	7/11/2024	Jhonatan Ramiro Condori S.	Estudiante
5.-	7/11/2024	Ivar Fabricio Pérez Marca	Estudiante
6.-	7/11/2024	Waler Joaquín Villca Q.	Estudiante
7.-	7/11/2024	Steven Nicanor Jara Quispe	Estudiante
8.-	7/11/2024	Marisol Mayta Tinta	Estudiante
9.-	7/11/2024	Gonzalo Torrez Quino	Estudiante
10.-	7/11/2024	Clemente Aparca Rodrigo	Estudiante
11.-	7/11/2024	Patricia Llusco Soza	Estudiante
12.-	7/11/2024	Freddy Canqui M.	Estudiante
13.-	7/11/2024	Saraí Espinoza Bernal	Estudiante
14.-	7/11/2024	Mirta Marca Mamani	Estudiante
15.-	7/11/2024	Estefani A. López López	Estudiante
16.-	7/11/2024	Horacio M. Clavijo Apaza	Ingeniero
17.-	7/11/2024	Iver Mamani Cordero	Estudiante
18.-	7/11/2024	Carlos J. Callizaya Rosas	Estudiante
19.-	7/11/2024	Ariel A. Chipana Chambi	Estudiante
20.-	7/11/2024	Alejandro S. Choquehuanca L.	Estudiante
21.-	7/11/2024	Diego D. Quintana Rodríguez	Biólogo
22.-	7/11/2024	Stanley Escobar Alanoca	Estudiante
23.-	7/11/2024	Cesar J. Aquino H.	Ing. Ambiental
24.-	7/11/2024	Leonel Cespedes Herrera	Arquitectura

25.-	7/11/2024	Karen A. Quisbert Callizaya	Arquitectura
26.-	7/11/2024	Naira Nina Huacani	Estudiante
27.-	7/11/2024	Zulema Alejo Mamani	Estudiante
28.-	7/11/2024	Lucio E. Centellas Delgado	Estudiante
29.-	7/11/2024	Karina P. Cespedes Borda	Docente
30.-	7/11/2024	Malena M. Espinoza Choque	Ingeniería Química
31.-	7/11/2024	Williams Pilco Colque	DGI -UNSXX
32.-	7/11/2024	Winder Felipez Chiri	DGI -UNSXX
33.-	7/11/2024	Franklin Bustillos Gálvez	Académico
34.-	7/11/2024	Ruth Mercedes Laura Choque	Docente Inv. UPEA
35.-	7/11/2024	Mirka Rodríguez Burgos	Docente UMSA
36.-	7/11/2024	Efraín Callizaya Coquendo	Desarrollador S.
37.-	7/11/2024	Naira Nina Huacani	Est.-Ing. Ambiental
38.-	7/11/2024	Iver A. Cuellar Huanca	Estudiante
39.-	7/11/2024	Marcela Clavijo	Ingeniera Ambiental
40.-	7/11/2024	Oscar M. Santander Saavedra	Estudiante
41.-	7/11/2024	Ingrid X. Encinas Salazar	Estudiante
42.-	7/11/2024	Gabriela Bustillos Vega	Ingeniería Industrial
43.-	7/11/2024	Antonio G. Mamani Aliaga	Ingeniería Mecatrónica
44.-	7/11/2024	Anahí Shirley Quiroz Nina	Ingeniería Industrial
45.-	7/11/2024	Patricia Nogales Vera	Programador
46.-	7/11/2024	Javier Marca Flores	Estudiante
47.-	7/11/2024	Aquiles Aro Laura	Ingeniero
48.-	7/11/2024	José Luis Quispe	Estudiante
49.-	7/11/2024	Amílcar J. Yujra Chipana	Estudiante
50.-	7/11/2024	Omar Augusto Molina A.	Docente – UMSA
51.-	7/11/2024	Willy Gamboa Jaramillo	Ingeniería Industrial
52.-	7/11/2024	Carlos Vargas Arteaga	Estudiante

53.-	7/11/2024	Freddy Canqui Magne	Estudiante
54.-	7/11/2024	Abel Huacollo Choque	Estudiante
55.-	7/11/2024	Micaela Belmonte Ticona	Estudiante
56.-	7/11/2024	Gabriela A. Huanca Vargas	Estudiante
57.-	7/11/2024	Rolando Loza Quevedo	Estudiante
58.-	7/11/2024	John Fernando Condori	Estudiante
59.-	7/11/2024	Juan Pablo Flores Quispe	Estudiante
60.-	7/11/2024	Oscar A. Huanca Choque	Estudiante
61.-	7/11/2024	Hernán Pérez Ovando	Estudiante
62.-	7/11/2024	Jherson Brayan Alcón	Estudiante
63.-	7/11/2024	Cristhian F. Camargo Arce	Estudiante
64.-	7/11/2024	Ronald Ajata A.	Estudiante
65.-	7/11/2024	Miriam G. Mamani Quispe	Estudiante
66.-	7/11/2024	Nimber O. Mamani Mamani	Estudiante
67.-	7/11/2024	Jhoana P. Huanca Sirpa	Estudiante
68.-	7/11/2024	Stefany M. Aramayo Gamarra	Estudiante
69.-	7/11/2024	Luz Karina Torrez Cori	Estudiante
70.-	7/11/2024	Ana Graciela Valero	Estudiante
71.-	7/11/2024	Henry R. Quisbert Huanca	Estudiante
72.-	7/11/2024	Sonia Mamani Mamani	Estudiante
73.-	7/11/2024	Odalís I. Quenallata Llanos	Estudiante
74.-	7/11/2024	Edwin F. Carrillo Márquez	Estudiante
75.-	7/11/2024	Franz Lecoña Tusco	Estudiante
76.-	7/11/2024	Carolina V. Gonzales Rivera	Estudiante
77.-	7/11/2024	Julio E. Picorio S.	Estudiante
78.-	7/11/2024	Darle K. Ticona Y.	Estudiante
79.-	7/11/2024	Luis. F. Peñaranda	Estudiante
80.-	7/11/2024	Marina P. Cespedes Borda	Docente Investigador

81.-	7/11/2024	Malena M. Espinoza Ch.	Estudiante
82.-	7/11/2024	Giovanna K. Torrez J.	Docente Investigador
83.-	7/11/2024	Mariana A. Fuentes Parí	Estudiante
84.-	7/11/2024	Wilma Yapu Quispe	Estudiante
85.-	7/11/2024	Rashel M. Apaza Callisaya	Estudiante
84.-	7/11/2024	Brisa N. Tenorio Calle	Estudiante
85.-	7/11/2024	Diego de la Quintana R.	Biólogo
86.-	7/11/2024	Alison Laura Mamani	Ingeniería Química
87.-	7/11/2024	Belén A. Crespo Soto	Ingeniería
88.-	7/11/2024	Claudia Vega León	Hotelería
89.-	7/11/2024	Stanley Escobar Alanoca	Ingeniería Química
90.-	7/11/2024	Elizabeth Callizaya C.	Trabajo Social
91.-	7/11/2024	Fernando Urquidi Barrau	Geólogo
92.-	7/11/2024	Manis F.	Ingeniería Industrial
93.-	7/11/2024	Roció García Cornejo	Ingeniería Ambiental
94.-	7/11/2024	Maziel Y. Mamani Montaña	Ingeniería Química
95.-	7/11/2024	Ximena Cadima Fuentes	Ingeniera Agrónoma
96.-	7/11/2024	María Rene Cuentas	Estudiante
97.-	7/11/2024	Cesia J. Aquino H.	Estudiante
98.-	7/11/2024	Daniela S. Chipana C.	Ingeniería Industrial
99.-	7/11/2024	Wilfredo Tavera Llanos	Físico
100.-	7/11/2024	Andrea Salina	Geógrafa
101.-	7/11/2024	Roció S. Mamani M.	Ingeniería Electrónica
102.-	7/11/2024	Ana Rada Tarifa	Bioquímica
103.-	7/11/2024	Juan E. Figueredo Fernández	Ingeniería Química
104.-	7/11/2024	Carlos E. Catarí Apaz	Estudiante
105.-	7/11/2024	Neyzer E. Canaviri S.	Estudiante
106.-	7/11/2024	Vania A. Condori Lucero	Estudiante

107.-	7/11/2024	Sergio A. Lopez Márquez	Estudiante
108.-	7/11/2024	Kely N. Chambi Quispe	Estudiante
109.-	7/11/2024	Eddy Y. Chavez Gutiérrez	Estudiante
110.-	7/11/2024	Kevin J. Alvarado Mamani	Estudiante
111.-	7/11/2024	Sheyla M. Quino Aduviri	Estudiante
112.-	7/11/2024	Erika Corico Pasten	Estudiante
113.-	7/11/2024	Jhovana Chávez Apaza	Estudiante
114.-	7/11/2024	Miguel Ángel Condori P.	Estudiante
115.-	7/11/2024	Antonio Aruni	Estudiante
116.-	7/11/2024	Jenny E. Callizaya C.	Licenciada
117.-	7/11/2024	Yuliana A. Burgoa Apaza	Estudiante
118.-	7/11/2024	Ashely Arequipa	Estudiante
119.-	7/11/2024	Orlando B. Quispe Román	Estudiante
120.-	7/11/2024	Pedro Paco Mamani	Estudiante
121.-	7/11/2024	Sergio Sillo Flores	Estudiante
122.-	7/11/2024	Maylin a. Choque Delgadillo	Estudiante
123.-	7/11/2024	Diana Torrez Tapia	Estudiante
124.-	7/11/2024	Silvia Aron Aliaga	Estudiante
125.-	7/11/2024	Alejandro J. Herrera Arias	Estudiante
126.-	7/11/2024	Andrea E. Revilla Flores	Estudiante
127.-	7/11/2024	Gustavo R. Dávila Martínez	Estudiante
128.-	7/11/2024	María B. Villca Mamani	Estudiante
129.-	7/11/2024	Amaya Quisbert Cossío	Estudiante
130.-	7/11/2024	Franz A. Pairo Ch.	Estudiante
131.-	7/11/2024	Álvaro F. Barrados Yujra	Estudiante
132.-	7/11/2024	Alfonso F. Queya Condori	Estudiante
133.-	7/11/2024	Luis F. Mamani P.	Estudiante
134.-	7/11/2024	Fernanda Michel Lopez B.	Arquitectura

135.-	7/11/2024	Susana B. Zegarrundo Calle	Estudiante
136.-	7/11/2024	Cristian I. Mancilla	Estudiante
137.-	7/11/2024	Carla A. Oña Ralde	Estudiante
138.-	7/11/2024	Cesar Álvarez Villca	Estudiante
139.-	7/11/2024	Ximena Cadima	Ingeniera Agrónoma
140.-	7/11/2024	Mauricio Ramírez Salamanca	Ingeniero Civil
141.-	7/11/2024	Alan Simón Condori C.	Estudiante
142.-	7/11/2024	Skarlet A. Tito Flores	Estudiante
143.-	7/11/2024	Yan Sacha Maceda Vega	Estudiante
144.-	7/11/2024	Elizabeth Chávez Cocarico	Arquitectura
145.-	7/11/2024	Carlos A. Mamani Cutili	Arquitectura
146.-	7/11/2024	Pamela O. Vargas Lopez	Arquitectura
147.-	7/11/2024	Roció M. Heredia Choque	Arquitectura
148.-	7/11/2024	Bryan Marcelo Vargas Lopez	Arquitectura
149.-	7/11/2024	Rambert Mendizábal Daza	Sistema Informativo
150.-	7/11/2024	Manuel Arellano Ramírez	Físico
151.-	7/11/2024	Winder Felipez Chiri	Ingeniero Agrónomo
152.-	7/11/2024	Marcos Michel Lopez	Arqueólogo
153.-	7/11/2024	Carlos Fernández Mariño	Ingeniero
154.-	7/11/2024	Pedro Crespo A.	Químico
155.-	7/11/2024	Gabriel Bultillos Aguilar	Ingeniero
156.-	7/11/2024	Rubén Mamani Paco	Ingeniero
157.-	7/11/2024	Waldo Vargas	Ingeniero
158.-	7/11/2024	Diego Taborga L.	Medico
159.-	7/11/2024	Miguel de la Torre	ABAC
160.-	7/11/2024	Luis Siles	Cui
161.-	7/11/2024	Fredy G. Otalora	Diplomático
162.-	7/11/2024	Giovanna Torrez J.	Educador

163.-	7/11/2024	Horacio Toro Ocampo	Medico
164.-	7/11/2024	Génesis André Nava Borja	Ingeniero Ambiental
165.-	7/11/2024	Mario Cordero Camacho	Ingeniero Agrónomo
166.-	8/11/2024	Horacio Marcelo Clavijo Apaza	Ingeniero
167.-	8/11/2024	Claudia Catherine Rivera Olivares	Estudiante
168.-	8/11/2024	Mirka Rodríguez Burgos	Docente
169.-	8/11/2024	Gabriel Bustillos Aguilar	Ingeniero
170.-	8/11/2024	Juan Pablo Flores Quispe	Estudiante
171.-	8/11/2024	Ariel Alad Chipana Chambi	Estudiante
172.-	8/11/2024	Erika Corico Pasten	Estudiante
173.-	8/11/2024	José Valverde	Estudiante
174.-	8/11/2024	Walter Silas Solado	Abogado
175.-	8/11/2024	Diego Arteaga Gutiérrez	Informático
176.-	8/11/2024	Romine Asturizaga Pérez	Estudiante
177.-	8/11/2024	Rambert Mendizábal	Estudiante
178.-	8/11/2024	Iván Sergio Phillco Condori	Estudiante
179.-	8/11/2024	Tania Edmy Quispe Poma	Estudiante
180.-	8/11/2024	Elvia Griselda Cabrera Gutiérrez	Estudiante
181.-	8/11/2024	José Luis Navia	Estudiante
182.-	8/11/2024	Ana Graciela Valero	Estudiante
183.-	8/11/2024	Torrez Cori Luz Karina	Estudiante
184.-	8/11/2024	Pablo Andrés Hocant de la Barra	Estudiante
185.-	8/11/2024	Joselyn Ximena Cruz Flores	Estudiante
186.-	8/11/2024	Oscar Marcelo Santander Saavedra	Estudiante
187.-	8/11/2024	Daniela Shamire Chipana Callisaya	Estudiante
188.-	8/11/2024	Gabriel Marcelo Mamani Choro	Estudiante
189.-	8/11/2024	Andrea Esdenka Revilla Flores	Estudiante
190.-	8/11/2024	Alexander Villa Sandoval	Estudiante

191.-	8/11/2024	Víctor Cortez	Consultor
192.-	8/11/2024	Oscar Apolinar Huanca Choque	Estudiante
193.-	8/11/2024	Rubén Mamani	Ingeniero
194.-	8/11/2024	Katherinne Mishell Gareca B.	Estudiante
195.-	8/11/2024	Carlos Sebastian Vargas Arteaga	Estudiante
196.-	8/11/2024	Gabriel Alarcón Méndez	Estudiante
197.-	8/11/2024	Cuesta Mamani	Estudiante
198.-	8/11/2024	Pedro Crespo	Químico
199.-	8/11/2024	Marcos Michel	Arqueólogo
200.-	8/11/2024	Ximena Cadima	Ing. Agrónoma, ANC
201.-	8/11/2024	Manuel Arellano	Físico, ANC
202.-	8/11/2024	Fernando Urquidi Barrau	Geólogo, ANC
203.-	8/11/2024	Pamela Céspedes Borda	Docente
204.-	8/11/2024	Diego de la Quintana Rodríguez	Docente
205.-	8/11/2024	Alison Laura Mamani	Ing. Química, UMSA
206.-	8/11/2024	Iver Ariel Cuellar Huanca	Estudiante
207.-	8/11/2024	Horacio Marcelo Clavijo Apaza	Ingeniero
208.-	8/11/2024	Solance Masani Duran	Ingeniera
209.-	8/11/2024	Leonel Salomón Lara Teixeira	Ingeniera
210.-	8/11/2024	Álvaro Rodrigo López Vela	Informático
211.-	8/11/2024	Sandra Iris Mamani Chipana	Ingeniera
212.-	8/11/2024	Jenifer Isabel Palti	Informática
213.-	8/11/2024	Natalia Araceli Quispe Ramos	Informática
214.-	8/11/2024	Omar Urquiano Villacorta	Informático
215.-	8/11/2024	Stanley Escobar Alanoca	Ing. Química
216.-	8/11/2024	Alejandro Simón Choquehuanca L.	Informático
217.-	8/11/2024	Sergio Quispe Calle	Informático
218.-	8/11/2024	Carlos Aguilar	Ingeniero

219.-	8/11/2024	Omar Molina Arrieta	Docente-UMSA
220.-	8/11/2024	Pablo Andrés Hocant de la Barra	Estudiante
221.-	8/11/2024	Brayan M. Quispe Condori	Estudiante
222.-	8/11/2024	Yuliana Alison Burgoa Apaza	Estudiante
223.-	8/11/2024	Mirka Rodríguez Burgoa	Docente-UMSA
224.-	8/11/2024	Maria Rene Cuentas Chuquimia	Estudiante
225.-	8/11/2024	Quesly Geraldine Mamani Luque	Estudiante
226.-	8/11/2024	Malena Marisol Espinoza Choque	Estudiante
227.-	8/11/2024	Bryan Paul Patty Tancara	Informática
228.-	8/11/2024	Leonel Isaías Apaza Soza	Informática
229.-	8/11/2024	Jaseft Ángel Tapia Quisbert	Informática
230.-	8/11/2024	Samuel Alejandro Barrazas Pari	Ing. Electrónica
231.-	8/11/2024	Jhon Gregory Soria	Ing. Industrial
232.-	8/11/2024	Gabriel Alarcón Méndez	Ing. Industrial
233.-	8/11/2024	Noelia Tola Quispe	Ing. Electrónico
234.-	8/11/2024	Brisa Noelia Tenorio Calle	Estudiante
235.-	8/11/2024	Sergio Aldo López Márquez	Estudiante
236.-	8/11/2024	Keli Noemi Chambi Quispe	Estudiante
237.-	8/11/2024	Álvaro Rodrigo Machaca Cosme	Estudiante
238.-	8/11/2024	Gabriel Bustillos Aguilar	Ingeniero
239.-	8/11/2024	Jorge Luis Chuquimia Parra	Ing. Industrial
240.-	8/11/2024	Ninber Omar Mamani Mamani	Estudiante
241.-	8/11/2024	Jhasmin Nicol Mamani Quispe	Estudiante
242.-	8/11/2024	Jhovana Chavez Apaza	Estudiante
243.-	8/11/2024	Alejandro Ticona Mamani	Administrativo
244.-	8/11/2024	Jazmín Tesoro Rosales Cornejo	Técnico
245.-	8/11/2024	Juan Chuta Chambi	Estudiante
246.-	8/11/2024	José Mauricio Huanca Flores	Estudiante

247.-	8/11/2024	Marisol Mayta Tinta	Estudiante
248.-	8/11/2024	Mariana Ashley Fuentes Pari	Estudiante
249.-	8/11/2024	Leonel Céspedes Herrera	Estudiante
250.-	8/11/2024	Ashley Arequipa Grace Cielo	Estudiante
251.-	8/11/2024	Fernanda Mayora García	Estudiante
252.-	8/11/2024	Julio Martínez	Auditor
253.-	8/11/2024	Claudia Rojas Bejerano	Arquitecta
254.-	8/11/2024	Wilfredo Tavera Llanos	Físico
255.-	8/11/2024	Claudia Belén Naya Huanca	Estudiante
256.-	8/11/2024	Fernanda Mishel López Bolívar	Estudiante
257.-	8/11/2024	Micaela Belmonte Ticona	Estudiante
258.-	8/11/2024	Laura Constanza Fernández Arratia	Estudiante
259.-	8/11/2024	Rafael Rivero Muñoz	Estudiante
260.-	8/11/2024	Patricio Nogales Vera	Programador
261.-	8/11/2024	Sofia del Castillo Celis	Docente Arquitectura
262.-	8/11/2024	Jenny Callizaya Coquendo	Trabajo Social
263.-	8/11/2024	Juan Carlos Aguilar R.	Ingeniero
264.-	8/11/2024	Cris Rodrigo Zeladi Espejo	Estudiante
265.-	8/11/2024	Mario R. Cordero Camacho	Ingeniero
266.-	8/11/2024	Vania Calle Quispe	Arquitecto
267.-	8/11/2024	Juan Bustillos	Estudiante
268.-	8/11/2024	Omar Lima Arriata	Estudiante
269.-	8/11/2024	Rosa Quispe Suisi	Estudiante
270.-	8/11/2024	Aneliz Ninahunca Terán	Bioquímico
271.-	8/11/2024	Ruddy Luna Barran	Biólogo
272.-	8/11/2024	Edgar Manuel Morales	Estudiante
273.-	8/11/2024	Roxana Blanco Condori	Estudiante
274.-	8/11/2024	Gabriela Bustillos Vega	Ingeniero Industrial

275.-	8/11/2024	Victor Hugo Mamani C.	Estudiante
276.-	8/11/2024	Santos N. Machicado M,	Estudiante
277.-	8/11/2024	Manuel Calatayud Uviota	Ingeniero Sistemas
278.-	8/11/2024	Veronica M. Prudencio	Enfermera
279.-	8/11/2024	Geovana Ruth Usnayo Q.	Estudiante
280.-	8/11/2024	Susana Zegarrundo Calle	Estudiante
281.-	8/11/2024	Winay Duran Palenque	Estudiante
282.-	8/11/2024	Wila Echazu Flores	Estudiante
283.-	8/11/2024	Bryan Paul Patty Tancara	Informática
284.-	8/11/2024	Leonel Isaías Apaza Sosa	Informático
285.-	8/11/2024	Jaseft Ángel Tapia Quisbert	Informático
286.-	8/11/2024	Samuel Alejandro Baltazar Pari	Ingeniero E.
287.-	8/11/2024	Jhon Gregory Soria López	Ingeniero I.
288.-	8/11/2024	Gabriel Alarcón Méndez	Ingeniero I.
289.-	8/11/2024	Noelia Tola Quispe	Ingeniera E.
290.-	8/11/2024	Brisa Noelia Tenorio Calle	Estudiante
291.-	8/11/2024	Sergio Aldo López Márquez	Estudiante
292.-	8/11/2024	Kely Noemi Chambi Quispe	Estudiante
293.-	8/11/2024	Alvaro Rodrigo Machaca Cosme	Estudiante
294.-	8/11/2024	Gabriel Bustillos Aguilar	Ingeniero
295.-	8/11/2024	Jorge Luis Chuquimia Parra	Estudiante
296.-	8/11/2024	Ninber Omar Mamani Mamani	Estudiante
297.-	8/11/2024	Jhasmin Nicol Mamani Quispe	Estudiante
298.-	8/11/2024	Jhovana Chavez Apaza	Estudiante
299.-	8/11/2024	Alejandro Ticona Mamani	Administrativo
300.-	8/11/2024	Jasmín Teresa Rosales Cornejo	Técnico
301.-	8/11/2024	Juan C. Ichuta Chambi	Estudiante
302.-	8/11/2024	Jose Mauricio Huanca Flores	Estudiante

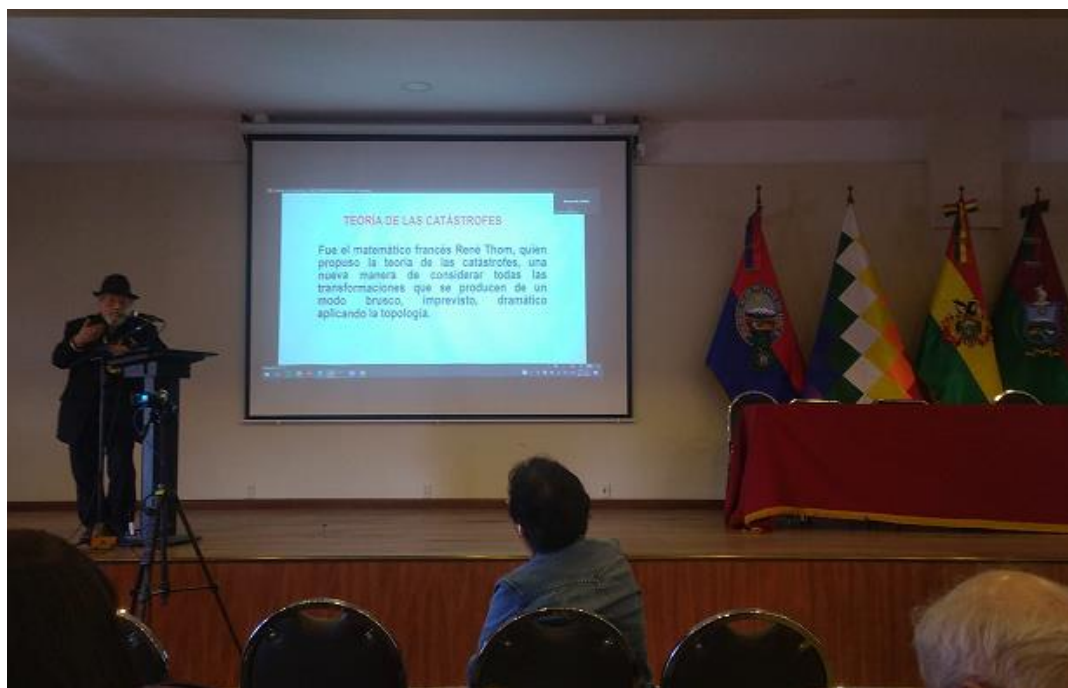
303.-	8/11/2024	Marisol Mayta Tinta	Estudiante
304.-	8/11/2024	Mariana Ashley Fuentes Pari	Estudiante
305.-	8/11/2024	Leonel Cespedes Herrera	Estudiante
306.-	8/11/2024	Ashley Grace Cielo Arequipa	Estudiante
307.-	8/11/2024	Ruth Mercedes Laura Choque	Investigadora
308.-	8/11/2024	Giovana Karala Torrez J.	Docente Inv.
309.-	8/11/2024	Winder Felipez Chiri	DGI-UNSXX
310.-	8/11/2024	Williams Pillco Colque	DGI-UNSXX
311.-	8/11/2024	Carlos Fernández M.	Ingeniero PhD.
312.-	8/11/2024	Juan Arani Conde	Ingeniero Militar
313.-	8/11/2024	Ivette Echeverria Rojas	Ingeniero Químico
314.-	8/11/2024	Agatha Clarice de Silva Ovando	Ingeniero Industrial
315.-	8/11/2024	Jhonatan Enrique Ureña Camacho	Ingeniero Civil
316.-	8/11/2024	Maria Mercedes Álvarez C.	Ingeniero
317.-	8/11/2024	Henry Antezana Fernández	Ingeniero Químico
318.-	8/11/2024	Natalia Maite Romero Seleme	Lic. Químico
319.-	8/11/2024	Nury Katya Rosales Rojas	Lic. Químico
320.-	8/11/2024	Adhemar Poma Ch.	Dr. Educación
321.-	8/11/2024	Melisa Maldonado Nogales	Ing. Electromecánico
322.-	8/11/2024	Pascual Maldonado López	Ing. Mecánico
323.-	8/11/2024	Jhonatan Enrique Ureña Camacho	Ing. Civil
324.-	8/11/2024	Agatha Clarice de Silva Ovando	Ing. Industrial
325.-	8/11/2024	Ivette Echeverria Rojas	Ing. Químico
326.-	8/11/2024	Mercedes Alvares Caero	Ing. Ambiental
327.-	8/11/2024	Marko Andrade Uzieda	Investigador UMSS
328.-	8/11/2024	Sergio Rodríguez	Ing. Aeronáutico
329.-	8/11/2024	Ruth Mercedes Rivero Choque	Investigadora
330.-	8/11/2024	Giovana Karala Torrez J.	Docente Inv.

331.-	8/11/2024	Winder Felipez Chiri	DGI-UNSXX
332.-	8/11/2024	Williams Pillco Colque	DGI-UNSXX
333.-	8/11/2024	Carlos Fernandez M.	Ingeniero Ph.D.
334.-	8/11/2024	Juan Arani Conde	Ing. Militar
335.-	8/11/2024	Ivette Echeverría Rojas	Ing. Químico
336.-	8/11/2024	Agatha Clarice de Silva Ovando	Ing. Industrial
337.-	8/11/2024	Jhonatan Enrique Ureño C.	Ing. Civil
338.-	8/11/2024	Maria Mercedes Álvarez	Ing.
339.-	8/11/2024	Herry Antezana Fernández	Ing. Químico
340.-	8/11/2024	Natalia Maite Romero Selene	Lic. Química
341.-	8/11/2024	Nury Katya Rosales Rojas	Lic. Químico
342.-	8/11/2024	Adhemar Poma Ch.	Dr. Educación
343.-	8/11/2024	Melisa Maldonado Nogales	Ing. Electromecánico
344.-	8/11/2024	Pascual Maldonado López	Ing. Mecánico

VII.III. Fotografías



Presidente de la Academia Nacional de Ciencias
Dr. Manuel Arellano en la inauguración del evento.



Dr. Carlos Fernández (ABAC) en exposición magistral.



Dr. Adhemar Poma (ABAC) en exposición magistral.



Dr. Horacio Toro (ANC) en exposición magistral.



Participantes con el Presidente de la ANC Dr. Manuel Arellano
y el Presidente de ABAC M. Sc. Gabriel Bustillos.



Participantes al final del evento.