



DICYT

Departamento de Investigación,
Ciencias y Tecnología - UAJMS



VENTANA CIENTÍFICA

Revista de **Divulgación Científica**



ISSN: 2305-6010 (*Impreso*)

ISSN: 2415-2390 (*En línea*)



Julio 2025

VC

Número

25

Vol. 15



REVISTA CIENTÍFICA VENTANA CIENTÍFICA

VOL. 15 N° 25

ISSN: 2305-6010 (Impreso)

ISSN: 2415-2390 (En Línea)

CONSEJO EDITORIAL

Ph. D. Ing. Arturo Dubravcic Alaiza
Docente Investigador UAJMS

Ph. D. Ing. Alberto Benítez Reynoso
Docente Investigador UAJMS

Ph. D. Dra. Shirley Gamboa Alba
Docente Investigador UAJMS

Ph. D. María Eugenia Martínez Mansilla
INVESTIGADORA de LaSUS
Laboratorio de Sustentabilidad de la UnB - Universidad de Brasilia

Ph. D. Jaime Rodriguez Coariti
Doctorado en Ciencias Climáticas y
Medio Ambiente en la Universidad Federal de Río Grande do Norte

M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba
EDITOR
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN,
CIENCIA Y TECNOLOGÍA UAJMS

PRESENTACIÓN



M. Sc. Ing. Fernando E. Mur L.

DIRECTOR DICYT

En un mundo cada vez más complejo e interconectado, la investigación científica y la innovación constituyen pilares esenciales para enfrentar los desafíos globales y contribuir al bienestar de las sociedades. En este contexto, la Revista Institucional de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Ventana Científica, reafirma su compromiso con la difusión del conocimiento académico a través de la publicación de artículos originales de alta calidad en diversas áreas del saber.

Esta nueva edición presenta contribuciones que abordan temáticas actuales y relevantes, tales como información digital, habilidades blandas, ingenierías aplicadas, turismo, banca, farmacología, tecnologías de la información y la comunicación aplicadas a la educación, entre otras. Nuestro objetivo no solo es ofrecer un espacio riguroso para que investigadores y expertos compartan sus hallazgos y experiencias, sino también fomentar la colaboración interdisciplinaria, el pensamiento crítico y la innovación como medios fundamentales para avanzar en la comprensión y solución de los problemas contemporáneos.

Ventana Científica, con más de una década de trayectoria editorial, es una de las revistas académicas de mayor proyección dentro de la UAJMS. Su proceso editorial se enmarca en estándares internacionales de calidad, destacando el sistema de evaluación por pares bajo la modalidad de doble ciego, lo que permite asegurar la objetividad y el rigor en la validación de los artículos publicados.

Como editor de la revista, expreso mi satisfacción por presentar esta nueva edición, confiando en que será una valiosa contribución al desarrollo del conocimiento científico. Valoramos profundamente la originalidad, la solidez metodológica y la claridad expositiva de cada trabajo, y esperamos cumplir con las expectativas de nuestra audiencia, que incluye tanto a investigadores consolidados y profesionales de distintas áreas, como a estudiantes interesados en mantenerse al día con los avances más recientes.

Agradecemos sinceramente a los miembros del Consejo Editorial y al equipo de pares evaluadores por su dedicación y compromiso en los procesos de revisión; así como a cada autor que confió en nuestra revista para la difusión de sus investigaciones.

Reafirmamos, una vez más, nuestro compromiso de consolidar a Ventana Científica como una revista de referencia técnica y académica, orientada a la excelencia y a la difusión del conocimiento que se genera desde el ámbito universitario.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
VENTANA CIENTÍFICA

Revista de Divulgación Científica - UAJMS

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

M. Sc. Lic. Eduardo Cortez Baldiviezo

VICERRECTOR

M. Sc. Lic. Jaime Condori Ávila

SECRETARIA ACADÉMICA

M. Sc. Ing. Silvana Paz Ramírez

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba

EDITOR

M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba

Diseño y Diagramación

Samuel Sánchez Q.

Sitio web

dicyt.uajms.edu.bo

Correo Electrónico

dicyt.uajms.edu@gmail.com

dicyt@uajms.edu.bo

"Publicación - Departamento de Investigación, Ciencia y Tecnología"

*"Esta revista no podrá ser reproducida en forma alguna, ni total, ni parcialmente,
sin la autorización de los editores"*

Reservados todos los derechos

Julio -2025

CONTENIDO

II | PRESENTACIÓN

M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba - DIRECTOR DICYT

01 | ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE RESVERATROL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ARÁNDANOS Y UVAS DE MESA DE ALTURA

Taquichiri Torrez Marco, Paco Joel Sarzuri, Arteaga María del Carmen

Taquichiri Vargas Gabriel, Echalar Flores Michael Willy 1

02 | ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL USO DEL CHATGPT EN LA CAPACIDAD DE ANALIZAR INFORMACIÓN LEGAL EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE LA CARRERA DE DERECHO DE LA UAJMS

Gamboa Alba Shirley 17

03 | DETERMINACIÓN DE HABILIDADES BLANDAS EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS MEDIANTE MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS)

Alemán Castillo Roxana, Sánchez Rodríguez Mariela Jimena,

Alvarez Montealegre Daniela Sulay 43

04 | DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE CARDIOPATÍAS MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO MULTIMODAL: UN ENFOQUE INTEGRADO BASADO EN ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN AVANZADA

Mendoza Jurado Helmer Fellman 55

05 | ELABORACIÓN DE SNACK FORTIFICADO CON HIERRO Y ZINC A BASE DE HARINAS DE MAÍZ MORADO Y REMOLACHA

Jurado Gareca Maira Mabel, Cuenca Romero Jorge Alexis, Garnica Verdún José Adrián

Ramírez Ruiz Erick, Esqueti Colque Gilda Daniela, Aramayo Churquina Rocío Teresa 71

06 | COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA COHESIÓN DE LOS SUELOS FINOS DEL VALLE CENTRAL DE TARIJA USANDO MOMENTOS CONVENCIONALES Y L-MOMENTS

Benítez Reynoso Alberto, Baldiviezo Montalvo Trinidad Cinthia

Dubravcic Alaiza Arturo, Soto Salgado Laura Karina. 89

CONTENIDO

07 | AMODELO DE TURISMO RURAL COMUNITARIO SOSTENIBLE "EL CARDÓN"

Morales Morales Keyla Guadalupe, Romero Vallejos Noelia, Miranda Solorzano Adriana Isabel

Canasa Callau Marin Victoria Nathaly, Roldan Claros Felix Xander, Coronado Juan Luis

Ugarte Martínez Viviana Teresa, Chambi Gareca Adriana Gabriela 97

08 | DETERMINANTES DE LA INTENCIÓN DE USO DE LA BANCA DIGITAL EN JÓVENES DE POTOSÍ, BOLIVIA: UN ANÁLISIS CUANTITATIVO MEDIANTE PLS-SEM

Alberto Camata Rosa Linda, Jancko Choque Claudia

Flores Lopez Jhovana, Apaza Coro Oma 121

09 | ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE LAS IMPRESORAS 3D EN LA ELABORACIÓN DE MODELOS FÍSICOS DE OBRAS HIDRÁULICAS EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Gamarra Mendoza Mario Carmelo, Perales Avilés Moisés 137

10 | USO DE BIG DATA EN LA FARMACOLOGÍA: INNOVACIÓN EN LA FARMACOVIGILANCIA Y LA INVESTIGACIÓN CLÍNICA

Paniagua Jauregui Giovanna Rene 155

11 | ANALISIS DEL PASADO SOCIOECONOMICO DEL CANTON ISCAYACHI EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA (UN ESTUDIO HISTÓRICO)

Llanos Pereira Mary 173

12 | USO DE RECURSOS TIC PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO ACADÉMICO EN MATEMÁTICAS: ESTUDIO DE CASO CON ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA UAJMS

Chambi Gareca Silvia 190

CUANTIFICACIÓN DE RESVERATROL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ARÁNDANOS Y UVAS DE MESA DE ALTURA: EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN UV-B Y FACTORES CLIMÁTICOS SECUNDARIOS

QUANTIFICATION OF RESVERATROL AND ANTIOXIDANT CAPACITY IN HIGH-ALTITUDE BLUEBERRIES AND TABLE GRAPES: EVALUATION OF UV-B RADIATION AND SECONDARY CLIMATIC FACTORS

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Taquichiri Torrez Marco¹
Paco Joel Sarzuri², Arteaga María del Carmen³
Taquichiri Vargas Gabriel⁴, Echalar Flores Michael Willy⁵

¹Licenciado en Física, M.Sc.
Departamento de Física
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

ORCID: 0009-0004-8833-7683

Correspondencia de los autores: m.taquichiri@uajms.edu.bo¹

Tarija - Bolivia

CUANTIFICACIÓN DE RESVERATROL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ARÁNDANOS Y UVAS DE MESA DE ALTURA: EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN UV-B Y FACTORES CLIMÁTICOS SECUNDARIOS

² **Paco Joel Sarzuri**

Ingeniero Civil, M.Sc.
Docente Departamento de Física,
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
Tarija, Bolivia

³ **Arteaga María del Carmen**

Licenciada en Ciencias Químicas
Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID)
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
ORCID: 0009-0002-0330-2496
Tarija, Bolivia

⁴ **Taquichiri Vargas Gabriel**

Ingeniero Civil
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Polí-USP), São Paulo, SP, Brasil.
ORCID: 0009-0003-2590-8234
São Paulo, Brasil

⁵ **Echalar Flores Michael Willy**

Ingeniero Civil, M.Sc.
Docente Carrera de Ingeniería Civil,
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
Tarija, Bolivia

RESUMEN

Se presentan las mediciones de la capacidad antioxidante de dos frutos del Valle Central de Tarija (1879 m.s.n.m): *Vitis vinífera* L. (cv. Moscatel de Alejandría y Red globe) y uno del Valle del Medio (1258 m.s.n.m): *Vaccinium corymbosum* L. (cv. Flicker y cv. Snow Chaser). La capacidad antioxidante total (TAC) fue determinada mediante dos métodos contrastados (ABTS y DPPH) cuyos resultados se compararon con una curva patrón preparada con diferentes concentraciones de Trolox. El contenido de resveratrol fue evaluado mediante técnicas de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Los valores del contenido de resveratrol en el cv. Red Globe son ligeramente superiores a los del cv. Moscatel de Alejandría. No se presentan variaciones significativas en los contenidos de resveratrol entre los cultivares de arándanos Snow Chaser y Flicker. Asimismo, se presentan mediciones terrestres de radiación solar UV-B y concentraciones de ozono después de un sobrevuelo con un satélite de la ESA para la latitud y longitud de las plantaciones de uva, así como una aproximación de modelo climático en temperatura media y precipitación para el departamento de Tarija.

ABSTRACT

Measurements of the antioxidant capacity (TAC) of two fruits from the Central Valley of Tarija (1879 m.a.s.l.): *Vitis vinifera* L. (cv. Muscatel of Alexandria and Red globe) and one from the Middle Valley (1258 m.a.s.l.): *Vaccinium corymbosum* L. (cv. Flicker and cv. Snow Chaser) are presented. Total antioxidant capacity (TAC) was determined by two contrasting methods (ABTS and DPPH) whose results were compared with a standard curve prepared with different concentrations of Trolox. Resveratrol content was evaluated by high performance liquid chromatography (HPLC) techniques. The values of resveratrol content in cv. Red Globe are slightly higher than those of cv. Muscat of Alexandria. There are no significant variations in resveratrol contents between Snow Chaser and Flicker blueberry cultivars. Also, ground-based measurements of solar UV-B radiation and ozone concentrations after an ESA satellite overpass are presented for the latitude and longitude of the grape plantations, as well as a climate model approximation in mean temperature and precipitation for the department of Tarija.

Palabras Clave: Resveratrol, radiación UV-B, uvas de altura, arándanos, capacidad antioxidante.

Keywords: Resveratrol, UV-B radiation, high altitude grapes, blueberries, antioxidant capacity.

1. INTRODUCCIÓN

El sol emite radiación en una amplia gama del espectro, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Aunque la radiación ultravioleta (RUV) representa sólo una pequeña parte de la intensidad total de la luz solar, desempeña un papel crucial en la interacción entre los organismos vivos y el medio ambiente. La radiación UV, en particular, es responsable de varios procesos biológicos como la fotosíntesis, vital para el crecimiento y la supervivencia de las plantas. La radiación ultravioleta se divide en tres zonas principales: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (280-100 nm), (Madronich et. al., 1988).

La radiación solar ultravioleta-B es absorbida en su mayor parte por el ozono estratosférico y los gases atmosféricos; sin embargo, una pequeña cantidad llega a la superficie terrestre. Esta pequeña porción (alrededor del 5% de la radiación solar total) es potencialmente dañina para los organismos vivos, ya que altos rango de intensidad de fotones UV-B pueden causar daño celular directo. No obstante, niveles moderados de radiación UV-B pueden estimular mecanismos de protección como respuesta a este nivel de agresión. (Brosché, 2003).

El interés científico por los efectos de la radiación UV-B en la calidad comercial y nutricional de las plantas se ha intensificado debido al agotamiento histórico de la capa de ozono en la década de los 80. Este agotamiento ha provocado un incremento de los niveles de UV-B en la atmósfera de las regiones de latitudes medias y altas (Krzscin, 2000). Aunque se prevé que los niveles de ozono se recuperen para 2050, los efectos combinados de la radiación UV-B y el cambio climático (por ejemplo, el aumento de las temperaturas y la alteración de los patrones de precipitaciones) siguen siendo factores de estudio y análisis ya que la respuesta de las plantas a la radiación UV-B es muy variable y está influida por una compleja interacción de factores bióticos tales

como plagas y patógenos, y abióticos como ser nutrientes del suelo, disponibilidad de agua, así como por la especie vegetal y el genotipo (Carrasco-Ríos, 2009).

La exposición prolongada a altos niveles de UV-B puede reducir la producción de biomasa en las plantas, aunque, en algunos casos, también se observa un aumento en la concentración de polifenoles (Tevini y Teramura 1989; Cassi-Lit et. al. 1997). Esto sugiere una respuesta de defensa antioxidante o un mecanismo de protección de los tejidos vegetales frente a condiciones de estrés por UV-B, los cuales variarán de acuerdo con las condiciones climáticas y ambientales que cada vez se vuelven más influyentes en los ecosistemas agrícolas. Un efecto crucial de los polifenoles, y en particular del resveratrol, es su potente capacidad antioxidante, que les permite proteger las células vegetales y animales contra el daño causado por agentes oxidantes y la acción de los radicales libres (Osorio-Macías, 2018).

Tarija está situada en la parte meridional de Bolivia, América del Sur (21°S, 64°W, 1887 metros sobre el nivel del mar) y su principal fuente de ingresos son los cultivos de uva vinífera (*Vitis vinífera*). La importancia económica de estos cultivares es muy alta, ya que el 70% del total de las del total de plantaciones de uva del país se encuentra en Tarija (Turner et. al. 2016; Pszczólkowski et. al., 2010). Debido a su altitud y latitud, el valle de Tarija tiene muchos días con radiación solar UV más intensa que otros lugares con similares cultivares de uva (Taquichiri y Paco, 2008). La introducción de cultivos de frutos emergentes, como el Arándano (*Vaccinium Corymbosum*), en la región de Tarija, representa un interesante potencial debido a la alta irradiancia UV-B que puede influir en la biosíntesis de compuestos bioactivos del arándano. Este cultivo no solo podría enriquecer la biodiversidad agrícola y mejorar la sostenibilidad de la producción local, sino que también podría generar beneficios para la salud gracias a sus compuestos antioxidantes, además de contribuir al desarrollo

económico de la región (Tuberoso, 2011; .Yang, 2001; Ispiryan, 2021; Rimando, et.al.2004).

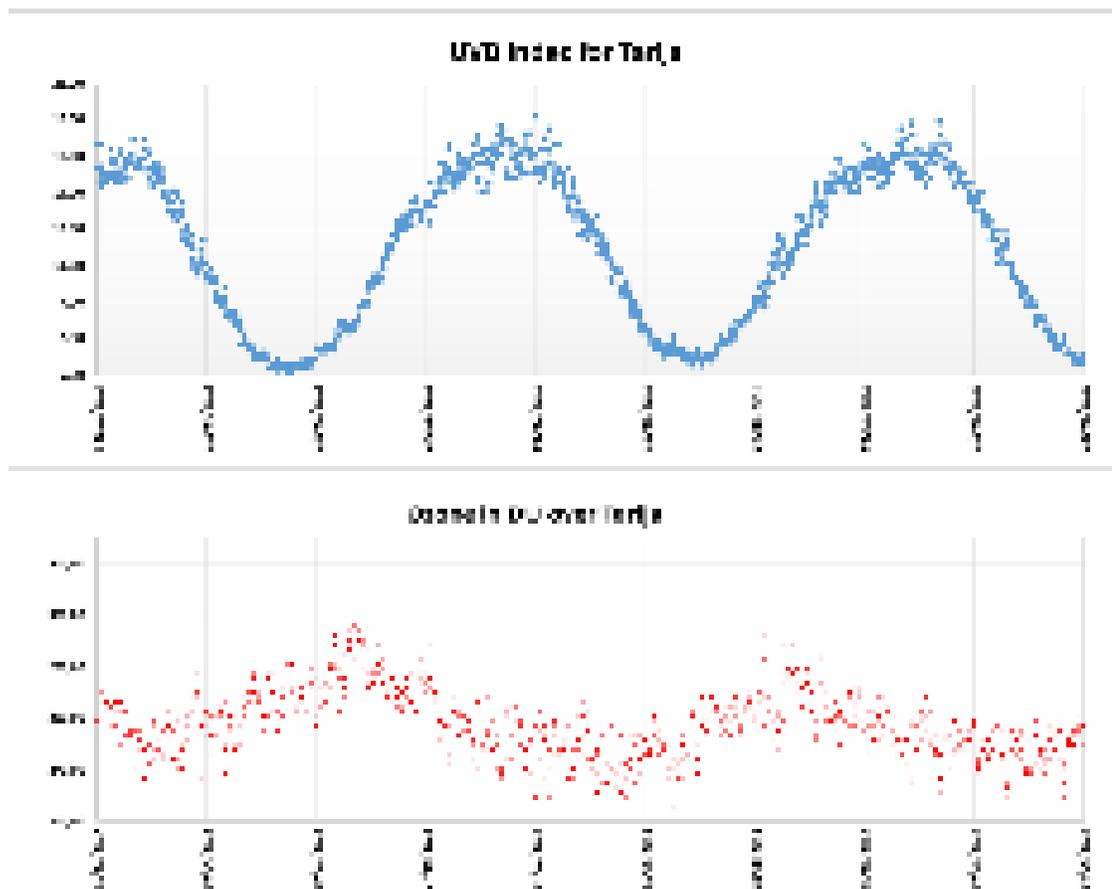
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Datos sobre ozono estratosférico y mediciones de UV-B

El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno en la estratósfera y es responsable de absorber la totalidad de la radiación UV-C y parte de la radiación UV-B. La capa de ozono se encuentra en la estratósfera a unos 10 y 50 km por encima de la superficie de la Tierra y su variación estacional depende principalmente de la interacción de la luz solar en un mecanismo de creación-aniquilación en la alta atmósfera (Chipperfield et. al. 2024). El posible

incremento de la radiación UV debido al adelgazamiento de la capa de ozono podría dañar el proceso de fotosíntesis, esencial para el crecimiento de las plantas. Por otra parte, la radiación UV altera numerosos compuestos orgánicos esenciales para los organismos vivos, ya que se ha establecido que la radiación UV-B provoca alteraciones en el desarrollo y metabolismo de las plantas, tanto primarias como secundarias (Sánchez et al. 2023). Sin embargo, algunos autores concluyen que, aunque la UV-B puede tener un impacto negativo en el crecimiento de las plantas, los efectos son generalmente pequeños y no es probable que tengan un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos (Damian et.al. 1998).

Figura 1: Mediciones de UV-B realizadas por el piranómetro YES (YesInc. USA) en Tarija, Bolivia, comparadas con observaciones de ozono del instrumento Schiarmachy en el satélite Envisat de la ESA.



Se realizaron mediciones superficiales de la intensidad de la RUV-B sobre el valle de Tarija colectadas por el piranómetro YES (YesInc. USA) desde la gestión 2005 a la fecha. Debido a la ausencia de datos de ozono sobre el sitio de estudio, se realizó una cotejación de la concentración de ozono con datos medidos por el espectrómetro Sciamachy a bordo del satélite Envisat de la ESA. A partir de esos datos, medidos en tierra y verificados por datos satelitales se evidencia la anticorrelación de la radiación UV-B y la concentración de ozono a la latitud y elevación sobre el nivel del mar para el Valle Central de Tarija. Los datos de mediciones de irradiancia UV-B indican un índice UV-B (IUV) entre 5 en invierno y 19 en verano para el Valle de Tarija y entre 3 en invierno y 12 en verano para el Valle de Entre Ríos lo que corresponde a valores codificados como alto a extremo en la escala canadiense para el índice UVB.

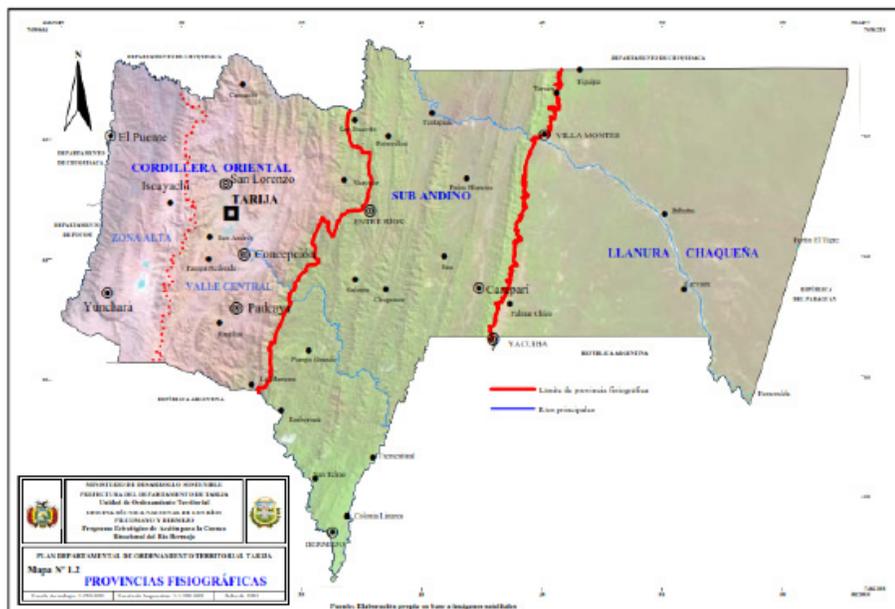
2.2. Datos de temperatura y precipitación del lugar de estudio

La climatología del departamento de Tarija, debido a su posición geográfica en las últimas estribaciones de la cordillera oriental es bastante heterogénea y

con influencia de forzantes climáticos de alta y baja atmósfera, en consecuencia, presenta al menos cuatro provincias fisiográficas para el punto de vista climatológico: Zona Alta, Valle Central de Tarija, Sub andino y Llanura chaqueña, ubicación particularmente importante porque es una condicionante para la variabilidad en los valores cuantitativos de la temperatura mensual y precipitación mensual, así como también en la recurrencia de eventos extremos. Estas cuatro provincias fisiográficas corresponden con los sistemas sinópticos que gobiernan la climatología regional y su variabilidad interanual, anual e interdecadal. En correspondencia se tienen una región donde la temperatura y precipitación cambia en lapsos pequeños no solo espacialmente referido a la microclimatología, sino también en la recurrencia de fenómenos extremos.

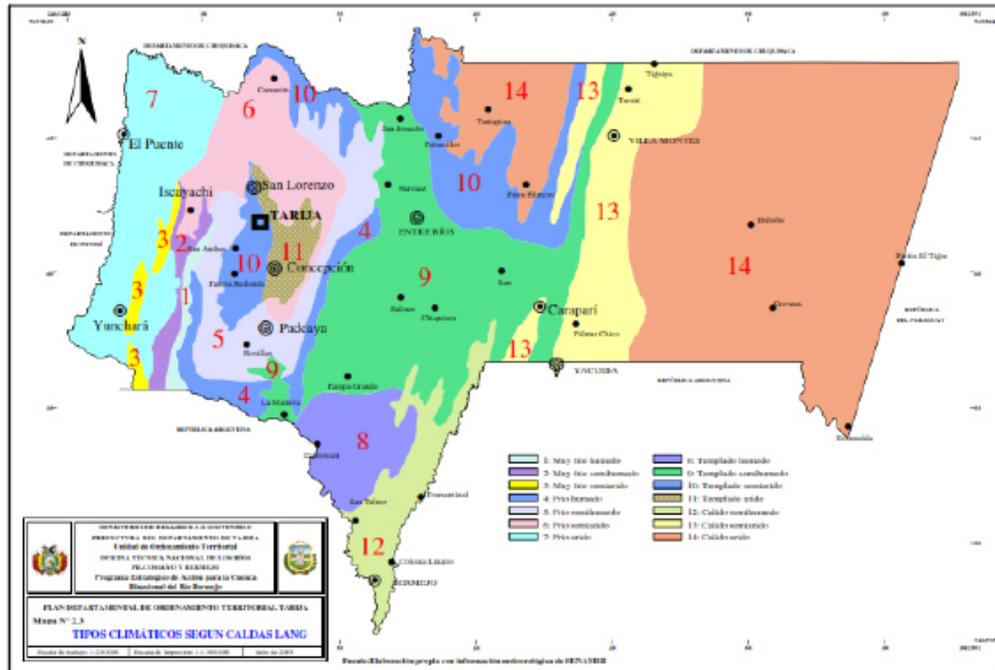
Se tienen datos climáticos de los lugares de para los frutos seleccionados referidos a temperatura y precipitación de la estación meteorológica ubicada en $21^{\circ} 32'48''$ y $64^{\circ}42'39''O$, 1850 msnm para realizar una observación del registro temporal de precipitación y temperaturas para una estación estratégica del valle de Tarija.

Figura 2: Provincias Fisiográficas del Departamento de Tarija.



Fuente: Programa Estratégico para la Cuenca Binacional de Río Bermejo, 2006

Figura 3: Mapa climatológico del Departamento de Tarija, de acuerdo a la clasificación de Caldas-Lang.



Fuente: Programa Estratégico para la Cuenca Binacional de Río Bermejo, 2006

En la última década, se han observado cambios en la recurrencia de los períodos de sequía y humedad en el Valle Central de Tarija. Si bien la ventana temporal de recurrencia se mantiene relativamente estable, se registra un aumento en los valores máximos y mínimos, así como un incremento de casi un grado en la temperatura mínima. Estos cambios sugieren un incremento en el estrés hídrico debido a una mayor demanda de agua en los cultivos.

Se utilizó el modelo Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), como una herramienta de control a corto plazo, utilizando los datos de los dos meses previos para estimar el tercero. Se presenta un resultado preliminar de esta metodología incluyendo el alto nivel de ruido generado por los factores sinópticos y su variabilidad interanual.

Figura 4: Datos Precipitación mensual estación AASANA Tarija, datos desde 2009 al 2023 ajustado desde el año 2011 al 2023

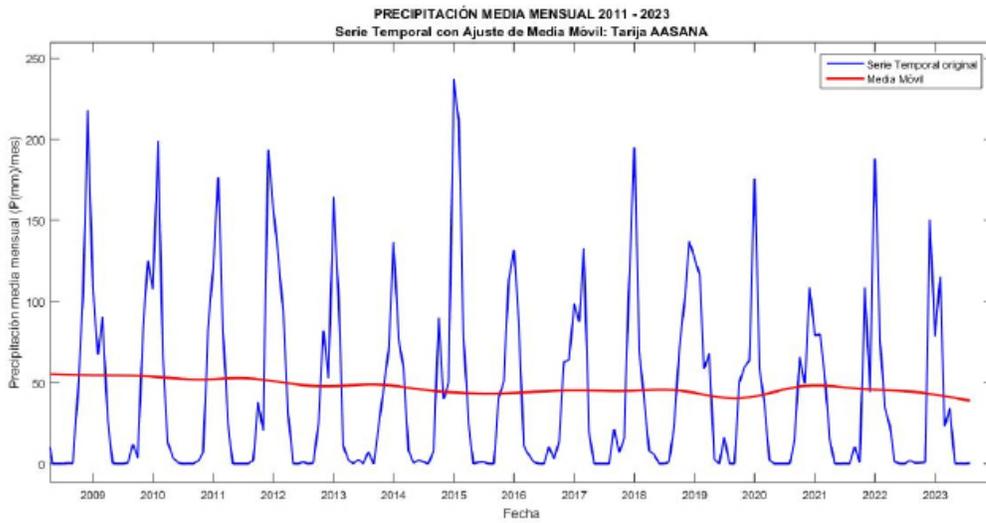


Figura 5: Serie temporal de precipitación media mensual diferenciada en 2 y 12 pasos, graficas FAP y FAC y distribución gaussiana de errores. Estación Tarija AASANA Precipitación mensual estación AASANA Tarija. Serie residual de datos desde el año 1949 al 2023

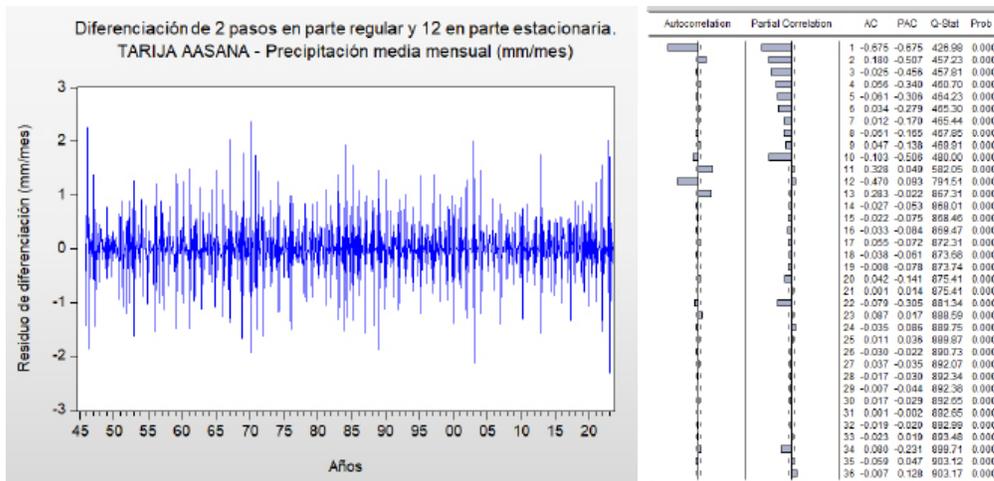
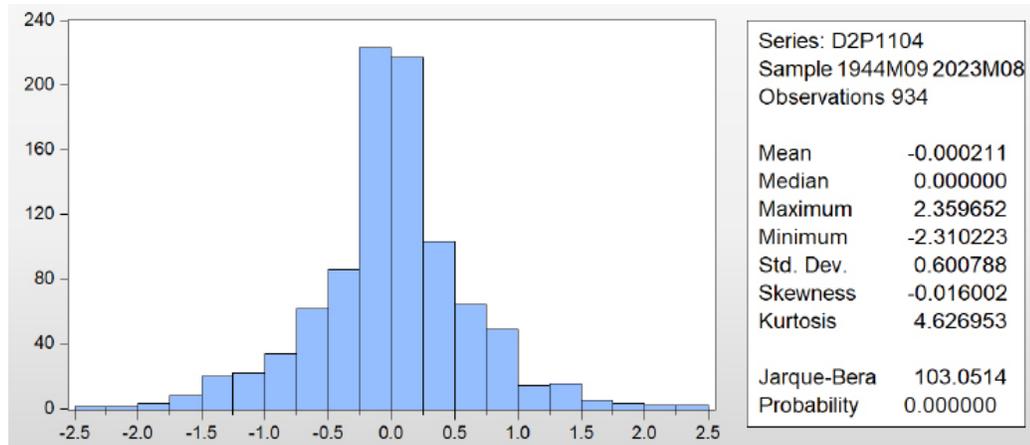


Figura 6: Modelo Arima (0,2,2)/Sarima (1,1,1) para la serie temporal de precipitación media mensual diferenciada en 2 y 12 pasos, graficas FAP y FAC y distribución gaussiana de errores. Estación Tarija AASANA Precipitación mensual estación AASANA Tarija



El modelo Arima (0,2,2) fue utilizado debido a que los datos tomados los datos de temperatura y precipitación de la estación Tarija presentan una estructura temporal no aleatoria, mostrando una tendencia que pudo estabilizarse mediante 2 pasos de diferenciación, y con doble media móvil. De los datos analizados se pudo observar cambios en la recurrencia de los períodos de sequía y humedad en el Valle Central de Tarija. Aunque la ventana temporal de recurrencia se mantiene relativamente estable, se registra un aumento en los valores máximos y mínimos, así como un incremento de casi un grado en la temperatura mínima.

3. ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES TOTALES Y RESVERATROL

3.1. Muestras

Se tomaron muestras de uvas de mesa de las variedades Moscatel de Alejandría y Red Globe (*Vitis vinífera* L.), asimismo se analizaron dos variedades de arándano: Flicker y Snow Chaser (*Vaccinium Corymbosum*). Ambos tipos de muestra fueron colectadas en dos diferentes fechas. Se prepararon y seleccionaron los frutos en lotes pequeños de 50 unidades para ser almacenadas en recipientes aislados a -20

grados centígrados. Se realizó una molienda en morteros de ágata para su análisis de contenido de antioxidantes totales mediante dos métodos analíticos: ABTS (ácido 2,2'azinobis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico) y DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo). Ambos métodos de análisis se adecuaron en concordancia con el método descrito en Thaipong, K et. al. (2006) con ligeras modificaciones, para lo cual se tomó 19,2 mg de ABTS para disolverlo en 5 mL de agua destilada. Posteriormente se agregaron 88 mL de una solución de persulfato de Potasio (0,0378 mg/mL). La mezcla se homogenizó para luego ser usado después de almacenarse en la oscuridad a 25 °C por 15 h. Una vez formado el radical ABTS, fue diluido con etanol hasta obtener un valor de absorbancia alrededor de 0,7 a 734 nm. Se filtraron 0,1 mL de extracto, y se colocaron en una celda para medir la absorbancia para luego transformarlo en porcentaje de inhibición para calcular la actividad antioxidante en mg equivalente trolox (ET)/mL mediante una curva de calibración. El método DPPH se basa en la reducción de antioxidantes a través de un cambio de color en la solución, para lo cual se mezclaron 4,2 mL del radical DPPH (0,025 mg/mL metanol) con 0,1 mL de cada uno de los extractos etanólicos de cada muestra. Luego de 30 minutos se llevó a la lectura

de absorbancia en un espectrofotómetro a 515 nm los valores de absorbancia fueron expresados como la concentración de los extractos en el cual se inhibe el 50 % del radical DPPH.

3.2. Reactivos

El ácido 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS.p), el radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH.), Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, 97%) y metanol de grado HPLC fueron obtenidos de Sigma Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA). El patrón de resveratrol fue adquirido de ChromaDex (Irvine, CA, USA)

3.3. Cuantificación de Resveratrol

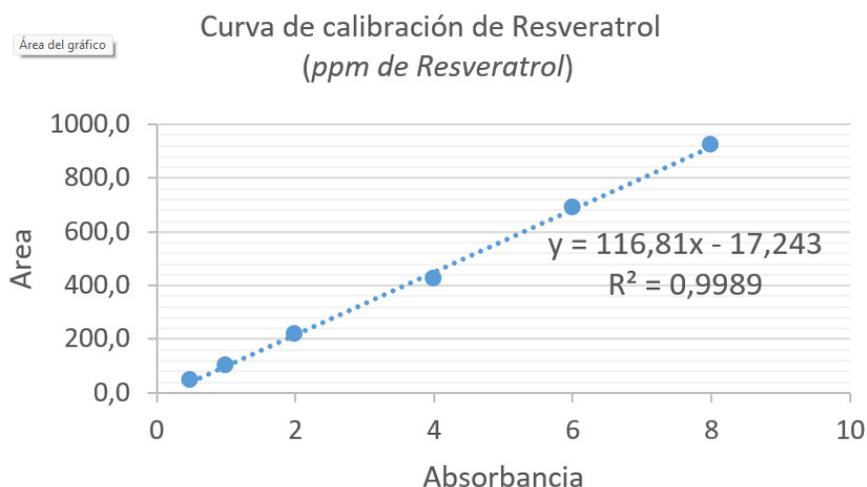
La cuantificación de resveratrol en extractos etanólicos de vid y arándano, correspondientes a las variedades analizadas, se realizó siguiendo el protocolo descrito en Taquichiri et. al. (2014) usando un Cromatógrafo de Alta Performance (HPLC) Agilent Infinity1600 en fase reversa con detector de arreglo de diodos (Palo Alto, CA, USA), bomba cuaternaria y desgasificador (G1354A). Columna 4.6x250 mm Zorbax . La tasa de flujo fue de 0,8 mL/min con un volumen de inyección de 20 µL. El gradiente de la fase

móvil fue un solvente constituido de dos eluyentes: 1% de ácido acético/agua (A) y metanol (B); el gradiente usado fue de 40% de B al inicio (t=0 min), 50% de B luego de 5 minutos, 80% de B luego de 20 minutos, 90% de B luego de 25 minutos y finalmente 40% de B luego de 28 minutos hasta los 30 minutos. La absorbancia UV del eluido fue registrada por un detector de arreglo de diodos (190-550 nm). Para garantizar la precisión del análisis, se estableció una curva de calibración con estándares de resveratrol en un rango de 0.5 a 8 ppm. Cada punto de la curva fue evaluado mediante un análisis en duplicado, asegurando la reproducibilidad y confiabilidad de los datos.

Tabla 2: Valores de concentración de resveratrol en duplicado

[ppm]	Area 1	Area 2	promedio
0,5	48,7	46,6	47,6
1	103,9	103,7	103,8
2	216,6	216,6	216,6
4	426,9	427,1	427,0
6	689,8	689,8	689,8
8	923,6	922,7	923,1

Figura 7. Curva de calibración con estándar externo para el HPLC- 1600 DAD, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho



4. RESULTADOS

4.1. Capacidad antioxidante total

Las muestras de uva fueron analizadas entre diferentes periodos debido a la fecha de colecta; después del envero, pinta y madurez de la uva y la fecha de cosecha de la fruta. Para el análisis de antioxidantes en arándano se realizaron dos colectas según fecha de cosecha del fruto. Los extractos etanólicos fueron analizados por un espectrofotómetro Thermo-Scientific Genesys 105 UV-Vis (Thermo-Fisher Inc, USA) las muestras fueron sometidas pre-

viamente a una homogenización usando un baño ultrasónico Branson (Branson Ultrasonic Co. Danbury, CT USA). Los resultados son mostrados en la tabla 1. El contenido de antioxidantes totales (TAC) mediante el método ABTS tiene rangos muy variables que van desde 0.86 hasta 8,51 μmol de equivalente Trolox de muestra seca. Los valores de Trolox equivalente usando el método DPPH varían desde 0,11 hasta 8,82. En general se puede observar valores notablemente disminuidos de contenido TAC para las muestras de arándano.

Tabla 1: Mediciones de la Capacidad Antioxidante en bayas frescas de uva de mesa y arándano.

Variedad	CODIGO	Fecha de colecta	TAC ABTS $\mu\text{mol TE/g}$	TAC DPPH $\mu\text{mol TE/g}$
Moscatel de Alejandría	MA10A	30-12-2022	5.21	4.52
Moscatel de Alejandría	MA10B	4-02-2023	3.71	8.82
Moscatel de Alejandría	MA30A	30-12-2022	5.22	5.81
Moscatel de Alejandría	MA30B	04-02-2023	8.51	0.11
Red Globe	RG20A	25-02-2022	0,96	1,02
Red Globe	RG20B	30-03-2023	1,11	3,07
Red Globe	RG40A	29-02-2022	2,07	2,02
Red Globe	RG40B	03-03-2023	2,76	3,06
Flicker	AR10A	25-11-2022	0,75	0,75
Flicker	AR10B	03-03-2023	0,85	0,85
Snow Chaser	AR20A	25-11-2022	0,93	0,93
Snow Chaser	AR20B	03-03-2023	0,13	0,13

4.2. Resveratrol en bayas de uva y arándanos.

El contenido de trans resveratrol fue identificado y cuantificado usando un cromatógrafo en fase reversa de acuerdo al método descrito en Taquichiri et. al. (2014). Los resultados se muestran en la tabla 3. El contenido de resveratrol en la variedad de uva blan-

ca es considerablemente más bajo en comparación con la variedad tinta. En algunos casos, su concentración es tan baja que incluso está por debajo del límite de detección en los análisis. Esta diferencia es coherente con lo reportado en la literatura, donde se observa que las uvas blancas suelen presentar niveles notablemente reducidos de resveratrol de-

bido a la ausencia de pigmentos en la piel, que es donde este compuesto se encuentra en mayor proporción. Además, la variedad Red Globe, si bien es una uva tinta, también exhibe concentraciones medianamente bajas de resveratrol en comparación con otras variedades de uvas tintas destinadas a la vinificación, como se ha documentado con valores

cercanos a 0.77 ppm en la piel de esta uva. Esto contrasta con los contenidos de resveratrol en las uvas tintas usadas en vinos, que tienden a tener un contenido más alto de resveratrol debido a su mayor exposición a factores como la luz solar, que induce la síntesis de este compuesto fenólico.

Tabla 3: Contenido de resveratrol en bayas de uva de mesa.

Variedad	Código	Procedencia	Resveratrol (ppm)		
			1	2	promedio
Moscatel de Alejandría	MA10A	Cevita	ND	0,102	0,102
	MA10B		0,095	0,098	0,097
	MA10C		0,289	0,39	0,340
	MA30A	Kuhllman	0,181	ND	0,181
	MA30B		0,054	0,482	0,268
	MA30C		0,458	0,032	0,245
Red Globe	RG20A	Cevita	ND	0,101	0,101
	RG20B		0,971	0,751	0,861
	RG20C		0,682	0,881	0,782
	RG40A	Kuhllman	ND	0,771	0,771
	RG40B		1,019	1,107	1,063
	RG40C		1,181	0,978	1,080

Figura 8. Contenido de resveratrol en bayas de uva de mesa, variedades Moscatel de Alejandría y Red Globe



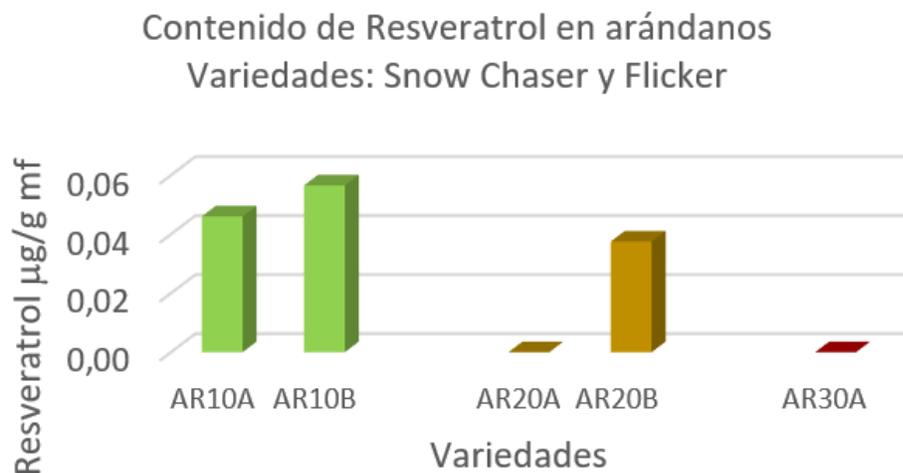
Para la determinación de la concentración de resveratrol en Arándano, se empleó la misma curva de calibración descrita previamente, aplicando un nuevo ensayo basado en cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC). Este método permitió alcanzar límites de detección más bajos en comparación con técnicas anteriores, con un umbral de detección de

90 pmol de trans-resveratrol inyectado en columna y una curva estándar lineal que abarcó más de tres órdenes de magnitud. Se estima que el almacenamiento prolongado en alacena pudo haber reducido significativamente los niveles de resveratrol, hasta valores cercanos al límite de detección. Los valores se encuentran descritos en la tabla 4

Tabla 4: Contenido de resveratrol en Arándano.

Código muestra	Variedad	valor 1 (µmg/g mf)	valor 2 (µmg/g mf)	promedio Resveratrol (µmg/g mf)
AR10A	Snow Chaser	0,054	0,038	0,05
AR10B	Snow Chaser	0,055	0,058	0,06
AR20A	Flicker	nd	nd	0,00
AR20B	Flicker	0,034	0,041	0,04
AR30A	Liofilizado	nd	nd	0,00

Figura 9. Contenido de resveratrol en arándanos, variedades Snow Chaser y Flicker



5. CONCLUSIONES

Los resultados de la capacidad antioxidante total, evaluados mediante los ensayos ABTS y DPPH, muestran ligeras diferencias, lo que concuerda con las particularidades de las reacciones químicas involucradas en cada método. Aunque se observa una correlación aceptable entre ambos ensayos, las discrepancias sugieren que distintos compuestos fenólicos y flavonoides interactúan de manera diferenciada en cada sistema. Esto indica que la contribución de cada tipo de compuesto bioactivo a la capacidad antioxidante global de los extractos analizados es específica y dependiente de su mecanismo de acción. Las concentraciones de resveratrol detectadas en las muestras analizadas son consistentes con estudios previos que relacionan su síntesis con la activación de genes en respuesta a factores de estrés biótico y abiótico, como infecciones fúngicas y exposición a radiación UV-B. Si bien estos factores explican en parte la variabilidad en los niveles de resveratrol, es probable que también intervengan mecanismos fisiológicos más complejos relacionados con el metabolismo secundario de la vid. Factores como el clima, el manejo del viñedo y el proceso de maduración de las uvas podrían influir significativamente en su acumulación y merecen un análisis más detallado en futuras investigaciones.

Al analizar la composición de compuestos antioxidantes y fenólicos, se destacan diferencias entre las uvas de mesa y las uvas de vinificación. Las primeras, cultivadas para consumo directo, presentan niveles más bajos de resveratrol, ya que no están expuestas al mismo grado de estrés ambiental que las uvas destinadas a la producción de vino. En contraste, las uvas de vinificación responden a condiciones adversas, como infecciones fúngicas y alta radiación solar, activando la expresión de genes que inducen la síntesis de resveratrol. Por otro lado, los bajos niveles de resveratrol en arándanos podrían deberse a su degradación postcosecha, favorecida

por la exposición a la luz y el oxígeno. Métodos como el prensado en frío o la liofilización han demostrado ser más eficaces para preservar este compuesto en comparación con otros sistemas de almacenamiento. Es fundamental considerar que el resveratrol es altamente inestable y susceptible a la degradación, lo que provoca una reducción progresiva de sus niveles si las frutas no se almacenan en condiciones óptimas.

La observación de datos climáticos y su correlación con la síntesis de productos bioactivos como el resveratrol, es una opción para obtener una perspectiva de las oscilaciones en los valores registrados de resveratrol. Los cambios en la recurrencia de los períodos de sequía y humedad en el Valle Central de Tarija pueden llevar a crear incertidumbre en el rendimiento agrícola, particularmente en la síntesis de productos bioactivos. La humedad elevada asociada a las precipitaciones durante el período de maduración, pueden favorecer la síntesis de resveratrol en arándanos, al igual que en otras bayas como las uvas. Las fluctuaciones climáticas, evidenciadas por una variación de casi un grado en la temperatura mínima y la alteración en la frecuencia de los períodos de sequía y humedad, plantean la necesidad de un mayor número de experimentos y estudios sobre los mecanismos moleculares subyacentes.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el impuesto directo a los hidrocarburos (IDH) a través de un fondo concursable de la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica (DICYT) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Las muestras de uva fresca fueron provistas por las Bodegas Kuhlman, Bodegas y Viñedos Kohlberg y el Centro Vitivinícola de Tarija (CEVITA) Tarija, Bolivia. Las muestras de arándano fresco y liofilizado fueron provistos por la empresa Agro Náyade, Santa Cruz, Bolivia.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Brosché, M. and Å. Strid. Molecular events following perception of ultraviolet-B radiation by plants, *Physiol. Plant.* vol 117, pp. 1-10, (2003)
- Carrasco-Ríos, L.. Efecto de la Radiación Ultravioleta-B en plantas. *Idesia (Arica)*, 27(3). doi:10.4067/s0718-34292009000300009, (2009)
- Cassi-Lit, Mcassi-Lit, M; Whitecross, M.I. Nayudu M, Tanner GJ. (1997) UV-B irradiation induces differential leaf damage, ultrastructural changes and accumulation of species phenolic compounds in rice cultivars. *Aust J Plant Physiol* 24 (3): 261-274.
- Damian J. Allen¹, Salvador Nogue²s and Neil R. Baker, ¿Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis? Department of Biological Sciences, University of Essex, Colchester, Essex CO4 3SQ, UK (1998)
- Ispiryan, A., Viškelis, J., & Viškelis, P. (2021). Red Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Seed Oil: A Review. *Plants*, 10(5), 944. doi:10.3390/plants10050944
- Krzscin, J. W. Impact of the ozone profile on the surface UV radiation: analyses of the Umkehr and UV measurements at Belsk (52°N,21°E), Poland, *J. Geophys. Res.*, vol 105 pp. 5009-2015, (2000)
- Madronich, S., R. L. McKenzie, L. O. Björn and M. M. Caldwell. Changes Biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface, *J. Photochem. Photobiol., B. Biology*, vol. 46, pp. 5-19, (1988.)
- Osorio-Macías D, Vásquez P, Carrasco C, Bergenstahl B, and Peñarrieta M. Resveratrol, phenolic antioxidants, and saccharides in South American red wines. *Int J Wine Res* 10:1-11 (2018).
- Pszczółkowski, P., Villena, W. & Carbonneau, A. La Viticulture de la Bolivie, Centrée sur la Vallée Centrale de Tarija. *Progr. Agric. Vitic.* 127(1), 6-22. (2010)
- Rimando, A. M., Kalt, W., Magee, J. B., Dewey, J., & Ballington, J. R.. Resveratrol, Pterostilbene, and Piceatannol in *Vaccinium* Berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(15), 4713-4719. doi:10.1021/jf040095e (2004)
- Sanchez, M. et. al. Ultraviolet Radiation and Its Effects on Plants. Online, Available from: <https://www.researchgate.net/publication/367320690> (2023)
- Taquichiri, M. and J. Paco, Determinación del índice de la Radiación Ultravioleta en la ciudad de Tarija. *Innovación*, vol. 1, pp. 28-29, (2008)
- Taquichiri M, Ayarde R, Gutierrez P. High levels of resveratrol in grapes cultivated at high altitude valleys in Bolivia. *Int J Fruit Sci.*14(3):311-326, (2014)
- Tevini, M; Teramura, A.H. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem Photobiol* 50 (4): 479-487. 28, (1989)
- Thaipong, K. et. al.. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and analysis* 19: 669-675 (2006)
- Tuberoso, C. Berries: properties, consumption and nutrition, *Nova Sciences Pub.* (2011)
- Turner, K.L. and Davidson-Hunt, I.J. Tensions and synergies in the Central Valley of Tarija, Bolivia. Commercial viticulture and agrobiodiversity in smallholder farming systems. *Agroecol. Sustain. Food* 40(6), Syst. 518- 552. (2016)
- Yang, C., Landau, J. Huang, M., and H. Newmark, Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds, *Annu. Rev. Nutr.* vol. 21, pp. 381 - 406, (2001)

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL USO DEL CHATGPT EN LA CAPACIDAD DE ANALIZAR INFORMACIÓN LEGAL EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE LA CARRERA DE DERECHO DE LA UAJMS

ANALYSIS OF THE IMPACT OF CHATGPT USE ON THE ABILITY TO ANALYZE LEGAL
INFORMATION IN UNIVERSITY STUDENTS OF THE LAW PROGRAM AT UAJMS

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 25/06/2025

Gamboa Alba Shirley¹

¹Abogada Economista, Ph.D.
Docente Carrera de Derecho
Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

ORCID: 0000-0003-0042-7058¹

Correspondencia de la autora: shirley.gamboa@uajms.edu.bo¹, sgamboa1964@gmail.com¹

Tarija - Bolivia

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL USO DEL CHATGPT EN LA CAPACIDAD DE ANALIZAR INFORMACIÓN LEGAL EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE LA CARRERA DE DERECHO DE LA UAJMS

¹**Gamboa Alba Shirley**

Abogada, Economista, Ph.D.

Docente Carrera de Derecho

Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

ORCID: 0000-0003-0042-7058

Tarija, Bolivia

RESUMEN

Este artículo investiga cómo el uso de ChatGPT impacta específicamente la capacidad de los estudiantes de Derecho para analizar información legal, identificar sesgos en los argumentos jurídicos y evaluar la solidez de las interpretaciones. Se adoptó un enfoque mixto no experimental y metodología transversal, encuestándose a noventa estudiantes que se encontraban cursando asignaturas del 6to. Semestre del plan de estudio de la Carrera durante la gestión 2024. Entre los resultados más relevantes sugieren que la integración acrítica de ChatGPT en los procesos de aprendizaje del Derecho podría estar teniendo un impacto perjudicial en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes. Se estima que hasta un 60% de los estudiantes que utilizan esta herramienta de manera no supervisada podrían estar experimentando una disminución en su capacidad para analizar información jurídica compleja, identificar sesgos inherentes en los argumentos y evaluar la validez de las interpretaciones normativas, al depender excesivamente de las respuestas generadas por la IA en lugar de ejercitar sus propias habilidades cognitivas fundamentales.

ABSTRACT

This article investigates how the use of ChatGPT specifically impacts law students' ability to analyze legal information, identify biases in legal arguments, and assess the soundness of interpretations. A non-experimental, mixed-methods approach and cross-sectional methodology were adopted, surveying 90 students taking sixth-semester courses in the program's curriculum during the 2024 academic year. Among the most relevant results, it is suggested that the uncritical integration of ChatGPT into law learning processes could be having a detrimental impact on the development of students' critical thinking. It is estimated that up to 60% of students who use this tool in an unsupervised manner could be experiencing a decline in their ability to analyze complex legal information, identify inherent biases in arguments, and assess the validity of normative interpretations, due to their excessive reliance on AI-generated responses instead of exercising their own fundamental cognitive skills.

Palabras Clave: ChatGPT, Inteligencia Artificial Generativa, Pensamiento Crítico, Educación Jurídica, Análisis Jurídico, Sesgos, Evaluación de Argumentos.

Keywords: ChatGPT, Generative Artificial Intelligence, Critical Thinking, Legal Education, Legal Analysis, Biases, Argument Evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

En la formación de futuros profesionales del Derecho, el desarrollo de un pensamiento crítico es fundamental. La capacidad de analizar información jurídica compleja, identificar sesgos en argumentos legales y evaluar la validez de las interpretaciones normativas son habilidades esenciales para la práctica jurídica, la toma de decisiones éticas y la defensa de la justicia (Twining, 2018). La evolución del razonamiento jurídico como disciplina ha demostrado que la mera interpretación normativa resulta claramente insuficiente. En este sentido, la interrelación de los hechos se revela tan o más trascendente que la interpretación de la norma, ya que constituyen el insumo procesal fundamental al que el juzgador debe recurrir para fundamentar su decisión (Lagla, 2017); por lo que, el razonamiento jurídico exige la habilidad de desglosar problemas intrincados, sopesar evidencia contradictoria y construir argumentos coherentes y bien fundamentados. En este contexto, la reciente irrupción de herramientas de inteligencia artificial¹ generativa como ChatGPT plantea interrogantes cruciales sobre su influencia en la adquisición de estas competencias críticas en los estudiantes de Derecho.

ChatGPT, un modelo de lenguaje (LLM) desarrollado por OpenAI, ha demostrado una capacidad sorprendente para generar texto similar al humano, responder preguntas complejas y participar en conversaciones (OpenAI, 2023). Su potencial para asistir en tareas de investigación, redacción y comprensión de conceptos jurídicos es innegable. Además, la IA se ha utilizado para analizar grandes volúmenes de datos legales y extraer información relevante

para la toma de decisiones jurídicas (Contreras et al., 2021). Sin embargo, la facilidad con la que los estudiantes pueden obtener respuestas y generar contenido plantea preocupaciones sobre el posible impacto en su capacidad para desarrollar de forma autónoma las habilidades de pensamiento crítico así como la evaluación crítica de sus aplicaciones en el ámbito jurídico, que son el núcleo de la profesión jurídica. Al respecto estudios realizados (Leyva, 2022) señala que son escasas las asignaturas que desarrollan una comprensión pospositivista y crítica del Derecho, como la argumentación jurídica, la interpretación y, el pensamiento crítico jurídico. Por lo que, la enseñanza del derecho también necesita reformarse y no solo con contenidos curriculares acordes a los nuevos tiempos sino principalmente a los modos de enseñar y aprender las ciencias jurídicas (Cicero, 2018), más aun con la llegada de la Inteligencia Artificial.

Este artículo se centra en investigar específicamente cómo el uso de ChatGPT impacta la capacidad de los estudiantes de Derecho para analizar información legal, identificar sesgos en los argumentos jurídicos y evaluar la solidez de las interpretaciones, estableciendo un marco de análisis para comprender las implicaciones de esta tecnología emergente y proponer futuras líneas de investigación empírica que permitan evaluar su verdadero impacto en la formación de un pensamiento jurídico crítico y reflexivo.

El Pensamiento Crítico en la Educación Jurídica: Un Pilar Fundamental

El pensamiento crítico en el contexto de la educación jurídica va más allá de la mera memorización

¹ Es un término genérico que abarca una amplia gama de tecnologías, técnicas y enfoques antiguos y nuevos que se entiende mejor bajo la denominación de 'sistemas de inteligencia artificial', que se refiere a cualesquiera sistemas automatizados que a menudo apenas tienen nada más en común que estar guiados por un conjunto dado de objetivos definidos por el ser humano, con distintos grados de autonomía en sus acciones, e intervenir en predicciones, recomendaciones o tomas de decisiones basadas en los datos disponibles". Punto 12 de la Resolución del Parlamento Europeo, del 3 de mayo de 2022, disponible en: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA9-2022-0140_ES.html.

de leyes y jurisprudencia. Implica la capacidad de cuestionar suposiciones, analizar argumentos desde diversas perspectivas, identificar falacias lógicas y construir razonamientos jurídicos sólidos (Barnett, 1997, Rangel, 2019). Los estudiantes de Derecho deben desarrollar la habilidad de leer casos con una mirada analítica, discerniendo los hechos relevantes, los principios legales aplicables y el razonamiento subyacente en las decisiones judiciales (Morales, 2021).

La identificación de sesgos es otra competencia crucial. Los textos legales, los argumentos de las partes y las interpretaciones judiciales pueden estar influenciados por diversas perspectivas y prejuicios. Un abogado con un pensamiento crítico desarrollado es capaz de reconocer estos sesgos y evaluar su impacto en la validez de los argumentos y la equidad de las decisiones (Muñoz, 2011)

Asimismo, la evaluación de la validez de los argumentos jurídicos requiere la aplicación de principios lógicos y la comprensión de la jerarquía de las fuentes del Derecho (Huerta, 2017). Los estudiantes deben aprender a distinguir entre argumentos sólidos y falaces, a evaluar la autoridad y la relevancia de los precedentes y a construir sus propios argumentos de manera coherente y persuasiva (Cárdenas, 2015).

El Potencial Impacto de ChatGPT en el Desarrollo del Pensamiento Crítico

La integración de ChatGPT en el entorno de aprendizaje del Derecho presenta una serie de posibles impactos en el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes:

- **Reducción del Esfuerzo Cognitivo:** La facilidad con la que ChatGPT puede proporcionar resúmenes de casos, explicar conceptos legales o incluso generar borradores de argumentos podría llevar a una disminución del esfuerzo cognitivo necesario para que los estudiantes procesen la información de manera profunda y autónoma.

Esta "externalización" del pensamiento podría obstaculizar el desarrollo de sus propias habilidades analíticas.

- **Riesgo de Aceptación Acrítica:** La aparente autoridad y fluidez del texto generado por ChatGPT podrían inducir a los estudiantes a aceptar la información sin un análisis crítico previo, disminuyendo su capacidad para cuestionar, verificar y contrastar diferentes fuentes.
- **Dificultad en la Identificación de Sesgos:** ChatGPT es entrenado con grandes cantidades de datos textuales, que pueden contener sesgos inherentes. Si los estudiantes dependen en gran medida de esta herramienta sin desarrollar la capacidad de identificar estos sesgos, podrían internalizar perspectivas parciales o injustas.
- **Impacto en la Generación Autónoma de Argumentos:** La capacidad de ChatGPT para generar argumentos legales podría limitar las oportunidades para que los estudiantes desarrollen sus propias habilidades de construcción de argumentos, exploración de diferentes perspectivas y defensa de sus propias conclusiones.

Sin embargo, también es importante considerar el potencial de ChatGPT como una herramienta para fomentar el pensamiento crítico si se utiliza de manera pedagógicamente informada:

- **Herramienta para el Análisis Comparativo:** Los estudiantes podrían utilizar ChatGPT para generar diferentes perspectivas sobre un caso o un argumento legal y luego analizar críticamente las diferencias, identificando fortalezas y debilidades en cada enfoque.
- **Generador de Contraargumentos:** ChatGPT podría utilizarse para generar contraargumentos a las propias tesis de los estudiantes, obligándolos a defender sus posiciones de manera más rigurosa y a anticipar posibles objeciones.

- Apoyo en la Identificación de Falacias: Los estudiantes podrían analizar textos generados por ChatGPT en busca de falacias lógicas, desarrollando así su capacidad para reconocer argumentos defectuosos.
- Plataforma para la Reflexión Metacognitiva: La interacción con ChatGPT podría servir como un punto de partida para que los estudiantes reflexionen sobre sus propios procesos de pensamiento y las estrategias que utilizan para analizar información y construir argumentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

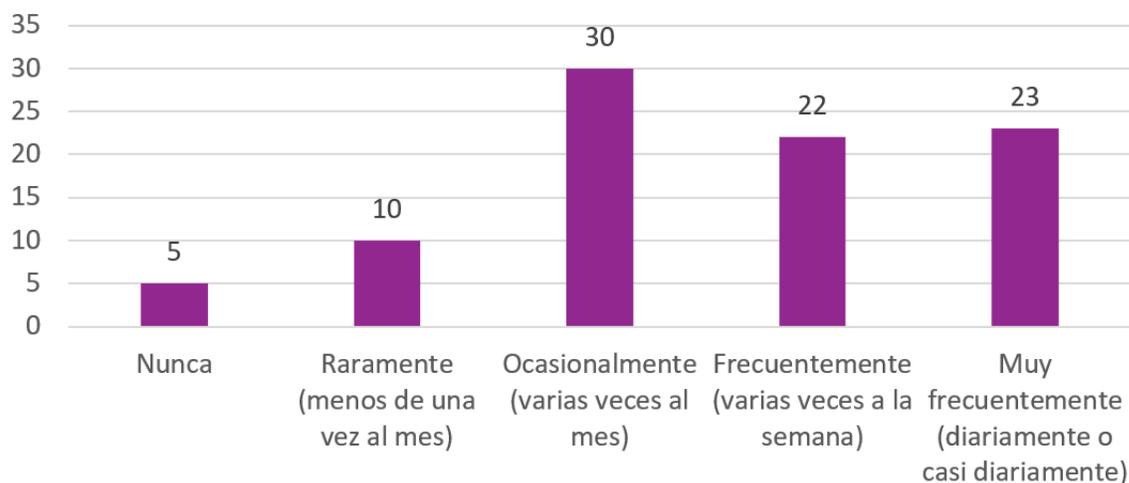
Para investigar el impacto del uso de ChatGPT en el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de Derecho, se empleó una metodología mixta. Se realizó una encuesta cuantitativa a una muestra de noventa estudiantes de Derecho de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas de la UAJMS que cursaban el 6to. Semestre del Plan de estudios de la Carrera la gestión 2024, utilizando un cuestionario diseñado ad hoc para valorar sus percepciones sobre cómo el uso de ChatGPT afecta sus habilidades para analizar información, identificar sesgos y evaluar la validez de los argumentos. Los datos cuantitativos se analizaron mediante estadística descriptiva e inferencial que permitió identificar tendencias

y correlaciones. Adicionalmente, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con una submuestra de estudiantes para obtener perspectivas cualitativas más profundas sobre sus experiencias y la forma en que interactúan con ChatGPT en sus estudios, buscando comprender los mecanismos subyacentes a los posibles impactos identificados en la fase cuantitativa. El análisis temático de las entrevistas complementó los hallazgos cuantitativos, proporcionando una comprensión más holística del fenómeno estudiado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a partir del análisis de los datos obtenidos, que revelan las percepciones de los estudiantes de Derecho en relación con el impacto del uso de ChatGPT en sus habilidades de pensamiento crítico. Se presentan estadísticos descriptivos mediante tablas para resumir las tendencias generales en las respuestas, así como para identificar correlaciones significativas entre la frecuencia de uso de ChatGPT y las autoevaluaciones de los estudiantes en cuanto a su capacidad para analizar información jurídica, identificar sesgos en los argumentos y evaluar la validez de las interpretaciones.

Gráfico 1. Frecuencia de uso del ChatGPT u otras herramientas similares de IA para sus estudios de Derecho



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos, muestran la frecuencia con la que los estudiantes de Derecho utilizan ChatGPT u otras herramientas similares de Inteligencia Artificial (IA) para sus estudios, evidenciándose una distribución variada en el uso de estas tecnologías.

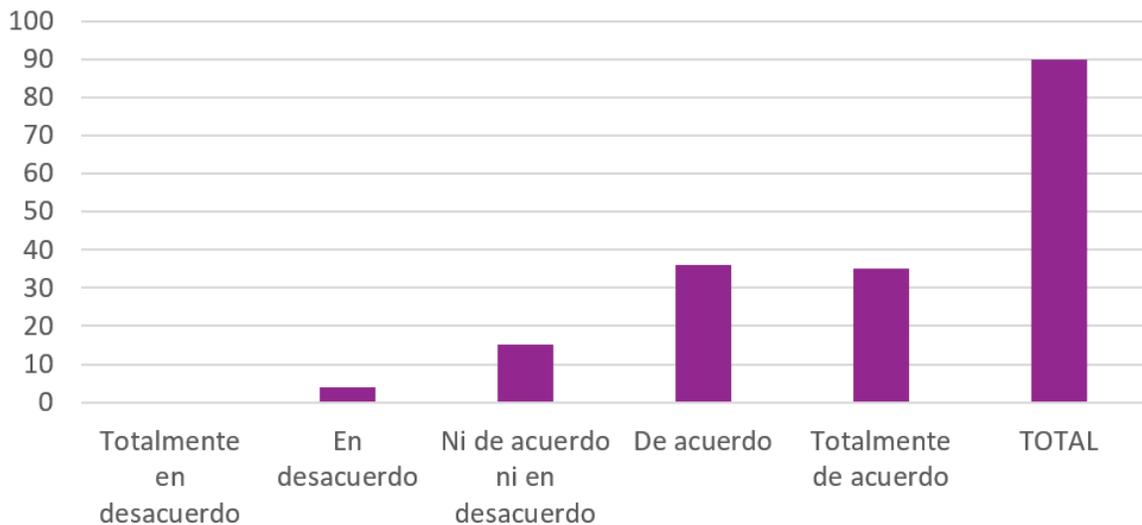
Entre los hallazgos Principales se tiene que: La categoría con la mayor frecuencia de respuesta es "Ocasionalmente (varias veces al mes)", con un 30% de los estudiantes que dicen utilizar estas herramientas. Esto sugiere que una parte significativa del estudiantado está explorando o integrando la IA en sus estudios de manera intermitente.

Un porcentaje importante de estudiantes también señala un uso más regular de la IA. El 22% la utiliza "Frecuentemente (varias veces a la semana)" y un 23% la utiliza "Muy frecuentemente (diariamente o casi diariamente)". La suma de estos dos grupos (45%) indica que casi la mitad de los estudiantes encuestados están incorporando activamente la IA en su rutina de estudios de forma regular.

Un grupo menor de estudiantes reporta un uso menos habitual o nulo de estas herramientas. El 10% las utiliza "Raramente (menos de una vez al mes)", mientras que solo un 5% declara "Nunca" haberlas utilizado para sus estudios de Derecho. Esto sugiere una creciente familiaridad y adopción de la IA entre la mayoría de los estudiantes. Por lo que, los resultados indican una tendencia clara hacia la adopción de herramientas de IA como ChatGPT en el ámbito del estudio del Derecho. Si bien el uso ocasional es el más común, un porcentaje sustancial de estudiantes las está utilizando de manera regular, lo que sugiere que perciben un valor o utilidad en su aplicación para los estudios de Derecho.

La baja proporción de estudiantes que nunca han utilizado estas herramientas esta relacionado con los resultados de las entrevistas que señalan también en baja proporción no estar familiarizados con el uso de la IA.

Gráfico 2. Impacto en el análisis de información



Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos se establecen los siguientes hallazgos principales:

Las datos más altos se encuentran en las categorías "De acuerdo" (aproximadamente 36%) y "Totalmente de acuerdo" (aproximadamente 35%). Esto indica que una mayoría significativa de los estudiantes (aproximadamente el 71%) perciben que ChatGPT les ayuda a identificar rápidamente los puntos clave en textos jurídicos complejos.

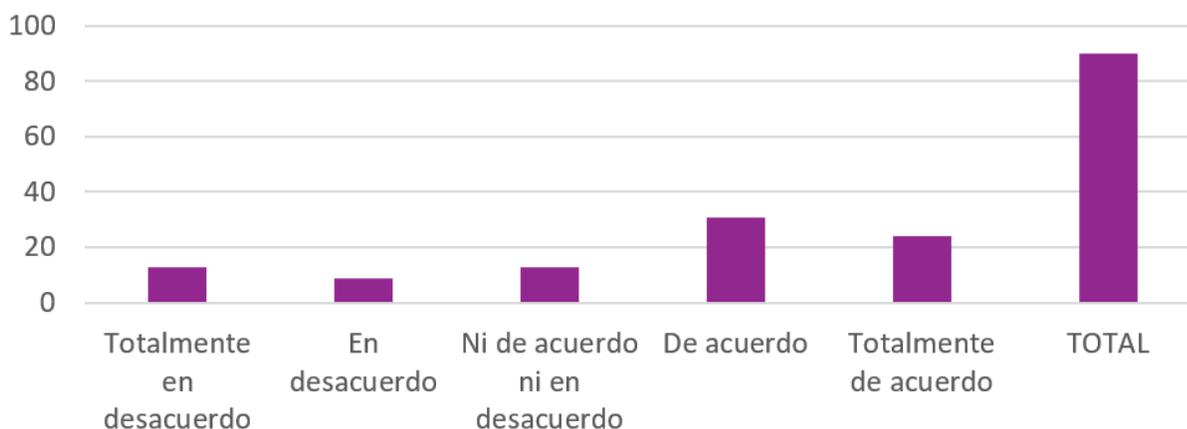
Las categorías "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (aproximadamente 15%) y "En desacuerdo" (aproximadamente 4%) representan una proporción mucho menor de las respuestas. La ausencia de una barra visible para "Totalmente en desacuerdo" sugiere que esta opinión es prácticamente inexistente en la muestra.

Los resultados sugieren una percepción generalizada y positiva entre los estudiantes de Derecho en

cuestados sobre la utilidad de ChatGPT para agilizar la identificación de los elementos centrales en textos jurídicos complejos. La gran mayoría considera que la herramienta les facilita la tarea de extraer la información más importante de materiales que podrían ser extensos o difíciles de abordar inicialmente, aspecto que se corrobora con el resultado de las entrevistas realizadas y los resultados de la investigación realizada por Meza, Rivera y Ortega (2024), relacionadas con el uso de la IA.

Esta percepción podría deberse a la capacidad de ChatGPT para resumir información, señalar conceptos recurrentes o identificar las ideas principales de un texto de manera eficiente. Los estudiantes podrían estar utilizando la IA como una herramienta para obtener una visión general rápida del material antes de realizar una lectura más profunda y detallada, o para confirmar su propia comprensión de los puntos cruciales.

Gráfico 3. Percepción sobre la Dependencia Reducida en la Propia Capacidad de Análisis Detallado debido al Uso de ChatGPT



Fuente: Elaboración propia

Entre los principales hallazgos se destacan los siguientes:

Los más altos porcentajes se encuentran en las categorías "Totalmente en desacuerdo" (aproximadamente 13%) y "De acuerdo" (aproximadamente 31%).

Le sigue de cerca "Totalmente de acuerdo" (aproximadamente 24%). Esto sugiere una división significativa en las opiniones de los estudiantes sobre si el uso de ChatGPT ha disminuido su dependencia en su propia capacidad para analizar información detallada.

La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" representa aproximadamente el 13% de las respuestas, mientras que "En desacuerdo" se sitúa en torno al 9%.

Es importante notar que una proporción considerable de estudiantes (la suma de "De acuerdo" y "Totalmente de acuerdo" es aproximadamente el 55%) sí siente que depende menos de su propia capacidad para el análisis detallado desde que utiliza ChatGPT.

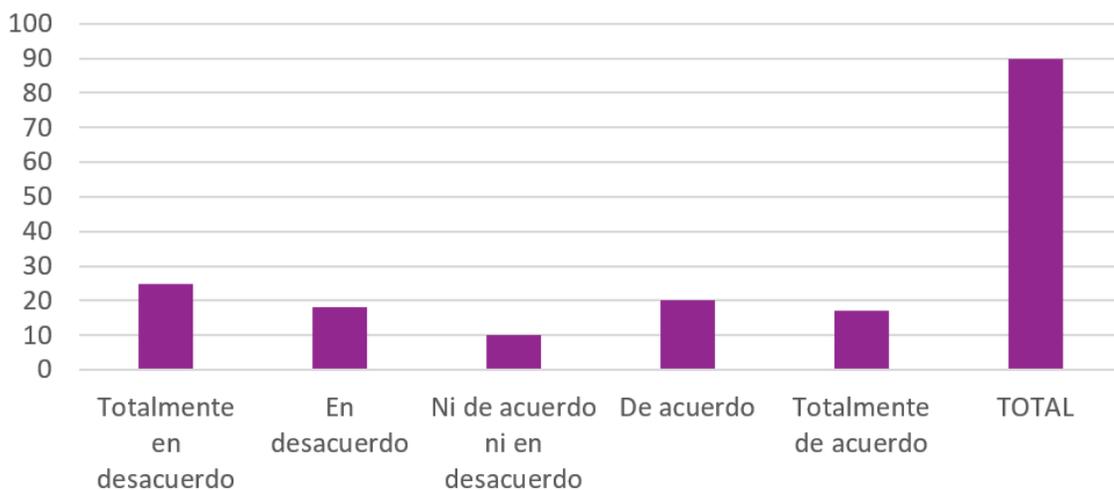
Los resultados revelan una opinión polarizada entre los estudiantes de Derecho en relación con la posible dependencia generada por el uso de ChatGPT en su capacidad para analizar información detallada.

El grupo que está en desacuerdo o neutral podría percibir que aún mantienen un rol activo en el análisis profundo de la información, utilizando ChatGPT como una herramienta complementaria que no sus-

tituye su propio esfuerzo cognitivo. Podrían sentir que la IA les ayuda a agilizar ciertas tareas, pero no compromete su capacidad fundamental de análisis.

El grupo que está de acuerdo experimenta una sensación de menor dependencia de sus propias habilidades para el análisis detallado. Esto podría deberse a que confían en la capacidad de ChatGPT para proporcionar resúmenes, identificar patrones o extraer información relevante, lo que les lleva a invertir menos esfuerzo en el análisis exhaustivo por sí mismos. Opinión de se corrobora con las respuestas emitidas en las entrevistas, en las que la totalidad de los entrevistados aseguran que con el uso de la IA se aprovecha mejor el tiempo y los resúmenes son de mayor calidad. Esta dependencia podría ser una preocupación, ya que el análisis es una habilidad crucial en la formación jurídica.

Gráfico 4. Percepción sobre la Ayuda de ChatGPT para Comprender Mejor las Relaciones entre Diferentes Conceptos Jurídicos



Fuente: elaboración propia

Los hallazgos principales señalan lo siguiente:

Se presenta una distribución relativamente equilibrada con una ligera tendencia al desacuerdo, toda vez que los porcentajes más altos se encuentran en las categorías "Totalmente en desacuerdo" (aproximadamente 25%) y "De acuerdo" (aproximadamente 20%). Le siguen "En desacuerdo" (aproximadamente 18%) y "Totalmente de acuerdo" (aproximadamente 17%). La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" presenta la menor frecuencia (aproximadamente 10%).

madamente 25%) y "De acuerdo" (aproximadamente 20%). Le siguen "En desacuerdo" (aproximadamente 18%) y "Totalmente de acuerdo" (aproximadamente 17%). La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" presenta la menor frecuencia (aproximadamente 10%).

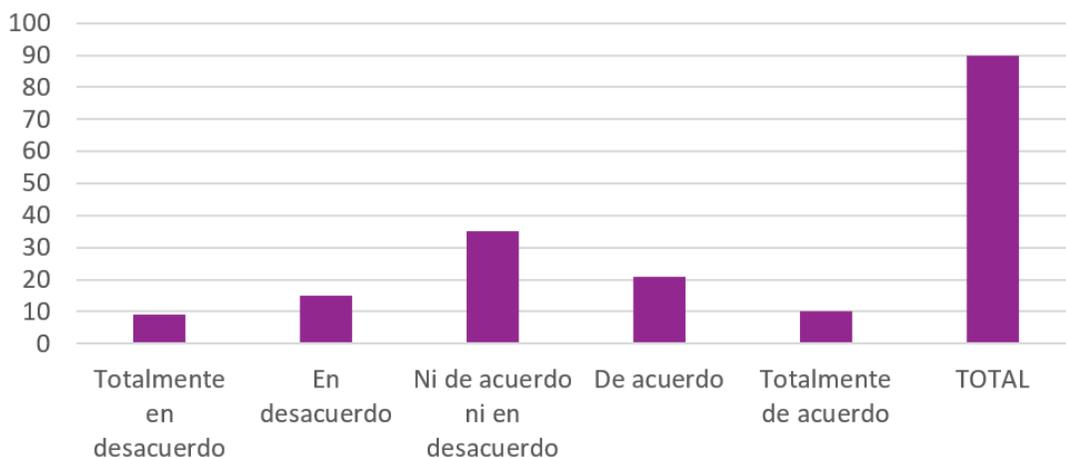
La interpretación de los resultados sugiere una opinión dividida entre los estudiantes encuestados sobre si ChatGPT les ayuda a comprender mejor las relaciones entre diferentes conceptos jurídicos. No existe un consenso claro, y las respuestas se distribuyen a lo largo de todo el espectro de la escala Likert.

El grupo que está en desacuerdo o totalmente en desacuerdo (aproximadamente el 43%) podría percibir que ChatGPT no es efectivo para esta tarea. Esto podría deberse a que la comprensión de las relaciones jurídicas a menudo requiere un análisis profundo del contexto, la historia, la jurisprudencia y la doctrina, aspectos que ChatGPT podría no siempre capturar adecuadamente o explicar de manera satisfactoria. También podrían sentir que la IA sim-

plifica demasiado las complejas interconexiones entre conceptos.

El grupo neutral (aproximadamente el 10%) podría no haber experimentado un impacto significativo de ChatGPT en su comprensión de las relaciones conceptuales o no tener una opinión formada al respecto. El grupo que está de acuerdo o totalmente de acuerdo (aproximadamente el 37%) sí percibe que ChatGPT les ayuda en este aspecto. Esto podría deberse a que la IA puede proporcionar definiciones, ejemplos o explicaciones que clarifican cómo se vinculan diferentes conceptos dentro de un área del derecho. También podría ser útil para identificar patrones o conexiones que no son inmediatamente obvias en la lectura de textos jurídicos.

Gráfico 5. Percepción sobre la Reducción del Tiempo Dedicado al Análisis Propio de la Información debido al Uso de ChatGPT



Fuente: elaboración propia

El gráfico muestra los principales hallazgos:

Tendencia hacia la Neutralidad y el Acuerdo: El porcentaje más alto se encuentra en la categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (aproximadamente 35%). Le siguen las categorías "De acuerdo" (aproximadamente 21%) y "Totalmente de acuerdo" (aproximadamente 10%).

Las categorías "En desacuerdo" (aproximadamente

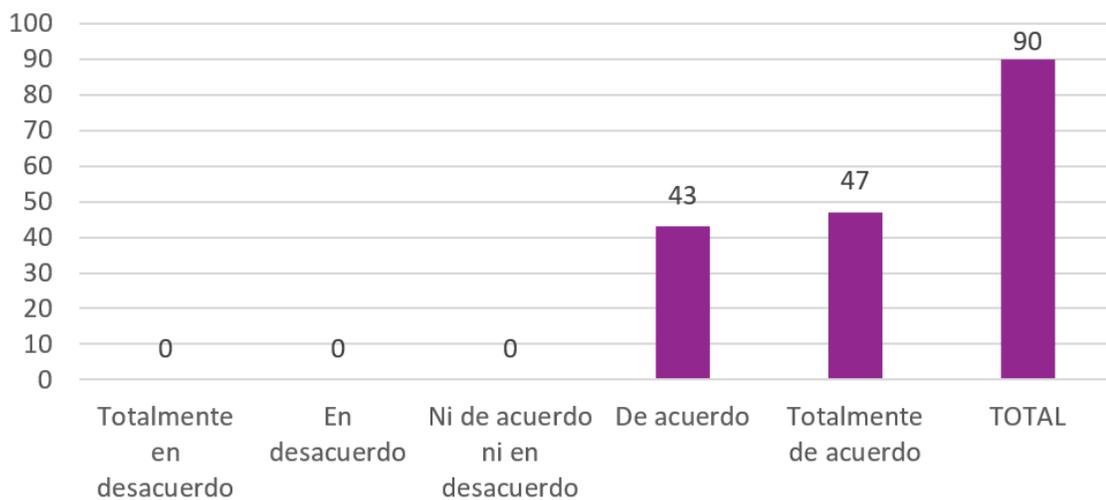
15%) y "Totalmente en desacuerdo" (aproximadamente 9%) también representan una porción significativa de las respuestas.

La interpretación de los resultados sugiere una opinión dividida entre los estudiantes de Derecho encuestados sobre si el uso de ChatGPT ha llevado a una reducción en el tiempo que dedican a analizar la información por sí mismos.

El grupo que está de acuerdo o totalmente de acuerdo (aproximadamente el 31%) percibe que, desde que utilizan ChatGPT, dedican menos tiempo al análisis propio de la información. Esto podría deberse a que confían en la capacidad de la IA para resumir, extraer puntos clave o proporcionar explicaciones, lo que reduce la necesidad de una lectura y un análisis detallado por su cuenta.

El grupo que está en desacuerdo o totalmente en desacuerdo (aproximadamente el 24%) siente que el uso de ChatGPT no ha disminuido su tiempo dedicado al análisis propio. Esto podría deberse a que utilizan la IA como una herramienta complementaria sin sustituir su propio análisis crítico, o porque consideran que el análisis detallado es una parte fundamental de su proceso de aprendizaje.

Gráfico 6. Percepción sobre la Provisión de Diferentes Perspectivas Legales por ChatGPT



Fuente: elaboración propia

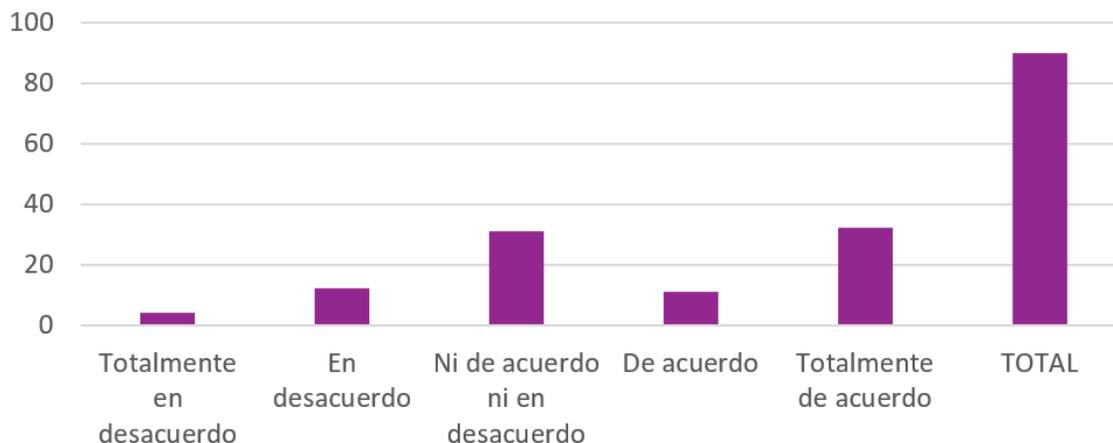
De los datos denotan los principales hallazgos:

Una fuerte Tendencia al acuerdo: El porcentaje más alto se encuentra en las categorías "De acuerdo" (43%) y "Totalmente de acuerdo" (47%). Esto indica que una gran mayoría de los estudiantes (90%) perciben que ChatGPT les proporciona diferentes perspectivas sobre un mismo tema legal.

No se registraron respuestas en las categorías "Totalmente en desacuerdo", "En desacuerdo" y "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (0% en cada una).

La Interpretación de los resultados revela un consenso casi unánime entre los estudiantes encuestados en que ChatGPT es una herramienta eficaz para ofrecerles diferentes puntos de vista sobre un mismo asunto legal. Aspecto que se corrobora con los resultados de las entrevistas realizadas. Esta percepción sugiere que los estudiantes encuentran valor en la capacidad de la IA para presentarles una variedad de enfoques, argumentos o interpretaciones relacionadas con un tema jurídico específico.

Gráfico 7. Percepción sobre la Mejora de la Capacidad Propia para Analizar Información debido al Uso de ChatGPT



Fuente: elaboración propia

Entre los hallazgos principales en base a los resultados obtenidos, se tiene lo siguiente:

Una tendencia al acuerdo y la neutralidad: Las barras más altas se encuentran en las categorías "Totalmente de acuerdo" (aproximadamente 32%) y "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (aproximadamente 31%). La categoría "De acuerdo" también presenta una frecuencia notable (aproximadamente 11%).

Las categorías "En desacuerdo" (aproximadamente 12%) y "Totalmente en desacuerdo" (aproximadamente 4%) representan una porción significativa de las respuestas.

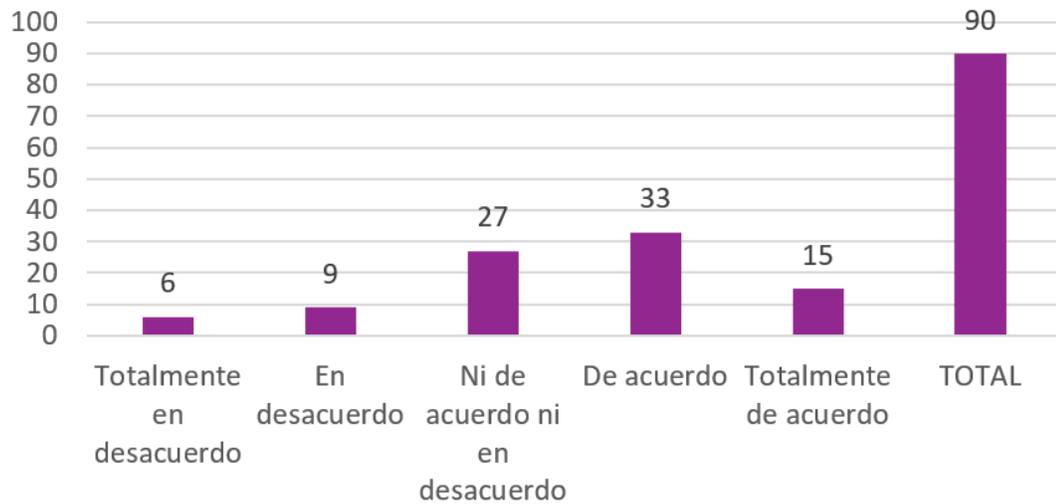
La interpretación de los resultados sugiere una opinión dividida entre los estudiantes de Derecho encuestados sobre si el uso de ChatGPT ha contribuido a una mejora en su propia capacidad para analizar información.

El grupo que está de acuerdo o totalmente de acuerdo (aproximadamente el 43%) percibe que su capacidad de análisis ha mejorado gracias al uso de ChatGPT. Esto podría deberse a que la interacción con la IA les expone a diferentes enfoques analíticos, les ayuda a identificar patrones o les permite verificar su propia comprensión de la información. También podría ser que la claridad y la síntesis de la información proporcionada por ChatGPT les facilite la comprensión y, por ende, mejoren su capacidad de análisis.

El grupo neutral (aproximadamente el 31%) no percibe un cambio significativo en su capacidad de análisis debido al uso de la herramienta, o no tiene una opinión clara al respecto.

El grupo que está en desacuerdo o totalmente en desacuerdo (aproximadamente el 16%) siente que su capacidad de análisis no ha mejorado o incluso podría haber disminuido debido a la dependencia de la IA.

Gráfico 8. Percepción sobre la Ayuda de ChatGPT para Identificar Posibles Sesgos en Argumentos Legales o Fuentes de Información Jurídica



Fuente: elaboración propia

Entre los hallazgos principales más relevantes se tiene:

Los datos más altos se encuentran en las categorías "De acuerdo" (33%) y "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (27%). La categoría "Totalmente de acuerdo" representa un 15% de las respuestas. Esto sugiere una tendencia moderada hacia la percepción de que ChatGPT puede ser útil para identificar posibles sesgos, aunque con una proporción significativa de estudiantes que no están seguros o no están de acuerdo.

Las categorías "En desacuerdo" (9%) y "Totalmente en desacuerdo" (6%) representan una proporción menor de las respuestas, indicando que la mayoría de los estudiantes no están firmemente en desacuerdo con la afirmación.

Los resultados indican una opinión menos homogénea en comparación con la pregunta anterior en relación a la provisión de diferentes perspectivas. Si bien una proporción considerable de estudiantes (33% "De acuerdo" y 15% "Totalmente de acuerdo"

= 48%) percibe que ChatGPT les ayuda a identificar posibles sesgos, un grupo importante (27%) se mantiene neutral, y otro segmento (9% "En desacuerdo" y 6% "Totalmente en desacuerdo" = 15%) no está de acuerdo con esta afirmación.

Esta distribución podría reflejar varias consideraciones:

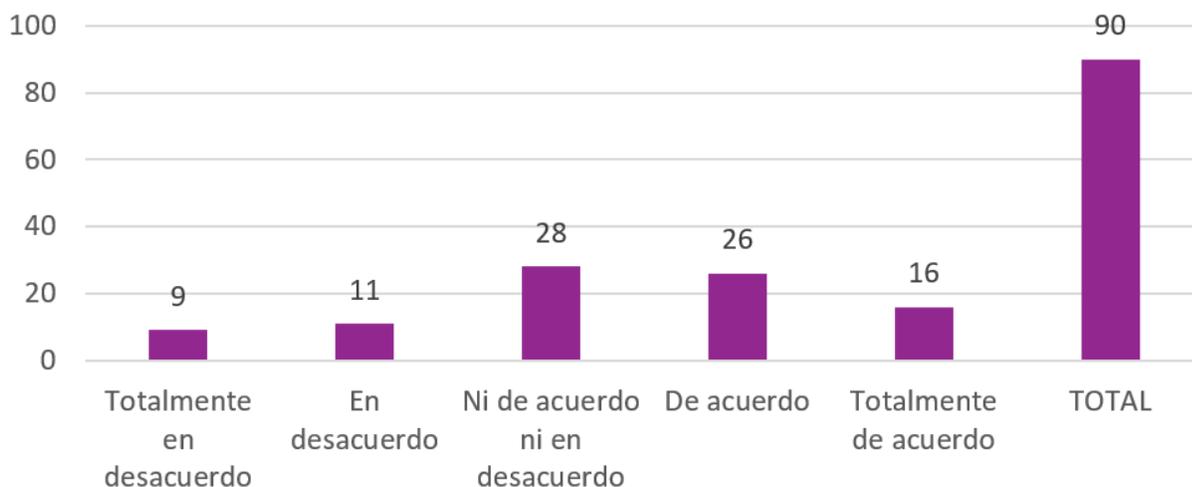
Complejidad de la Identificación de Sesgos: Reconocer sesgos en el ámbito legal requiere una comprensión profunda del contexto jurídico, las ideologías subyacentes y las posibles motivaciones de las partes. ChatGPT, al ser una herramienta basada en datos, podría tener limitaciones para identificar sesgos sutiles o implícitos que requieren un análisis crítico más profundo.

Conciencia de las Limitaciones de la IA: Los estudiantes podrían ser conscientes de que ChatGPT no está diseñado inherentemente para ser un detector de sesgos y que su capacidad en este aspecto podría ser limitada o inconsistente.

Dependencia de la Formulación de la Pregunta: La efectividad de ChatGPT para identificar sesgos podría depender de la especificidad y la claridad con la que los estudiantes formulen sus preguntas.

Desarrollo de la Propia Capacidad: Algunos estudiantes podrían considerar que la identificación de sesgos es una habilidad que deben desarrollar por sí mismos a través del análisis crítico y la exposición a diversas fuentes, en lugar de depender de una herramienta de IA.

Gráfico 9. Percepción sobre el Aumento de la Conciencia de Posibles Sesgos en Información Jurídica debido al Uso de ChatGPT



Fuente: elaboración propia

Entre los hallazgos principales se tiene:

Distribución Moderada con Tendencia a la Neutralidad y el Acuerdo: Los porcentajes más altos se encuentra en la categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (28%). Le siguen de cerca las categorías "De acuerdo" (26%) y "Totalmente de acuerdo" (16%). Esto sugiere una percepción mixta entre los estudiantes, con una proporción significativa que no está segura o que percibe un aumento en su conciencia de sesgos debido al uso de ChatGPT.

Respuestas en Desacuerdo Moderadas: Las categorías "En desacuerdo" (11%) y "Totalmente en desacuerdo" (9%) representan una porción considerable de las respuestas, indicando que una minoría significativa de estudiantes no cree que ChatGPT haya aumentado su conciencia de sesgos.

Los resultados revelan una falta de consenso claro entre los estudiantes de Derecho sobre si el uso de ChatGPT ha contribuido a una mayor conciencia de los posibles sesgos presentes en la información jurídica.

El grupo neutral podría indicar que los estudiantes no han experimentado un cambio significativo en su conciencia de sesgos debido al uso de la herramienta, o que no han reflexionado lo suficiente sobre esta cuestión.

El grupo que está de acuerdo o totalmente de acuerdo podría percibir que ChatGPT les ayuda a ser más conscientes de los sesgos de varias maneras:

- Presentación de diferentes perspectivas (como se vio en la pregunta anterior): Al mostrar múl-

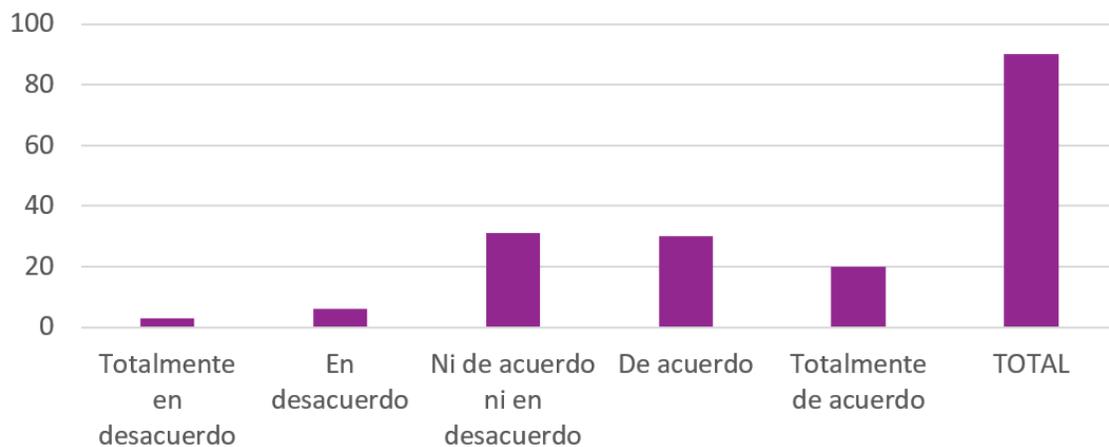
tiples puntos de vista, ChatGPT podría indirectamente exponer posibles sesgos inherentes en cada perspectiva.

- Identificación explícita de posibles sesgos (aunque la pregunta anterior mostró una menor convicción en esto): En algunos casos, ChatGPT podría señalar explícitamente la presencia de sesgos en un argumento o fuente.
- Fomento de la reflexión: La interacción con la información generada por ChatGPT podría llevar a los estudiantes a cuestionar las fuentes y los

argumentos, haciéndolos más propensos a considerar posibles sesgos.

El grupo que está en desacuerdo podría sentir que ChatGPT no les proporciona información sobre sesgos o que incluso podría introducir nuevos sesgos basados en los datos con los que fue entrenado. También podrían considerar que la identificación de sesgos es una habilidad que se desarrolla a través de la formación jurídica tradicional y el análisis crítico personal, más que a través de una herramienta de IA. Aspecto que no pudo ser corroborado con los resultados de las entrevistas.

Gráfico 10. Percepción sobre la Reducción del Esfuerzo Propio en la Identificación de Sesgos al Utilizar ChatGPT



Fuente: elaboración propia

Hallazgos principales:

Tendencia hacia el Acuerdo: Los resultados más altos se encuentran en las categorías "De acuerdo" (30%) y "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (31%). La categoría "Totalmente de acuerdo" también representa una proporción considerable (20%). Esto sugiere que una mayoría de los estudiantes (aproximadamente el 81%) tiende a estar de acuerdo o no tiene una opinión clara sobre si se esfuerzan menos en identificar sesgos por su cuenta al usar ChatGPT.

Respuestas en Desacuerdo Minoritarias: Las categorías "En desacuerdo" (6%) y "Totalmente en des-

acuerdo" (3%) representan una proporción muy pequeña de las respuestas, indicando que pocos estudiantes sienten que no reducen su esfuerzo propio al usar la IA para identificar sesgos.

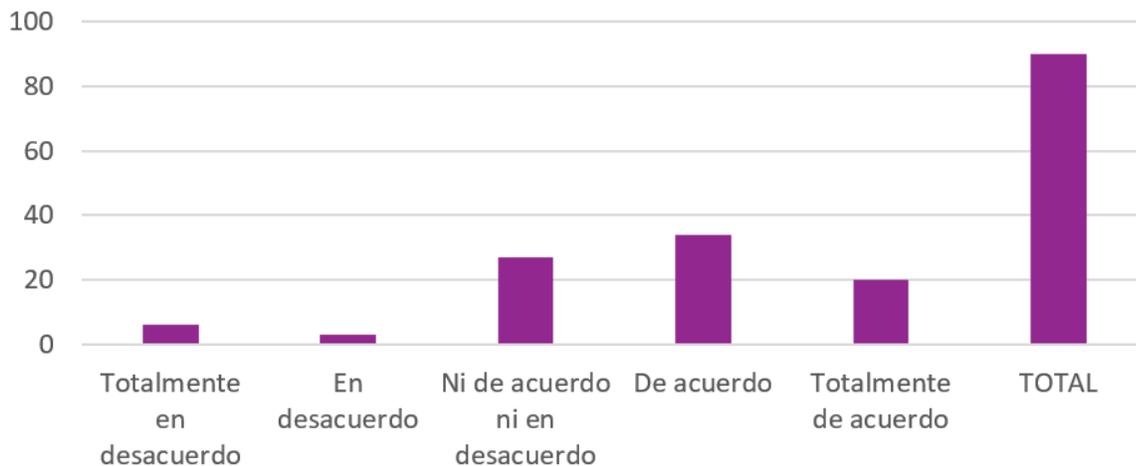
Los resultados sugieren que una parte significativa de los estudiantes de Derecho percibe que utiliza menos su propio esfuerzo para identificar sesgos en la información jurídica cuando recurre a ChatGPT. Esto podría indicar una tendencia a confiar en la capacidad de la IA para señalar posibles sesgos, en lugar de realizar un análisis crítico exhaustivo por sí mismos.

Entre las razones que podrían explicar esta percepción:

- Delegación de la Tarea: Los estudiantes podrían estar utilizando ChatGPT como una "herramienta de detección de sesgos" y, por lo tanto, sintiendo menos necesidad de aplicar sus propias habilidades de análisis crítico para esta tarea específica.
- Confianza en la IA: La aparente objetividad y la capacidad de procesamiento de información de la IA podrían generar una confianza que disminuye la motivación para un análisis independiente de los posibles sesgos.

- Eficiencia Percibida: Los estudiantes podrían percibir que es más rápido y fácil dejar que ChatGPT identifique los sesgos, lo que reduce su disposición a invertir el tiempo y el esfuerzo necesarios para hacerlo por sí mismos.
- Falta de Conciencia de las Limitaciones: Los estudiantes podrían no ser plenamente conscientes de las limitaciones de ChatGPT en la identificación de sesgos sutiles o contextuales, lo que lleva a una menor inversión de su propio esfuerzo.

Gráfico 11. Percepción sobre la Disminución de la Capacidad Propia para Identificar Sesgos en Información Jurídica debido al Uso de ChatGPT



Fuente: elaboración propia

Entre los hallazgos principales se tienen los siguientes:

Tendencia al Desacuerdo y la Neutralidad: El porcentaje más elevado se encuentra en la categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" (27%). Le siguen las categorías "De acuerdo" (34%) y "Totalmente de acuerdo" (20%). Esto sugiere que una proporción considerable de estudiantes (aproximadamente el 81%) tiende a no estar de acuerdo o no tiene una opinión clara sobre si su capacidad para identificar sesgos ha disminuido debido al uso de ChatGPT.

Respuestas en Desacuerdo Minoritarias: Las categorías "En desacuerdo" (3%) y "Totalmente en desacuerdo" (6%) representan una proporción muy pequeña de las respuestas, indicando que pocos estudiantes sienten firmemente que su capacidad ha disminuido.

Los resultados sugieren que la mayoría de los estudiantes de Derecho encuestados no perciben una disminución clara en su capacidad para identificar sesgos en información jurídica como consecuencia directa del uso de ChatGPT. Sin embargo, es impor-

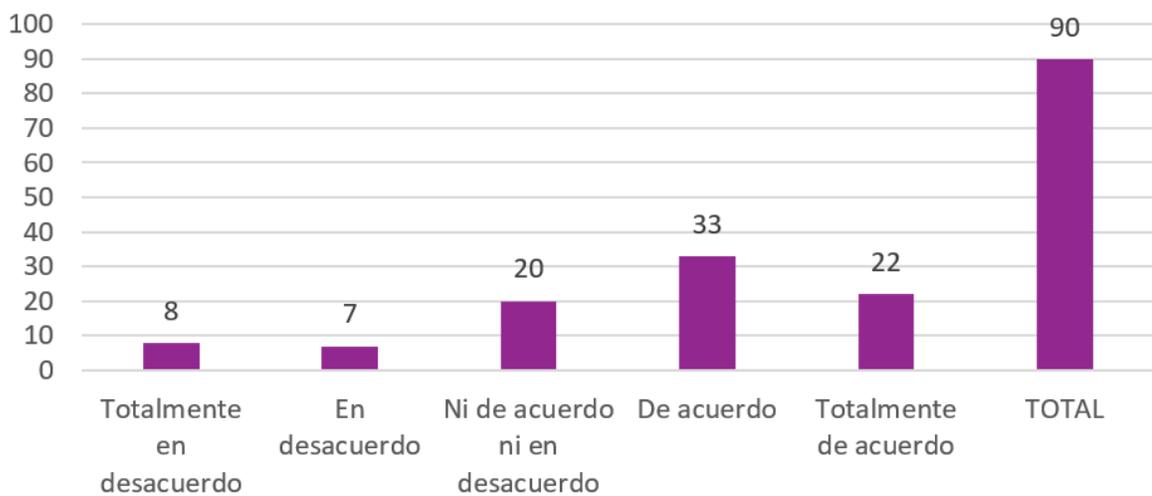
tante analizar las diferentes perspectivas dentro de esta tendencia general:

- El grupo neutral: Podría indicar que los estudiantes no han reflexionado lo suficiente sobre esta cuestión, no han notado un impacto significativo o consideran que otros factores influyen más en su capacidad de identificar sesgos.
- El grupo que está de acuerdo o totalmente de acuerdo: Aunque minoritario (54% en total), este grupo sí percibe una disminución en su capacidad para identificar sesgos. Esto podría deberse a una dependencia creciente de la IA para esta tarea, lo que atrofia sus propias habilidades analíticas. También podría reflejar una

falta de conciencia sobre cómo la IA presenta la información o una confianza excesiva en su objetividad percibida. Esto se corrobora en las respuestas de las entrevistas realizadas, donde una mayoría refiere a que confía en la objetividad de la información generada por la IA.

- El grupo que está en desacuerdo o totalmente en desacuerdo: Estos estudiantes podrían sentir que el uso de ChatGPT no ha afectado negativamente sus habilidades de identificación de sesgos, posiblemente porque lo utilizan como una herramienta complementaria sin depender completamente de sus análisis o porque confían en su propia capacidad crítica.

Gráfico 12. Percepción sobre la Ayuda de ChatGPT para Evaluar la Solidez Lógica de los Argumentos Jurídicos



Fuente: elaboración propia

Los hallazgos principales de los datos obtenidos reflejan lo siguiente:

Tendencia al Acuerdo y la Neutralidad: Las barras más altas se encuentran en las categorías "De acuerdo" (33%) y "Totalmente de acuerdo" (22%), sumando un 55% de los estudiantes que perciben que ChatGPT les ayuda a evaluar la solidez lógica de los argumentos jurídicos. Un 20% se muestra neutral ("Ni de acuerdo ni en desacuerdo").

Las categorías "En desacuerdo" (7%) y "Totalmente en desacuerdo" (8%) representan una proporción relativamente pequeña de las respuestas, indicando que la mayoría de los estudiantes no están firmemente en desacuerdo con la afirmación.

Los resultados sugieren que una mayoría de los estudiantes de Derecho encuestados percibe que ChatGPT es una herramienta útil para evaluar la so-

lidez lógica de los argumentos jurídicos. Esto podría deberse a la capacidad de la IA para:

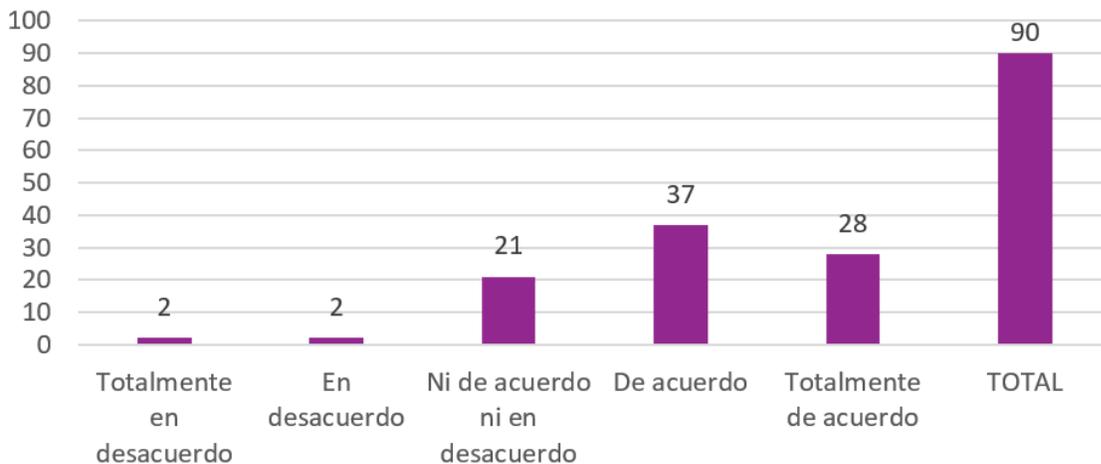
- Identificar la estructura de los argumentos: ChatGPT podría ayudar a desglosar un argumento en sus premisas y conclusiones, facilitando el análisis de su coherencia interna.
- Reconocer posibles falacias lógicas: Aunque con limitaciones, la IA podría señalar la presencia de ciertos tipos de falacias en el razonamiento jurídico.
- Comparar argumentos: ChatGPT podría ayudar a comparar la solidez lógica de diferentes argumentos presentados sobre un mismo tema legal.

- Generar contraargumentos: Al producir contraargumentos, la IA podría indirectamente exponer debilidades lógicas en el argumento original.

Sin embargo, la presencia de un 20% de estudiantes neutrales sugiere que una porción significativa no está convencida del todo o no ha experimentado claramente esta ayuda. Esto podría deberse a la complejidad inherente del razonamiento jurídico, donde la lógica a menudo se entrelaza con la interpretación normativa y los principios éticos, aspectos que ChatGPT podría no capturar completamente.

La baja proporción de estudiantes en desacuerdo indica que la mayoría no considera que ChatGPT sea inútil para esta tarea.

Gráfico 13. Percepción sobre la Reducción de la Dependencia del Propio Criterio para Evaluar la Validez de los Argumentos debido al Uso de ChatGPT



Fuente: elaboración propia

Entre los hallazgos principales se tiene:

Tendencia al Acuerdo: Los porcentajes más altas se encuentran en las categorías "De acuerdo" (37%) y "Totalmente de acuerdo" (28%), sumando un 65% de los estudiantes que sienten que dependen menos de su propio criterio para evaluar la validez de los argumentos desde que utilizan ChatGPT.

La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" representa un 21% de las respuestas. En tanto que, las categorías "En desacuerdo" (2%) y "Totalmente en desacuerdo" (2%) representan una proporción muy pequeña de las respuestas.

Los resultados sugieren que una mayoría significativa de los estudiantes de Derecho encuestados

percibe una disminución en su dependencia de su propio criterio para evaluar la validez de los argumentos como resultado del uso de ChatGPT. Esto implica que los estudiantes podrían estar confiando en las evaluaciones o la información proporcionada por la IA al juzgar la solidez de los argumentos, en lugar de basarse principalmente en su propio análisis y razonamiento. Aspecto que se corrobora con las respuestas en las entrevistas realizadas al señalar que se confía en la información proporcionada por la IA.

Varias razones podrían explicar esta percepción:

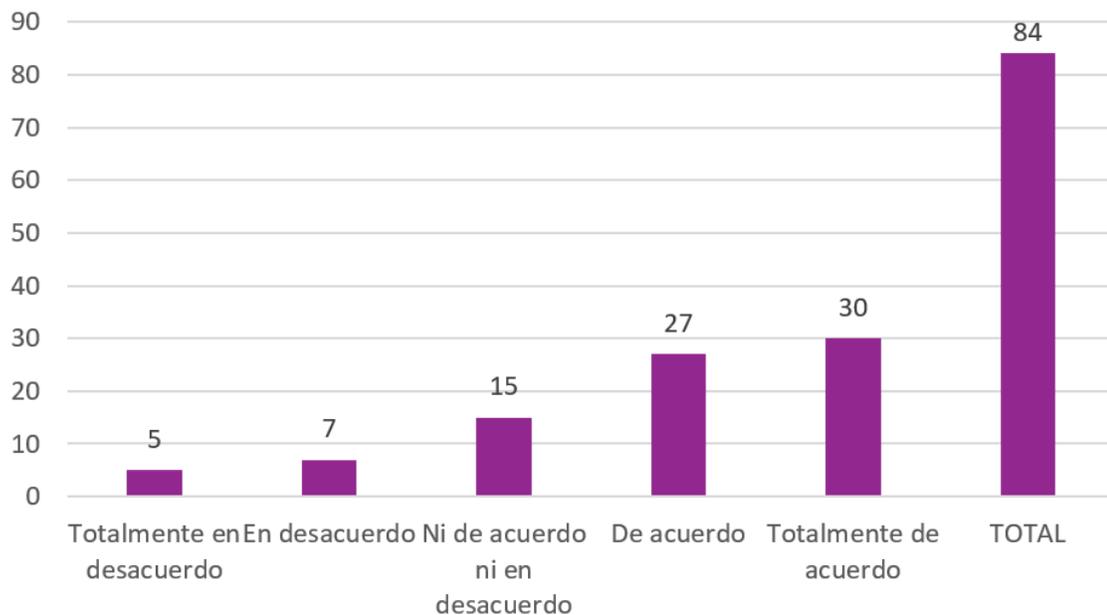
Confianza en la Autoridad de la IA: Los estudiantes podrían percibir a ChatGPT como una fuente de información objetiva y autorizada, lo que disminuye su

necesidad de aplicar su propio juicio crítico, aspecto que como se señaló anteriormente, gran parte de los estudiantes entrevistados coinciden en confiar en la información proporcionada por la IA.

Ahorro de Esfuerzo Cognitivo: Evaluar la validez de los argumentos requiere un análisis profundo y a menudo laborioso. Los estudiantes podrían estar utilizando ChatGPT para obtener una evaluación rápida, reduciendo así su propio esfuerzo cognitivo.

Influencia de las Respuestas de la IA: Las respuestas generadas por ChatGPT, al presentarse de manera coherente y aparentemente lógica, podrían influir en la percepción de los estudiantes sobre la validez de un argumento, incluso antes de realizar su propio análisis exhaustivo.

Gráfico 14. Percepción sobre la Ayuda de ChatGPT para Identificar Fortalezas y Debilidades de Diferentes Argumentos Legales



Fuente: elaboración propia

Los principales hallazgos se resumen en lo siguiente:

Tendencia al Acuerdo: El porcentaje más alto se encuentra en las categorías "De acuerdo" (27%) y "Totalmente de acuerdo" (30%), sumando un 57% de los estudiantes que perciben que ChatGPT les ayuda a identificar las fortalezas y debilidades de diferentes argumentos legales.

La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" representa un 15% de las respuestas. En tanto que las categorías "En desacuerdo" (7%) y "Totalmente en desacuerdo" (5%) representan una proporción relativamente pequeña de las respuestas.

Estos resultados sugieren que una mayoría de los estudiantes de Derecho encuestados percibe que ChatGPT es una herramienta útil para analizar la solidez de los argumentos legales, identificando tanto sus puntos fuertes como sus puntos débiles. Esto podría deberse a la capacidad de la IA para:

Desglosar argumentos: ChatGPT puede descomponer argumentos complejos en sus componentes principales, facilitando la evaluación de cada parte.

Identificar la evidencia de respaldo: La IA podría señalar la presencia o ausencia de pruebas que sustenten las afirmaciones en un argumento.

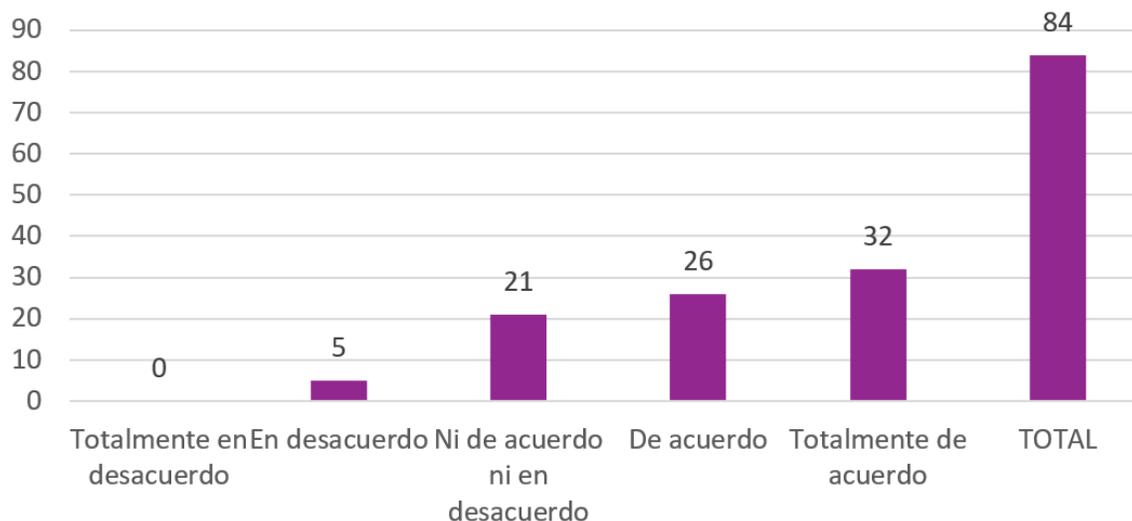
Señalar posibles falacias o inconsistencias: ChatGPT podría ayudar a identificar errores lógicos o contradicciones dentro de un argumento.

Comparar diferentes argumentos: La herramienta podría facilitar la comparación de las fortalezas y debilidades relativas de múltiples argumentos sobre un mismo tema.

La presencia de un 15% de estudiantes neutrales sugiere que una porción significativa no está completamente convencida o no ha experimentado claramente esta ayuda. Esto podría deberse a la complejidad inherente de la evaluación argumentativa en el derecho, que a menudo requiere un conocimiento profundo del contexto legal y los precedentes.

La baja proporción de estudiantes en desacuerdo indica que la mayoría no considera que ChatGPT sea inútil para esta tarea.

Gráfico 15. Percepción sobre la Reducción del Tiempo Dedicado al Análisis Propio de la Validez de los Argumentos debido al Uso de ChatGPT



Fuente: elaboración propia

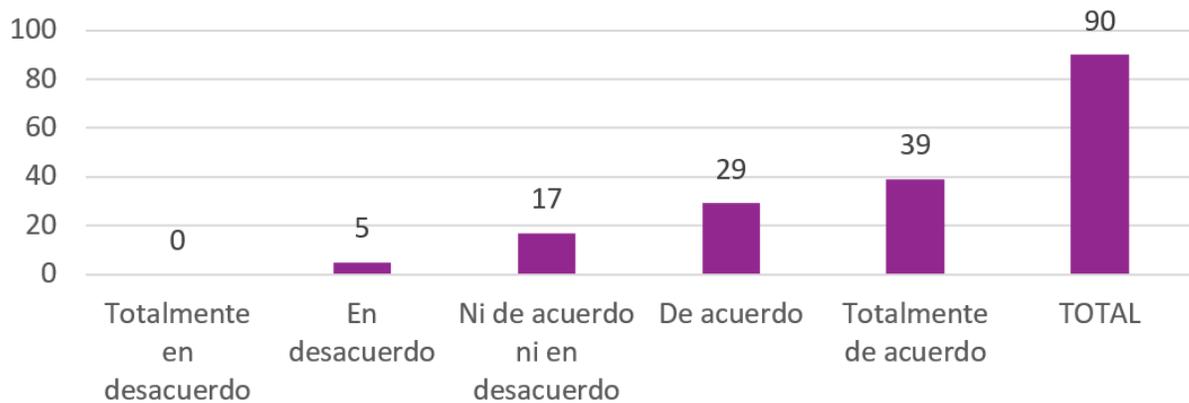
Entre los hallazgos principales se tiene:

Tendencia al Acuerdo: Las barras más altas se encuentran en las categorías "De acuerdo" (26%) y "Totalmente de acuerdo" (32%), sumando un 58% de los estudiantes que perciben que dedican menos tiempo a analizar la validez de los argumentos por sí mismos desde que utilizan ChatGPT.

Respuestas Neutrales Moderadas: La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" representa un 21% de las respuestas. En tanto que, las categorías "En desacuerdo" (5%) y "Totalmente en desacuerdo" (0%) representan una proporción muy pequeña de las respuestas.

Los resultados sugieren que una mayoría de los estudiantes de Derecho encuestados percibe una reducción en el tiempo que dedican a analizar la validez de los argumentos por su cuenta como consecuencia del uso de ChatGPT, resultados que se corroboran con las respuestas de las entrevistas. Esto implica que los estudiantes están confiando en la capacidad de la IA para proporcionar evaluaciones rápidas o información relevante sobre la validez, lo que disminuye la necesidad de realizar un análisis personal exhaustivo.

Gráfico 16. Percepción sobre la Provisión de Diferentes Interpretaciones y Análisis por ChatGPT que Ayudan a Evaluar la Validez



Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos se obtienen los siguientes hallazgos:

Fuerte Tendencia al Acuerdo: La concentración más alta de las respuestas se encuentran en las categorías "De acuerdo" (29%) y "Totalmente de acuerdo" (39%), sumando un 68% de los estudiantes que consideran que ChatGPT les proporciona diferentes interpretaciones y análisis que les ayudan a evaluar la validez de los argumentos.

Respuestas Neutrales Moderadas: La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" representa un 17% de las respuestas.

Respuestas en Desacuerdo Minoritarias: Las categorías "En desacuerdo" (5%) y "Totalmente en desacuerdo" (0%) representan una proporción muy pequeña de las respuestas.

La interpretación de estos datos sugiere que una mayoría significativa de los estudiantes de Derecho encuestados percibe que ChatGPT es una herramienta valiosa para obtener diferentes perspectivas interpretativas y análisis que contribuyen a su capacidad de evaluar la validez de los argumentos. Esto podría deberse a que la IA:

Presenta múltiples ángulos de un mismo argumento: ChatGPT puede generar diferentes interpretaciones de un principio legal o un conjunto de hechos, lo que permite a los estudiantes ver la validez desde diversas ópticas.

Ofrece análisis comparativos: La herramienta podría proporcionar análisis que comparan la validez de diferentes argumentos o interpretaciones en relación con un caso o una cuestión legal.

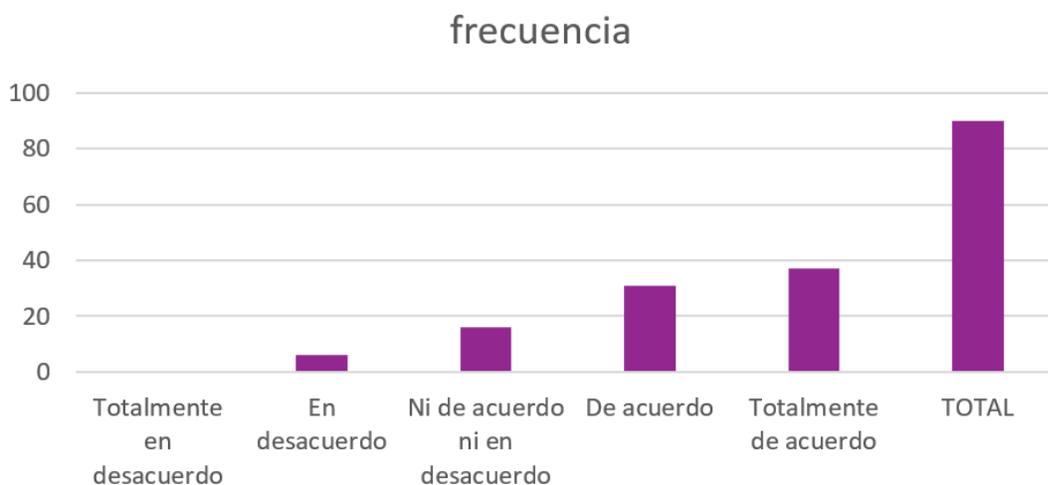
Identifica posibles fortalezas y debilidades inherentes a diferentes enfoques: Al presentar diversas interpretaciones, ChatGPT podría implícitamente señalar las fortalezas y debilidades de cada una en términos de su validez lógica y jurídica.

Actúa como un "abogado del diablo": La IA podría generar interpretaciones o análisis alternativos que desafían la validez de un argumento inicial, obligando al estudiante a examinarlo más a fondo.

La presencia de un 17% de estudiantes neutrales sugiere que una porción considerable aún no está convencida del todo o no ha experimentado claramente este beneficio. Esto podría deberse a la complejidad de la interpretación y el análisis jurídico, que a menudo requiere un conocimiento profundo del contexto y la jurisprudencia.

La baja proporción de estudiantes en desacuerdo indica que la mayoría no considera que ChatGPT sea inútil para esta tarea.

Gráfico 17. Percepción sobre la Mejora de la Capacidad Propia para Evaluar la Validez de los Argumentos Jurídicos debido al Uso de ChatGPT



Fuente: elaboración propia

Los datos reflejan los siguientes hallazgos principales:

Tendencia al Acuerdo: Las barras más altas se encuentran en las categorías "De acuerdo" (31%) y "Totalmente de acuerdo" (37%), sumando un 68% de los estudiantes que perciben una mejora en su propia capacidad para evaluar la validez de los argumentos jurídicos como resultado del uso de ChatGPT.

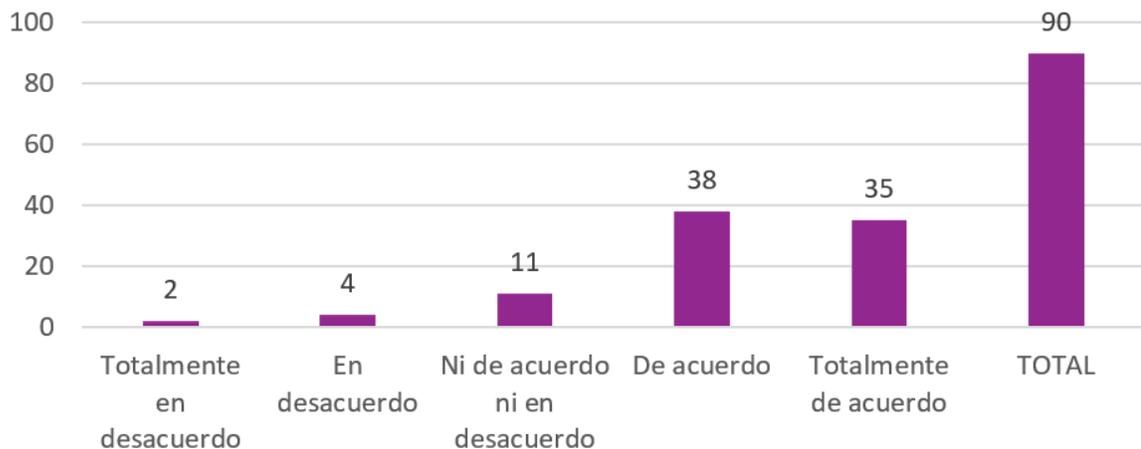
Respuestas Neutrales Moderadas: La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" representa un 16% de las respuestas.

Respuestas en Desacuerdo Minoritarias: Las categorías "En desacuerdo" (6%) y "Totalmente en desacuerdo" (0%) representan una proporción muy pequeña de las respuestas.

Los resultados sugieren que una mayoría significativa de los estudiantes cree que su propia habilidad para evaluar la validez de los argumentos jurídicos ha mejorado como consecuencia de utilizar ChatGPT. Esta percepción positiva podría deberse a varias razones:

- Al interactuar con las evaluaciones de validez proporcionadas por ChatGPT, los estudiantes podrían estar aprendiendo nuevas formas de abordar el análisis lógico y jurídico.
- ChatGPT podría ayudar a clarificar conceptos relacionados con la validez argumentativa, lo que a su vez fortalece la comprensión y la capacidad de evaluación de los estudiantes.
- La IA podría ayudar a los estudiantes a identificar patrones de argumentos válidos e inválidos, mejorando su propia capacidad para reconocerlos.
- La interacción con ChatGPT podría estimular a los estudiantes a reflexionar más críticamente sobre sus propios procesos de evaluación de argumentos.
- Herramienta de autoevaluación: Los estudiantes podrían utilizar las evaluaciones de ChatGPT para comparar y contrastar con sus propias evaluaciones, identificando áreas de mejora.

Gráfico 18. Percepción sobre la Confianza en la Objetividad y Fundamentación de las Evaluaciones de Argumentos Proporcionadas por ChatGPT



Fuente: elaboración propia

Los principales hallazgos de los datos obtenidos son los siguientes:

Fuerte Tendencia al Acuerdo: El mayor porcentaje de las respuestas de los estudiantes se encuentran en las categorías "De acuerdo" (38%) y "Totalmente de acuerdo" (35%), sumando un 73% de los estudiantes que confían en que las evaluaciones de argumentos proporcionadas por ChatGPT son objetivas y bien fundamentadas.

Respuestas Neutrales Minoritarias: La categoría "Ni de acuerdo ni en desacuerdo" representa un 11% de las respuestas.

Respuestas en Desacuerdo Muy Bajas: Las categorías "En desacuerdo" (4%) y "Totalmente en desacuerdo" (2%) representan una proporción muy pequeña de las respuestas.

La interpretación de los resultados revela una alta confianza generalizada entre los estudiantes en-

cuestados en la objetividad y la fundamentación de las evaluaciones de argumentos proporcionadas por ChatGPT. Esta fuerte tendencia al acuerdo sugiere que los estudiantes perciben que la IA realiza evaluaciones confiables y basadas en principios sólidos.

Entre las razones que podrían explicar este alto nivel de confianza:

- Percepción de la IA como imparcial: Los estudiantes podrían ver a ChatGPT como una herramienta neutral y objetiva, desprovista de sesgos humanos en su evaluación.
- Calidad percibida de las respuestas: La coherencia y la aparente lógica de las evaluaciones generadas por ChatGPT podrían llevar a los estudiantes a creer que están bien fundamentadas.
- Facilidad de comprensión: Las explicaciones proporcionadas por la IA sobre la validez o solidez de los argumentos podrían ser claras y fáciles de entender, reforzando la confianza en su fundamentación.
- Experiencia previa positiva: Si los estudiantes han tenido experiencias previas positivas con la precisión y utilidad de la información proporcionada por ChatGPT, es más probable que confíen en sus evaluaciones de argumentos.

5. CONCLUSIONES

El análisis de las respuestas de los estudiantes de Derecho en relación con el uso de ChatGPT y su impacto en el pensamiento crítico revela una compleja interacción con esta tecnología emergente. Si bien existe un consenso generalizado sobre la utilidad de ChatGPT para identificar rápidamente puntos clave y proporcionar diferentes perspectivas sobre temas legales, las percepciones sobre su influencia en habilidades críticas más profundas son más matizadas.

Una mayoría significativa de estudiantes confía en la objetividad y fundamentación de las evaluaciones de argumentos proporcionadas por ChatGPT y percibe que la herramienta les ayuda a evaluar la solidez lógica de los argumentos. Además, una proporción considerable cree que ChatGPT les proporciona diferentes interpretaciones y análisis que contribuyen a su evaluación de la validez, e incluso sienten que su propia capacidad para evaluar la validez de los argumentos ha mejorado gracias a su uso.

Sin embargo, también se identifican preocupaciones importantes. Una parte considerable de los estudiantes siente que depende menos de su propia capacidad para analizar información detallada y para evaluar la validez de los argumentos desde que utiliza ChatGPT. Además, una proporción notable percibe que se esfuerza menos en identificar sesgos por su cuenta al recurrir a la IA. Aunque la mayoría no cree que su capacidad para identificar sesgos haya disminuido, una porción significativa sí lo siente. Finalmente, las opiniones están divididas sobre si ChatGPT mejora la comprensión de las relaciones entre conceptos jurídicos y si lleva a dedicar menos tiempo al análisis propio de la información y la validez de los argumentos.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que, si bien ChatGPT ofrece beneficios percibidos en términos de eficiencia y acceso a diferentes perspectivas, existe un riesgo real de generar dependencia y potencialmente disminuir el esfuerzo cognitivo dedicado al desarrollo de habilidades fundamentales del pensamiento crítico, como el análisis detallado, la identificación de sesgos y la evaluación autónoma de la validez de los argumentos. La alta confianza depositada en las evaluaciones de la IA subraya la necesidad de fomentar un uso reflexivo y crítico de estas herramientas, complementado con una pedagogía que enfatice el desarrollo de la autonomía intelectual y las habilidades de pensamiento jurídico independiente. La investigación futura debería cen-

trarse en evaluar objetivamente el impacto del uso de ChatGPT en el rendimiento y el desarrollo a largo plazo de estas habilidades críticas en los estudiantes de Derecho y en rol Docente como mediador en los procesos de enseñanza aprendizaje y la metodología utilizada.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnett, R. (1997). Higher education: A critical business. Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Cárdenas, G. Jaime (2015). Los argumentos jurídicos y las falacias. DR. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Cicero, N. K. (2018). Innovar la enseñanza del derecho. ¿Solo se trata de Tecnologías de la Información y Comunicación? Revista Pedagogía Universitaria y Didáctica Del Derecho, 5(2), 91-110. <https://doi.org/10.5354/0719-5885.2018.51976>
- Contreras Vasquez, P. Azuaje Pirela, M., Díaz Fuenzalida, J.P., Bedecarratz Scholz, F., Bozzo Hauri, S., & Finol González, D. (2021). Enseñanzas y aprendizaje de la inteligencia artificial y derecho en Chile: Sobre el minor en la Inteligencia Artificial y Derecho de la Universidad Autónoma de Chile. Revista Pedagógica Universitario y Didáctica Del Derecho, (2), 281-302 <https://doi.org/10.5354/0719-5885.2021.64456>
- Huerta, O. Carla (2017). Interpretación y argumentación en el derecho. Problema. Anuario de Filosofía y Teoría del Derecho. Núm. 11, enero-diciembre de 2017, pp. 379-416
- Lagla P. Mabell A. (2017). Razonamiento jurídico: Lógica, interpretación y argumentación. Revista de la Facultad de Jurisprudencia, núm. 1, pp. 59-80, 2017
- Leyva V. Maikel, Estupiñán Ricardo J, Vega-Falcón V. (2022). La inteligencia artificial y su aplicación en la enseñanza del Derecho (p.p. 368-380). Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina. www.revflasco.uh.cu
- Mesa V. Jorge, Rivera R. Grettchen, Ortega L. Darina (2024). Inteligencia Artificial en la enseñanza del derecho: un estudio bibliométrico y de caso en la Facultad de derecho de la Universidad de Oriente de Cuba. Revista de Educación y Derecho. Universitat de Barcelona. ISSN en línea: 2386-4885
- Morales, J. (2021) Lectura en derecho: sugerencias para guiar al estudiante en su proceso formativo y en la apropiación del conocimiento. Telos, vol. 23, núm. 2, pp. 227-246, 2021
- Muñoz, A. Arturo (2011). La influencia de los sesgos cognitivos en las decisiones jurisdiccionales: el factor humano. Una aproximación. In Dret. Revista para el análisis del Derecho. Barcelona.
- OpenAI. (2023). ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue. [En línea] Disponible en: <https://openai.com/research/>
- Rangel C. Victor M, 2019) El pensamiento crítico en los estudios de derecho. Revista Jurídica UNAM. México. Num.. 53 Disponible en: <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/hechos-y-derechos/article/view/13860/15128>
- Twining, W. (2018). Rethinking legal education. The Law Teacher, 52(3), 241-260. <https://doi.org/10.1080/03069400.2018.1497260>

DETERMINACIÓN DE HABILIDADES BLANDAS EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS MEDIANTE MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS)

DETERMINING SOFT SKILLS IN UNIVERSITY STUDENTS USING
MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS)

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Alemán Castillo Roxana¹
Sánchez Rodríguez Mariela Jimena²
Alvarez Montealegre Daniela Sulay³

¹Administradora de Empresas, Ph.D.
Docente Facultad de Ciencias, Económicas y Financieras
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

ORCID: 0000-0001-9523-8932

Correspondencia de la autora: roxana.aleman@uajms.edu.bo¹

Tarija - Bolivia

DETERMINACIÓN DE HABILIDADES BLANDAS EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS MEDIANTE MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS)

² **Sánchez Rodríguez Mariela Jimena**

Carrera de Contaduría Pública

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

marieljime67@gmail.com

Tarijam Bolivia

³ **Alvarez Montealegre Daniela Sulay**

Carrera de Administración de Empresas

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

sulay07.alvarez@gmail.com

Tarijam Bolivia

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad determinar las habilidades blandas en estudiantes universitarios de la Facultad de Ciencias Económicas y Financieras, utilizando la técnica estadística de Escalamiento Multidimensional (MDS). Este método permite representar gráficamente similitudes y diferencias en competencias como comunicación asertiva, empatía, escucha activa y conocimientos tecnológicos, facilitando su interpretación según variables individuales y grupales. Con base en datos recientes provenientes de evaluaciones empíricas, se identifican patrones diferenciados por género, donde las mujeres obtienen puntuaciones más altas en empatía y los hombres en comunicación asertiva. Estos hallazgos proporcionan evidencia clave para el diseño de programas de formación personalizados, orientados a las necesidades específicas de cada grupo estudiantil.

ABSTRACT

This research aims to determine soft skills among university students at the Faculty of Economic and Financial Sciences using the statistical technique of Multidimensional Scaling (MDS). This method graphically represents similarities and differences in competencies such as assertive communication, empathy, active listening, and technological knowledge, facilitating interpretation based on individual and group variables. Based on recent data from empirical evaluations, differentiated patterns by gender are identified: women score higher in empathy, while men score higher in assertive communication. These findings provide key evidence for designing personalized training programs tailored to the specific needs of each student group.

Palabras Clave: Habilidades blandas, Multidimensional Scaling, Análisis por género, Desarrollo de competencias.

Keywords: Soft skills, Multidimensional Scaling, Gender analysis, Competence development.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de habilidades blandas ha adquirido una relevancia fundamental en los ámbitos profesional y educativo, dado su impacto significativo en el rendimiento tanto organizacional como académico. Competencias como la comunicación efectiva, el liderazgo y la resolución de conflictos son cruciales para el éxito, tanto a nivel individual como en equipo (Cimatti, 2016; Hynes et al., 2020). No obstante, la evaluación de estas habilidades presenta retos debido a su naturaleza intangible. En este contexto, herramientas estadísticas como el Escalamiento Multidimensional (MDS) se han propuesto como una solución eficaz para visualizar y comparar estas habilidades, proporcionando una representación gráfica de las disimilitudes entre individuos o grupos (Heckman & Kautz, 2019). Este enfoque permite una mejor comprensión de cómo se perciben y valoran las habilidades blandas en diferentes contextos, facilitando así su análisis y desarrollo.

En los últimos años, ha surgido un interés creciente por analizar las diferencias en el desarrollo de habilidades blandas en función del género y la carrera profesional. Estudios recientes han demostrado que estas diferencias pueden tener implicaciones significativas en los resultados académicos y laborales (Gibb, 2019; Mulder et al., 2022). Este artículo explora cómo el Escalamiento Multidimensional (MDS) puede ser utilizado para analizar estas habilidades en diversos contextos, centrándose específicamente en las variaciones según el sexo y la carrera. Este enfoque permite una comprensión más profunda de las dinámicas que afectan el desarrollo de competencias blandas, proporcionando insights valiosos para la mejora de programas educativos y estrategias de formación.

En Bolivia, una investigación realizada en la Universidad Católica Boliviana "San Pablo" mostró que los talleres de habilidades blandas, como comunicación efectiva y trabajo en equipo, son bien recibidos por los estudiantes. Los participantes destacaron la

relevancia de estas habilidades para su formación integral y futura inserción laboral (Universidad Católica Boliviana, 2023). Además, un estudio en Santa Cruz de la Sierra identificó que las habilidades blandas se desarrollan a través de experiencias sociales y educativas, aunque los estudiantes a menudo tienen dificultades para reconocerlas durante su formación (UTEPSA, 2023)

En el contexto latinoamericano, un análisis sobre la formación técnica en habilidades blandas subrayó que competencias como la resolución de problemas y el trabajo en equipo son esenciales para el éxito profesional. Este estudio resaltó que las instituciones educativas están comenzando a integrar estas habilidades en sus currículos, aunque aún existe un desafío en su implementación uniforme (Formación Técnica Profesional, 2022). Asimismo, investigaciones realizadas en Colombia y Perú han demostrado que las empresas valoran cada vez más estas competencias al momento de contratar, lo que refleja una tendencia creciente hacia la formación integral de los estudiantes (Quispe, 2023). A nivel global, estudios recientes han evidenciado que las habilidades blandas son determinantes para el éxito laboral. Investigaciones han demostrado que las competencias técnicas por sí solas no garantizan el éxito; es crucial contar con habilidades sociales como la empatía y la comunicación asertiva (Gil et al., 2021, 2021). Además, se ha observado que los programas educativos que incorporan aprendizaje basado en problemas y trabajo colaborativo son efectivos para mejorar estas competencias entre los estudiantes universitarios (Salazar et al., 2021).

La evidencia empírica, muestra, que tanto en Bolivia como en América Latina y el resto del mundo, existe un reconocimiento creciente de la importancia de las habilidades blandas en la formación universitaria. Las universidades en particular Juan Misael Saracho y la Facultad de Ciencias Económicas y Financieras deben continuar adaptando sus currículos para incluir estas competencias en las diferentes

carreras, asegurando que los futuros profesionales estén mejor preparados para enfrentar los desafíos del mercado laboral actual.

El estudio inicialmente contempla tres habilidades blandas centrales; sin embargo, se incorpora una cuarta dimensión (conocimientos tecnológicos) dada la creciente relevancia en el entorno educativo universitario actual y el en mundo laboral (Coelho & Martins, 2022; Mohammed & Ozdamli, 2024; Ca-gáňová & Horňaková, 2024).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio sigue un enfoque mixto, aplicando un diseño exploratorio, descriptivo y comparativo. Los datos fueron recolectados a través de encuestas estructuradas, diseñadas para medir percepciones de habilidades blandas como liderazgo, comunicación y trabajo en equipo. Los participantes fueron seleccionados por muestra aleatoria de 115 estudiantes de la población definida como "estudiantes de último año matriculados en el segundo semestre 2024 en la Facultad" (Tabla 1). Se ha empleado escala Likert de cinco puntos para medir las habilidades, y posteriormente, los datos fueron analizados con el software SPSS IBM Statistics 27, la técnica de MDS configura el algoritmo ALSCAL para un análisis de escalamiento multidimensional (MDS), permite representar datos de disimilitud en un espacio dimensional reducido. Este enfoque es especialmente útil para visualizar la estructura de las relaciones entre objetos o variables, facilitando la interpretación de datos complejos. El proceso comienza con la transformación de una matriz de disimilitudes en una matriz de disparidades, utilizando funciones lineales para datos métricos o funciones monotonías para datos no métricos (Heckman & Kautz, 2019). En cada iteración, el algoritmo estima dos componentes clave: las coordenadas de los estímulos y los pesos de los individuos, si se trata de un escalonamiento ponderado. Este proceso se realiza en dos etapas: primero se estiman los pesos y luego se calculan las coordenadas (Takane, Young,

& De Leeuw, 1977). La calidad del ajuste del modelo se evalúa mediante indicadores como el S-Stress y el R^2 , donde un S-Stress bajo indica un buen ajuste (Kruskal, 1964). Esta técnica permitió generar representaciones gráficas de las relaciones entre las habilidades, facilitando la comparación entre grupos y sectores.

El análisis se estructuró en dos etapas: (1) Análisis general para identificar patrones globales de similitud y disimilitud en habilidades blandas; (2) Análisis por sexo para examinar posibles diferencias entre hombres y mujeres. Las comparaciones se realizaron con base en distancias Euclidianas derivadas del MDS, lo que permitió visualizar las agrupaciones y dispersión de las habilidades según las variables estudiadas (Xu & Zhang, 2020).

Las cuatro dimensiones de habilidades blandas adaptadas de Delgadillo (2021) y aplicadas en el presente estudio son : **D1=Comunicación asertiva** (AD1¿Se disculpa con sus compañeros de clase cuando se equivoca?, BD1 ¿Expresa su sentir cuando se siente ofendido (a)?, CD3¿Expresa su opinión cuando observa una conducta inadecuada en la Universidad?, DD4¿Fomenta la comunicación asertiva con sus compañeros de clase?, ED5 ¿Se considera una persona asertiva que contribuye al bienestar de la Universidad?, **D2=Empatía** (FD2¿Cuando un compañero está en dificultad lo ayuda?, GD2¿Muestra preocupación ante las necesidades y dificultades de sus compañeros de clase?, HD2¿Se esfuerza por solucionar algún conflicto?, JD2 ¿Cuándo se equivoca se autocritica?, LD2 ¿Se siente contenta (o) con las tareas que desempeña? **D3= Escucha activa** (ID3¿Presta atención cuando sus compañeros y docentes hablan?, MD3 ¿Le resulta fácil simpatizar y trabajar con la mayoría de sus compañeros?, ND3¿Acepta las ideas de sus demás compañeros aunque no esté de acuerdo con ellas?, OD3 ¿Cree que su participación en las actividades universitarias es importante?, PD3¿Se siente identificado (a) con su grupo de compañeros?, QD3 ¿Cuándo sur-

ge un problema o conflicto, busca estrategias para ayudar a buscar la solución?, RD3¿Participa activamente en los diversos eventos que realiza la Universidad?, SD3 ¿Pone en práctica estrategias para solucionar conflictos?, TD3 ¿Se compromete cuando acepta alguna responsabilidad?, UD3 ¿Apoya voluntariamente en algunas actividades de la Universidad?); **D4=Conocimientos tecnológicos** (VD4¿Ayu-

da a sus compañeros en el uso de las Tic's cuando lo necesitan, WD4 ¿Se comunica con sus compañeros y docentes a través de Gmail, redes sociales, etc.?, XD4¿Cree que a través del uso de las Tic's fomenta su autoaprendizaje?, YD4¿Cree que la utilización de Inteligencia Artificial (I.A.) en sus clases es importante?, ZD4¿Cree que las Tic's son importantes en la actualidad).

Tabla 1: Distribución de participantes por carrera y género en la Facultad de Ciencias Económicas y Financieras(n=115)

Descripción		Género		Total
		Femenino	Masculino	
Carrera	Administración	34	17	51
	Contaduría Pública	32	11	43
	Economía	7	14	21
Total	73	42	115	

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS

La etapa de resultados presenta el análisis derivado de los datos recolectados mediante encuestas aplicadas a estudiantes universitarios. A través del Escalamiento Multidimensional (MDS), se identificaron patrones de similitud y disimilitud entre los ítems evaluados, lo que permitió representar gráficamente la percepción de las competencias blandas analizadas. Esta sección describe los agrupamientos generales obtenidos y profundiza en las diferencias según género, ofreciendo una visión detallada del posicionamiento de cada ítem en el espacio dimensional generado por la técnica estadística.

En dicha representación gráfica, cada punto corresponde a un ítem específico del cuestionario aplicado, es decir, a una afirmación valorada por los estudiantes respecto a alguna de las habilidades blandas. Los puntos se disponen en un plano bidimensional, definido por dos componentes principales, cuya ubicación responde a distancias euclidianas

que reflejan el grado de similitud o disimilitud en las respuestas.

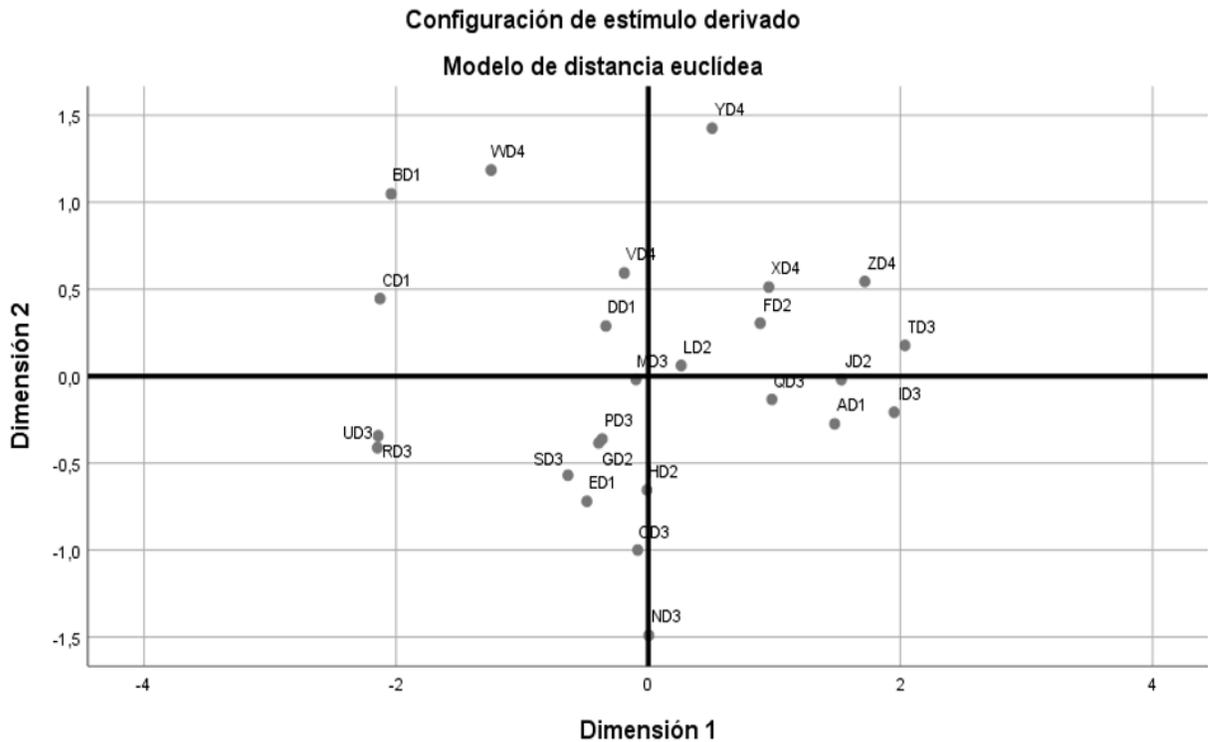
La posición de los puntos dentro del gráfico permite diversas interpretaciones. Por ejemplo, aquellos que se encuentran muy próximos entre sí indican una alta similitud perceptiva entre los ítems, lo que sugiere que los estudiantes los asocian de manera semejante. Por el contrario, los puntos alejados del centro suelen representar ítems con mayor peso en la construcción de la dimensión analizada. Si un ítem presenta cargas positivas en ambos componentes, se entiende que está estrechamente vinculado a la competencia evaluada; en cambio, las cargas negativas reflejan una relación inversa o una contribución marginal al conjunto dimensional. Finalmente, los puntos dispersos o aislados señalan ítems menos representativos o con respuestas más heterogéneas entre los participantes.

Esta visualización facilita una lectura integral de los patrones perceptivos, permitiendo identificar

con precisión los elementos que configuran cada dimensión de las habilidades blandas en el grupo estudiado.

(1) Análisis general de las habilidades blandas utilizando MDS

Gráfico 1: Habilidades blandas en la Facultad de Ciencias Económicas y Financieras



Fuente: Elaboración propia

El MDS en el gráfico 1, revela patrones claros en la percepción de las habilidades blandas. En la comunicación asertiva: AD1: Positivo en el primer componente y negativo en el segundo. Esto sugiere que este ítem contribuye positivamente a la dimensión general de comunicación asertiva, pero tiene una leve variabilidad negativa en la segunda dimensión. BD1: Negativo en el primer componente y positivo en el segundo. Esto indica una relación inversa, donde los estudiantes que expresan su sentir cuando se sienten ofendidos tienden a puntuar menos en la dimensión general, pero más en la segunda dimensión. CD1: Ambos componentes negativos, con una mayor carga en el primer componente. Esto muestra que la expresión de opiniones ante conductas inadecuadas está fuertemente relacionada con la

comunicación asertiva. DD1 y ED1: Ambos ítems presentan cargas bajas, indicando que no contribuyen significativamente a ninguna de las dimensiones. Sobre la empatía: FD2 y JD2: Ambos ítems tienen cargas positivas en el primer componente, mostrando una alta correlación con la empatía. GD2 y HD2: Negativos en el primer componente, sugiriendo una relación inversa con la empatía. Los estudiantes que muestran preocupación ante las necesidades de sus compañeros y se esfuerzan por solucionar conflictos tienden a tener menor puntuación en empatía. LD2: Bajos valores en ambos componentes, lo que indica que la satisfacción con las tareas no es un predictor fuerte de la empatía. Escucha Activa: ID3 y TD3: Ambos ítems tienen cargas positivas, lo que sugiere que prestar atención y comprometerse con

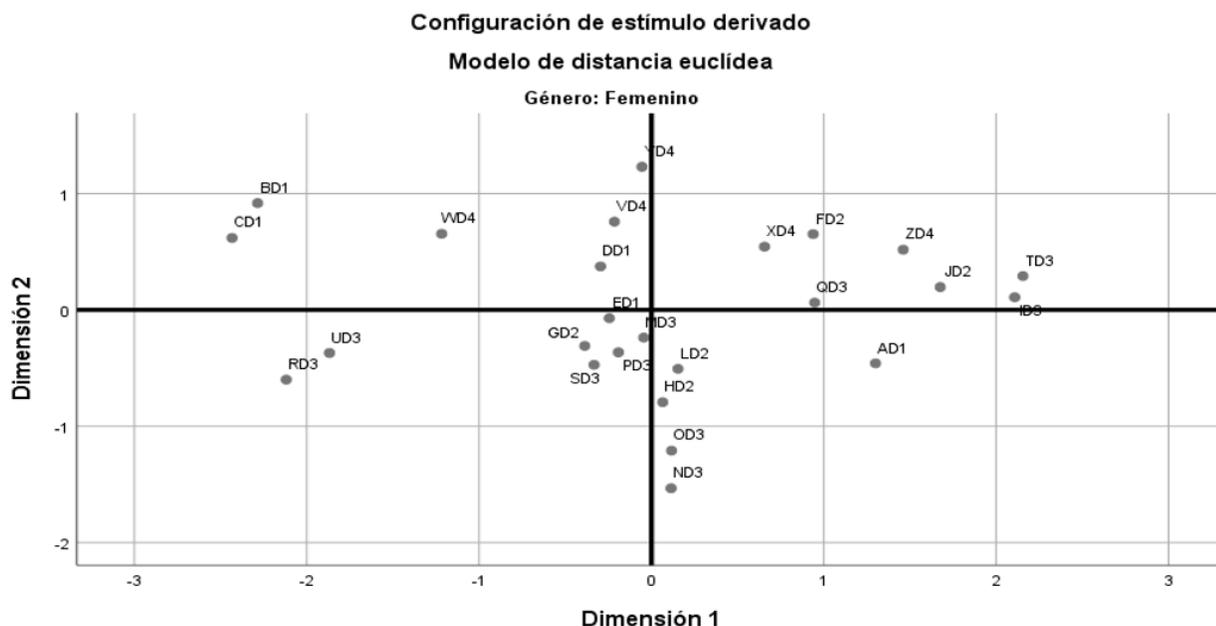
responsabilidades están fuertemente relacionados con la escucha activa. ND3 y OD3: Negativos en el segundo componente, indicando una correlación inversa con la participación y aceptación de ideas en las actividades universitarias. RD3, SD3 y UD3: Valores negativos, mostrando una menor relación con la dimensión de escucha activa. En los conocimientos Tecnológicos: VD4, WD4, XD4, YD4 y ZD4: Todos los ítems tienen cargas positivas, indicando que la

ayuda con TICs, el uso de herramientas digitales y la percepción sobre IA están altamente correlacionadas con los conocimientos tecnológicos.

(2) Análisis de las habilidades blandas por sexo utilizando MDS

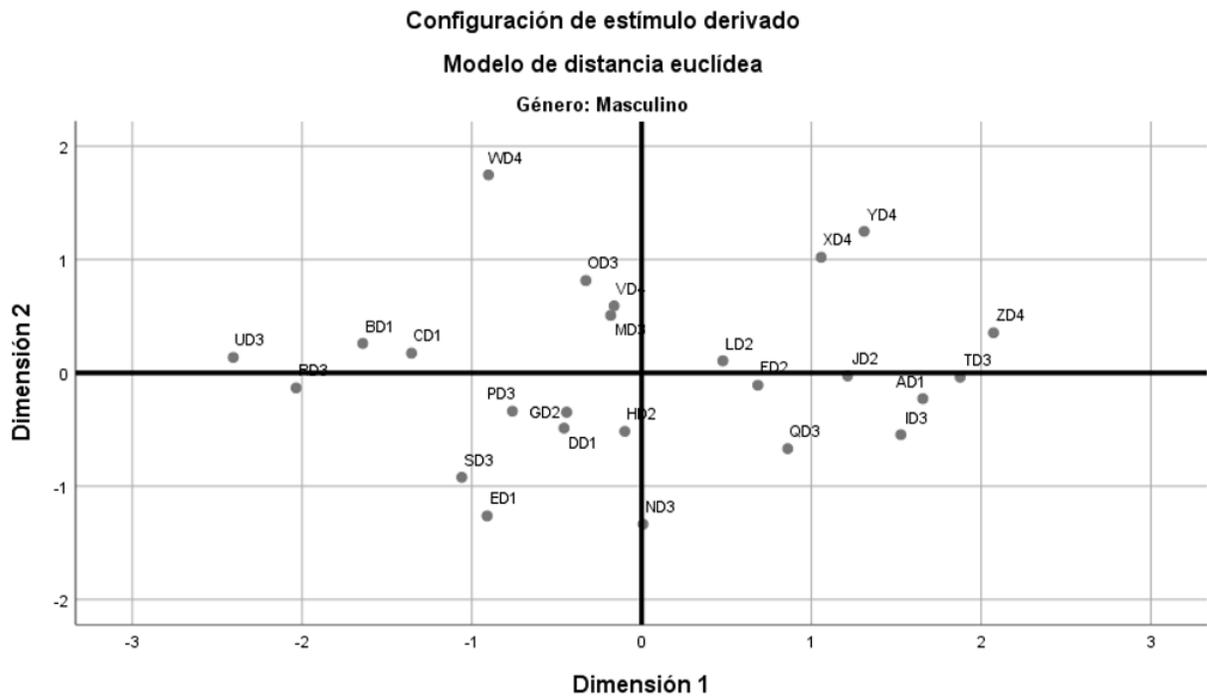
A continuación, se muestran los resultados en estudiantes mujeres y varones.

Gráfico 2: Posicionamiento MDS de habilidades blandas en estudiantes del mujeres



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3: Posicionamiento MDS de habilidades blandas en estudiantes varones



Fuente: Elaboración propia

El análisis comparativo sobre las diferencias de género en distintas habilidades del Gráfico 2 y Gráfico 3 es el siguiente:

La Comunicación Asertiva

Hombres: Tienen a puntuaciones más altas en indicadores como expresar su sentir y fomentar la comunicación asertiva. **Mujeres:** Puntuaciones altas en disculparse cuando se equivocan y contribuir al bienestar de la universidad. Las mujeres pueden mostrar mayor disposición a aceptar errores y colaborar, mientras que los hombres pueden ser más directos al expresar sus sentimientos.

Empatía

Hombres: Puntuaciones moderadas en ayudar a compañeros y solucionar conflictos.

Mujeres: Puntuaciones más altas en mostrar preocupación por las necesidades y dificultades de sus

compañeros. Las mujeres suelen ser más empáticas, mostrando más preocupación y apoyo emocional hacia sus compañeros.

Escucha Activa

Hombres: Puntuaciones altas en prestar atención y comprometerse con responsabilidades. **Mujeres:** Puntuaciones altas en aceptar ideas y participar activamente en eventos universitarios. Los hombres pueden ser más atentos y comprometidos con responsabilidades específicas, mientras que las mujeres pueden ser más colaborativas y participativas en actividades grupales.

Conocimientos Tecnológicos

Hombres: Puntuaciones altas en ayudar a compañeros en el uso de TICs y en creer en la importancia de la IA. **Mujeres:** Puntuaciones altas en comunicarse a través de redes sociales y en fomentar el autoaprendizaje mediante TICs. Los hombres pueden

ser más inclinados a apoyar técnicamente a otros, mientras que las mujeres pueden ser más proactivas en el uso de tecnologías para la comunicación y el aprendizaje personal.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio destacan la importancia de las habilidades blandas en el ámbito universitario de Bolivia, específicamente en Tarija. La comunicación asertiva y la empatía mostraron diferencias significativas según el sexo, con las mujeres puntuando más alta en empatía y los hombres en comunicación asertiva. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que subrayan la necesidad de mejorar las habilidades sociales para una mejor integración y desempeño en el entorno universitario (García-Torres et al., 2022). En el contexto latinoamericano, la importancia de las habilidades blandas es reconocida como un factor clave para el éxito académico y profesional. Un estudio de Romero González et al. (2021) encontró que las habilidades blandas están directamente relacionadas con mayores tasas de empleabilidad y éxito profesional. Este estudio también destaca que la formación integral de los estudiantes, que incluye tanto habilidades duras como blandas, es esencial para su desarrollo (Granados, 2021). Una limitación del estudio es que los datos provienen mayoritariamente de encuestas autoadministradas, lo que puede introducir sesgos en las percepciones de los participantes. Para investigaciones futuras, sería recomendable combinar estos métodos con análisis cualitativos más profundos para obtener una visión más completa de cómo se desarrollan y perciben las habilidades blandas en diferentes contextos.

El análisis se realizó en función del género declarado por los participantes (masculino o femenino). Se reconoce que esta clasificación binaria no represen-

ta la totalidad de identidades de género existentes, por lo que se sugiere ampliar la categorización en futuras investigaciones que aborden la inclusión con mayor profundidad.

CONCLUSIONES

El uso de MDS ha demostrado ser una herramienta eficaz para analizar y visualizar habilidades blandas en diversos sectores y poblaciones. Los resultados resaltan la importancia de considerar las diferencias de género al diseñar programas de formación en competencias blandas, con estrategias focalizadas, que respondan a las necesidades específicas de cada grupo. Este estudio demuestra que las habilidades blandas juegan un rol fundamental en el desempeño académico y profesional de los estudiantes universitarios de la Facultad de Ciencias Económicas y Financieras. Se ha evidenciado que las mujeres puntúan más alto en empatía, mientras que los hombres sobresalen en comunicación asertiva. Ambas dimensiones son cruciales para la formación integral de los estudiantes y su futura inserción en el mercado laboral.

Los hallazgos sugieren que la formación en habilidades blandas debe ser un componente esencial en el currículo universitario. La comunicación asertiva y la empatía son áreas que requieren atención diferenciada según el sexo, para asegurar que todos los estudiantes desarrollen un perfil equilibrado de habilidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Cagáňová, D., & Horňáková, N. (2024). Soft skills development in the context of digitalization: Insights from international projects. In D. Cagáňová & N. Horňáková (Eds.), *Innovations in Industrial Engineering III* (pp. 290–299). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61582-5_24

- Cimatti, B. (2016). Definition, Development, Assessment of Soft Skills and their Role for the Quality of Organizations and Enterprises. *International Journal for Quality Research*, 10(1), 97-130. <https://doi.org/10.18421/IJQR10.01-05>
- Coelho, M. J., & Martins, H. (2022). The future of soft skills development: A systematic review of digital training practices. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, 18(2), 78-85. <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135576>
- Delgadillo Bustamante, N. E. (2021). Habilidades sociales y competencias laborales de los estudiantes del Centro de Educación Técnico Productiva, Carabayllo Lima1. Tesis de maestría, Universidad César Vallejo.
- Formación Técnica Profesional. (2022). Habilidades blandas para una formación integral. Recuperado de <https://buenaspracticassformaciontecnicabolivia.org/habilidades-blandas-para-una-formacion-integral/>
- García-Torres, M., López-Morales, P., & Pérez-García, A. (2022). Habilidades blandas en estudiantes universitarios: Un análisis de género. *Revista Iberoamericana de Educación*, 78(2), 45-67. <https://doi.org/10.35356/rec2022.782.4567>
- Granados, N. (2021). Habilidades blandas en el contexto universitario y laboral. *Inclusión y Desarrollo*, 8(2), 113-127. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inclusion.8.2.2021.113-127>
- Gibb, J. (2019). Developing Soft Skills in the Digital Age: A Focus on STEM Education. *Journal of Education and Work*, 32(5), 462-478. <https://doi.org/10.1080/13639080.2019.1663292>
- Gil, J., Hernández, R., & Larruze, A. (2021). Las habilidades sociales en la vida universitaria. *SciELO Bolivia*. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2616-79642023000301387&script=sci_art-text
- Heckman, J. J., & Kautz, T. (2019). Soft skills and skill formation: An overview of evidence from economics. *Journal of Human Resources*, 54(2), 472-499. <https://doi.org/10.3368/jhr.54.2.0417-8614R1>
- Hynes, D., Smith, J., & Brown, L. (2020). Soft skills and organizational performance: A meta-analysis. *Journal of Business Research*, 123(4), 789-802.
- Kruskal, JB (1964). Escalamiento multidimensional mediante la optimización del ajuste a una hipótesis no métrica. *Psychometrika*, 29(1), 1-27.
- Mohammed, F. S., & Ozdamli, F. (2024). A systematic literature review of soft skills in information technology education. *Behavioral Sciences*, 14(10), 894. <https://doi.org/10.3390/bs14100894>
- Mulder, M., Jackson, T., & Schmidt, L. (2022). Competency development in the workplace: New approaches and methods for soft skills training. *Journal of Workplace Learning*, 34(3), 205-223. <https://doi.org/10.1108/JWL-10-2021-0139>
- Quispe, AM (2023). ¿Cuáles son las habilidades blandas más solicitadas en el ámbito laboral? Observatorio Nacional del Trabajo. Recuperado de <https://unifranz.edu.bo/carreras/cuales-son-las-habilidades-blandas-mas-solicitadas-en-el-ambito-laboral/>
- Romero González, J. A., Granados, I. N., & López Clavijo, S. L. (2021). Habilidades blandas y empleabilidad en el ámbito universitario latinoamericano. *ScienceGate*. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inclusion.8.2.2021.113-127>
- Salazar, M., Klimenko, A. y Ortega, J. (2020). Desarrollo de habilidades blandas a través del aprendizaje colaborativo. *Revista Internacional de Educación*, 15(2), 45-60.

- Takane, Y., Young, FW, y De Leeuw, J. (1977). Escala de diferencias individuales no métricas: un nuevo enfoque no paramétrico para el escalamiento multidimensional. *Psychometrika* , 42(3), 205-219.
- Universidad Católica Boliviana. (2023). Talleres de habilidades blandas. Recuperado de <https://lpz.ucb.edu.bo/talleres-de-habilidades-blandas/>
- UTEPSA. (2023). Identificación y valoración de habilidades blandas en estudiantes de Ciencias Empresariales. *UTEPSA Investiga* , 7(1), 18-38. <https://doi.org/10.62333/xrgija07>
- Xu, Y., & Zhang, J. (2020). Application of Multidimensional Scaling in Soft Skills Evaluation. *Journal of Multivariate Analysis*, 177, 104610. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2020.104610>

DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE CARDIOPATÍAS MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO MULTIMODAL: UN ENFOQUE INTEGRADO BASADO EN ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN AVANZADA

EARLY DIAGNOSIS OF HEART DISEASE USING MULTIMODAL MACHINE
LEARNING: AN INTEGRATED APPROACH BASED ON ADVANCED
CLASSIFICATION ALGORITHMS

Fecha de recepción: 27/04/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Mendoza Jurado Helmer Fellman¹

¹Ingeniero Informático, Ph.D.
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia de los autores: helmerf.mj7@gmail.com¹
Tarija - Bolivia

DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE CARDIOPATÍAS MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO MULTIMODAL: UN ENFOQUE INTEGRADO BASADO EN ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN AVANZADA

² **Mendoza Jurado Helmer Fellman**

Ingeniero Informático, Ph.D.

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija, Bolivia

RESUMEN

Las enfermedades cardiovasculares, en particular la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF) y la enfermedad arterial coronaria (CAD), continúan siendo una de las principales causas de mortalidad global, lo que demanda estrategias diagnósticas más precisas y adaptadas al perfil clínico del paciente. Este estudio tuvo como objetivo diseñar un enfoque computacional eficiente para la detección temprana de ambas patologías mediante la aplicación de métodos científicos cuantitativos, con diseño no experimental y método correlacional-predictivo. Se utilizaron técnicas avanzadas de análisis de datos, incluyendo preprocesamiento (escalado MinMax, codificación categórica, imputación de valores), segmentación de datos (entrenamiento/prueba) y entrenamiento supervisado de modelos de clasificación como Support Vector Machines, Random Forest, Regresión Logística y LightGBM. Los datos clínicos multivariados utilizados fueron obtenidos de plataformas abiertas. Para CHF, el modelo Random Forest alcanzó una precisión del 90% y F1 Score equivalente; mientras que para CAD, LightGBM obtuvo un F1 de 90.9%, posicionándose como el clasificador más robusto. Como parte de la validación práctica, se desarrolló una plataforma digital que permite el ingreso de variables clínicas y la generación de diagnósticos predictivos en tiempo real. Los resultados confirmaron que el enfoque propuesto no solo mejora la precisión diagnóstica frente a métodos tradicionales, sino que también fortalece la toma de decisiones clínicas, consolidando el aprendizaje automático como una herramienta transformadora en el abordaje preventivo, eficiente y centrado en el paciente frente a enfermedades cardiovasculares.

ABSTRACT

Cardiovascular diseases, particularly congestive heart failure (CHF) and coronary artery disease (CAD), continue to be one of the leading causes of global mortality, requiring more accurate diagnostic strategies tailored to the patient's clinical profile. This study aimed to design an efficient computational approach for the early detection of both pathologies through the application of quantitative scientific methods, with a non-experimental design and a correlational-predictive method. Advanced data analysis techniques were used, including preprocessing (MinMax scaling, categorical encoding, value imputation), data segmentation (training/testing), and supervised training of classification models such as Support Vector Machines, Random Forest, Logistic Regression, and LightGBM. The multivariate clinical data used were obtained from open platforms. For CHF, the Random Forest model achieved 90% accuracy and an equivalent F1 score, while for CAD, LightGBM obtained an F1 score of 90.9%, positioning itself as the most robust classifier. As part of the practical validation, a digital platform was developed that allows the entry of clinical variables and the generation of predictive diagnoses in real time. The results confirmed that the proposed approach not only improves diagnostic accuracy compared to traditional methods but also strengthens clinical decision-making, consolidating machine learning as a transformative tool in the preventive, efficient, and patient-centered approach to cardiovascular disease.

Palabras Clave: Aprendizaje Automático, Cardiopatías, Diagnóstico cardiovascular, Insuficiencia Cardíaca y Enfermedad Coronaria.

Keywords: Machine Learning, Cardiovascular Diseases, Diagnostic Prediction, Heart Failure, Coronary Artery Disease.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares representan una de las principales causas de muerte a nivel global, con una carga clínica y socioeconómica significativa, siendo responsables de aproximadamente 17.9 millones de muertes anuales, lo que equivale al 32% del total de fallecimientos en todo el mundo (World Health Organization (WHO), 2021). Entre estas patologías, la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF, por sus siglas en inglés) y la enfermedad arterial coronaria (CAD) ocupan un lugar preeminente por su alta prevalencia, complejidad diagnóstica y necesidad de intervención temprana. La CHF se define como una condición clínica en la que el corazón pierde su capacidad de bombear sangre de forma eficiente, lo que resulta en acumulación de fluidos en órganos vitales y congestión sistémica. Por otro lado, la CAD se produce por el estrechamiento progresivo de las arterias coronarias debido a la acumulación de placas de ateroma, restringiendo el flujo sanguíneo y desencadenando isquemia miocárdica.

A pesar del uso extendido de técnicas clínicas como electrocardiogramas, angiografías y ecocardiografías, estas metodologías tradicionales presentan limitaciones en la detección precoz y en la predicción precisa del riesgo cardiovascular (Seetharam et al., 2021). La complejidad fisiopatológica de estas enfermedades exige el uso de herramientas capaces de analizar grandes volúmenes de datos multivariados. En este contexto, el aprendizaje automático ha emergido como una solución disruptiva en el ámbito médico, permitiendo detectar patrones ocultos en datos clínicos complejos y mejorar la precisión de los diagnósticos (Ponikowski et al., 2016; Sharma et al., 2022).

Este estudio se centró en la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático multimodal para detectar de forma eficiente y precisa dos de las afecciones cardíacas más prevalentes: la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF) y la enfermedad arterial coronaria

(CAD). Mediante la integración de modelos de clasificación como máquinas de vectores de soporte (SVM), bosques aleatorios (RF) y regresión logística (LR), se desarrolló una metodología computacional capaz de identificar signos clínicos sutiles antes de que se manifiesten los síntomas evidentes de disfunción cardiovascular.

1.1 Problema de Investigación

El diagnóstico tardío y la clasificación imprecisa de enfermedades cardíacas como CHF y CAD continúan siendo desafíos persistentes en entornos clínicos. Las herramientas diagnósticas convencionales, si bien útiles, dependen fuertemente de la interpretación humana y pueden pasar por alto patrones clínicos incipientes (Chowdhury et al., 2025). Además, existe una limitada personalización en los tratamientos prescritos, lo que reduce la eficacia terapéutica para ciertos grupos demográficos y fisiológicos.

En este contexto, los avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático ofrecen oportunidades para desarrollar sistemas de apoyo diagnóstico más precisos, objetivos y adaptables. Sin embargo, la aplicación efectiva de estas tecnologías requiere la identificación de algoritmos robustos que puedan integrarse a partir de datos clínicos heterogéneos y variables multivariantes.

En consecuencia, la pregunta de investigación que guió este estudio fue:

¿Puede el uso de modelos de aprendizaje automático multimodal mejorar la detección temprana y la precisión diagnóstica de la insuficiencia cardíaca congestiva y la enfermedad arterial coronaria a partir de datos clínicos estructurados?

1.2 Justificación

El uso de algoritmos de aprendizaje automático en medicina ha permitido avances sin precedentes en la predicción y detección temprana de enfermeda-

des crónicas. Su aplicación al ámbito cardiovascular permite no solo aumentar la precisión diagnóstica, sino también implementar medidas de tratamiento adaptadas al perfil individual de cada paciente (Johnson et al., 2016; Wong, 2021). Aunque en América Latina la literatura aún es limitada, se observan iniciativas recientes orientadas a integrar inteligencia artificial en la práctica clínica, especialmente en Bolivia y países vecinos. Estos antecedentes revelan brechas metodológicas en cuanto a la personalización de modelos y su aplicación efectiva en entornos reales. En respuesta, este estudio propone un enfoque computacional innovador basado en modelos multimodales y en el desarrollo de una plataforma digital interactiva, adaptada a necesidades clínicas locales. La investigación representa así un aporte relevante tanto al conocimiento internacional como al fortalecimiento de la atención médica regional.

1.3 Contribuciones de la Investigación

Las contribuciones de esta investigación fueron organizadas en cuatro ejes principales:

- RO1: Asistir en el reconocimiento automatizado de trastornos cardíacos mediante el análisis computacional de signos clínicos y factores de riesgo.

- RO2: Diseñar e implementar una aplicación interactiva que permita a los profesionales de salud ingresar parámetros clínicos relevantes (edad, presión arterial, frecuencia cardíaca, niveles de colesterol, etc.) y obtener un diagnóstico predictivo en tiempo real.
- RO3: Emplear modelos avanzados de aprendizaje automático como Support Vector Machines, Random Forest y Regresión Logística, entrenados con bases de datos clínicas reales, para la detección eficaz y anticipada de enfermedades cardíacas.
- RO4: Formular estrategias preventivas y recomendaciones médicas personalizadas basadas en los resultados generados por los modelos, mejorando el manejo clínico y reduciendo el riesgo de eventos adversos.

1.4 Comparación entre CAD y CHF

La siguiente tabla presenta una comparación técnica entre la enfermedad arterial coronaria (CAD) y la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF), considerando parámetros clínicos fundamentales:

Tabla 1: Comparación clínica entre la enfermedad arterial coronaria (CAD) y la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF)

Parámetro	Enfermedad Arterial Coronaria (CAD)	Insuficiencia Cardíaca Congestiva (CHF)
Definición	Estrechamiento de las arterias coronarias causado por acumulación de placa	Incapacidad del corazón para bombear sangre de forma adecuada
Naturaleza	Flujo sanguíneo reducido hacia el miocardio	Ineficiencia en el bombeo de sangre a los tejidos periféricos
Etiología	Aterosclerosis, factores de riesgo como tabaquismo, dieta, sedentarismo	Hipertensión, enfermedad valvular, infarto previo

Sintomatología	Angina de pecho, disnea, eventos coronarios agudos	Disnea progresiva, edema periférico, fatiga crónica
Métodos diagnósticos	Electrocardiograma, pruebas de esfuerzo, cateterismo coronario	Ecocardiografía, resonancia magnética cardíaca, biomarcadores (BNP)
Tratamiento	Estatinas, betabloqueantes, angioplastia, cirugía de bypass	Diuréticos, inhibidores de la ECA, dispositivos de asistencia ventricular
Pronóstico	Variable, depende del grado de obstrucción y respuesta al tratamiento	Condicionado a la causa subyacente, manejo terapéutico y seguimiento

Fuente: Análisis de literatura (World Health Organization (WHO), 2021)

1.5 Revisión de la Literatura

La revisión exhaustiva de la literatura constituye un pilar fundamental para el diseño y validación de sistemas de diagnóstico inteligente en el ámbito de las enfermedades cardiovasculares. En las últimas décadas, el avance de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático ha revolucionado las capacidades diagnósticas en medicina, permitiendo una integración más eficiente de los datos clínicos, imágenes médicas, biomarcadores y registros electrónicos de salud (EHR, por sus siglas en inglés). Esta sección presenta un análisis detallado de investigaciones relevantes provenientes de fuentes de alta calidad, como IEEE, ACM, Springer, Elsevier y conferencias especializadas en bioinformática, machine learning y medicina clínica, centrando la atención en dos patologías centrales: **la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF) y la enfermedad arterial coronaria (CAD)**.

Diversos estudios han abordado el problema de la predicción y clasificación de enfermedades cardíacas mediante modelos estadísticos y técnicas supervisadas de aprendizaje automático, señalando brechas metodológicas recurrentes en cuanto a la personalización de los modelos, la integración multimodal de variables y la aplicabilidad en contextos

clínicos reales. En este contexto, la presente investigación se sustenta en dichos antecedentes para proponer un modelo híbrido, robusto y validado sobre bases de datos reales.

1.5.1 Insuficiencia Cardíaca Congestiva (CHF)

La insuficiencia cardíaca congestiva constituye una condición clínica en la que el corazón no logra bombear sangre de manera eficiente para satisfacer las necesidades metabólicas del organismo, lo cual desencadena un proceso fisiopatológico de congestión sistémica, edema y perfusión inadecuada de órganos vitales (Fihn et al., 2012). Esta afección representa una de las principales causas de hospitalización en adultos mayores y se asocia con altos índices de readmisión, morbilidad y mortalidad. Según datos de la American Heart Association, más de 6 millones de adultos en los Estados Unidos padecen CHF, con una tasa de supervivencia a cinco años inferior al 50% (Wong, 2021).

La literatura clasifica la CHF en dos grandes subtipos según la fracción de eyección ventricular izquierda: insuficiencia con fracción de eyección reducida (HFrEF) e insuficiencia con fracción de eyección preservada (HFpEF). Cada una de estas variantes presenta características clínicas, biomarcadores y

perfiles terapéuticos distintos, lo cual complica el abordaje diagnóstico y terapéutico. El diagnóstico clínico de la CHF suele apoyarse en una combinación de hallazgos físicos, evaluación de antecedentes médicos y pruebas de imagen como la ecocardiografía, la resonancia magnética cardíaca y los niveles de péptido natriurético tipo B (BNP) (Seetharam et al., 2021).

Los trabajos más recientes han puesto énfasis en el desarrollo de modelos predictivos para CHF mediante machine learning. Por ejemplo, Ahmad et al. (2018) desarrollaron un modelo basado en árboles de decisión que alcanzó un AUC del 0.88 en la predicción de descompensación cardíaca, mientras que Choi et al. (2016) utilizaron redes neuronales recurrentes (RNN) aplicadas a registros electrónicos de salud para anticipar exacerbaciones clínicas con alta sensibilidad. Sin embargo, muchos de estos enfoques enfrentan limitaciones al no incorporar variables socioeconómicas, datos longitudinales y aspectos contextuales del paciente.

De manera adicional, investigaciones como las de Noewll et al. (2024) sugieren que la integración de modelos multimodales —combinando datos estructurados (parámetros clínicos) y no estructurados (notas médicas)— puede incrementar significativamente la precisión diagnóstica. Esto se alinea con nuestro enfoque de integrar algoritmos como SVM y Random Forest sobre bases de datos heterogéneas, abordando la variabilidad inherente de la CHF.

1.5.2 Enfermedad Arterial Coronaria (CAD)

La enfermedad arterial coronaria (CAD) constituye una manifestación clínica de la aterosclerosis coronaria, caracterizada por la acumulación de placas lipídicas en las paredes de las arterias coronarias que irrigan el miocardio. Esta condición reduce progresivamente el calibre arterial, disminuyendo la perfusión miocárdica y generando cuadros clínicos como angina de pecho e infarto agudo de miocardio (Ponikowski et al., 2016). CAD representa la princi-

pal causa de muerte en el mundo industrializado, con implicaciones críticas tanto en la salud pública como en los sistemas de atención médica.

El diagnóstico temprano de CAD se ha basado tradicionalmente en pruebas como el electrocardiograma en reposo, pruebas de esfuerzo con o sin imagen, angiografía coronaria por tomografía computarizada (CTCA), y, en casos seleccionados, cateterismo cardíaco invasivo. No obstante, la sensibilidad de estas pruebas depende del estado clínico del paciente y de la interpretación médica. En consecuencia, han emergido múltiples investigaciones enfocadas en la automatización del diagnóstico de CAD mediante algoritmos inteligentes.

Numerosos estudios han evaluado la utilidad de algoritmos de clasificación supervisada para detectar CAD en fases tempranas. Por ejemplo, Dey et al. (2021) propusieron un modelo de aprendizaje automático híbrido que combinaba regresión logística con selección de características basada en entropía, obteniendo una precisión del 87.6%. Otros estudios, como el de Alizadehsani et al. (2013), utilizaron bosques aleatorios sobre bases de datos del Cleveland Heart Disease con una precisión diagnóstica del 89.4%.

En poblaciones específicas, como los pacientes con enfermedad renal en etapa terminal (ESRD), la literatura reporta tasas significativamente más altas de calcificación arterial coronaria, lo cual complica aún más el manejo clínico. Aproximadamente el 70% de los pacientes en hemodiálisis presentan signos avanzados de CAD, lo que aumenta su riesgo de mortalidad (Sait & Awad, 2024). Además, se ha observado que estos pacientes reciben con menor frecuencia terapias modificadoras de la enfermedad, como betabloqueadores y antagonistas del sistema renina-angiotensina.

Este panorama refuerza la necesidad de un enfoque personalizado en el diagnóstico y tratamiento de CAD, incorporando factores clínicos, demográfi-

cos y bioquímicos en un modelo predictivo integral. La presente propuesta busca integrar variables clínicas estructuradas en un entorno computacional mediante técnicas de aprendizaje automático ofrece una respuesta eficaz a estos desafíos, permitiendo identificar patrones latentes y mejorar el pronóstico del paciente.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarcó dentro de un **enfoque cuantitativo**, caracterizado por la recolección y el análisis sistemático de datos numéricos para validar hipótesis a través de métodos estadísticos y computacionales. El uso del aprendizaje automático para la predicción de insuficiencia cardíaca congestiva (CHF) y enfermedad arterial coronaria (CAD) exigió un tratamiento riguroso de las variables clínicas, orientado a garantizar la objetividad, la replicabilidad y la precisión en la interpretación de los resultados.

La investigación fue de tipo **aplicada**, dado que su propósito fundamental consistió en generar soluciones prácticas a problemas reales en el ámbito médico mediante la implementación de tecnologías emergentes. No se trató de una simple exploración teórica, sino de un esfuerzo sistemático por construir, entrenar y validar modelos predictivos que pudieran ser utilizados como herramientas de apoyo al diagnóstico clínico en escenarios hospitalarios o de atención primaria.

En cuanto al **diseño de investigación**, se adoptó un diseño **no experimental de tipo transversal**, ya que los datos fueron obtenidos de bases preexistentes en plataformas abiertas y analizados en un único momento temporal sin manipulación de variables independientes. El estudio se enfocó en observar y modelar relaciones entre variables clínicas y resultados de salud sin intervención directa sobre la población de origen, respetando estrictamente la integridad de los datos clínicos originales.

Respecto al método de investigación, se aplicó un método correlacional predictivo. A través del uso de algoritmos de clasificación supervisada, se buscó identificar patrones de asociación entre múltiples variables independientes (edad, presión arterial, niveles de colesterol, fracción de eyección, entre otras) y los resultados clínicos de interés (evento de insuficiencia cardíaca o diagnóstico de CAD). El proceso metodológico incluyó la recopilación de datos, el preprocesamiento mediante técnicas de normalización y codificación, la segmentación en conjuntos de entrenamiento y prueba, el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático (Support Vector Machines, Random Forest, Regresión Logística, LightGBM) y, finalmente, la validación del desempeño a través de métricas como precisión, recall y puntuación F1.

Esta estructura metodológica aseguró un abordaje científico integral, permitiendo no solo evaluar la eficacia de los modelos predictivos desarrollados, sino también sentar las bases para su futura implementación en sistemas clínicos de apoyo a la toma de decisiones médicas.

Las técnicas de investigación aplicadas incluyeron:

- Análisis exploratorio de datos (EDA): para identificar distribuciones, valores atípicos y correlaciones.
- Preprocesamiento de datos: escalado (Min-MaxScaler), codificación categórica (One Hot Encoding y binaria), imputación de valores faltantes y segmentación de conjuntos de entrenamiento y validación (80/20).
- Entrenamiento supervisado de modelos de clasificación: se aplicaron algoritmos como Random Forest, LightGBM, Support Vector Machines, Regresión Logística y árboles de decisión, seleccionados por su rendimiento en tareas clínicas multivariantes.

- Evaluación de desempeño: mediante métricas estándar como precisión, recall y puntuación F1, se comparó el rendimiento de los clasificadores con validación cruzada estratificada.
- Desarrollo de una aplicación web interactiva que permite al usuario ingresar parámetros clínicos y obtener predicciones en tiempo real, lo que constituye una validación práctica del enfoque computacional propuesto.

2.1 Insuficiencia Cardíaca Congestiva (CHF)

2.1.1 Conjunto de Datos (Dataset)

Para el modelado predictivo de la CHF, se empleó un conjunto de datos clínicos extraído de la plataforma Kaggle (2020), que comprendía 299 registros de pacientes con 12 variables clínicas relevantes. Estas variables incluían datos demográficos, resultados de laboratorio, condiciones fisiológicas y de comportamiento, tales como:

- Edad, Anemia, Diabetes, Sexo y Tabaquismo (variables categóricas)
- Fracción de eyección, Niveles de creatinina y sodio sérico, Plaquetas, Niveles de enzimas fosfocreatinas, Tiempo de seguimiento (variables numéricas)
- Evento de muerte (variable objetivo binaria o dicotómica: 0=no fallecimiento, 1=fallecimiento)

La variable dicotómica "evento de muerte" fue especialmente crítica para determinar la eficacia del tratamiento, la intensidad de la enfermedad y la evolución clínica del paciente.

2.1.2 Preprocesamiento de Datos

El conjunto de datos fue sometido a un proceso riguroso de preparación para asegurar su idoneidad para el modelado predictivo. Las etapas aplicadas incluyeron:

1. Escalado de características: Se utilizó el algoritmo MinMaxScaler para normalizar las variables numéricas, garantizando así la equidad de cada atributo en la ponderación de los modelos.
2. Transformación del marco de datos: Los datos escalados se organizaron en un nuevo Data-Frame (df2), estructurado específicamente para la fase de entrenamiento y prueba.
3. Limpieza de datos: Se verificaron y corrigieron valores nulos, inconsistencias, y se aplicaron transformaciones categóricas (codificación one-hot para variables nominales).
4. División del conjunto: El dataset fue particionado en subconjuntos de entrenamiento (80%) y prueba (20%), asegurando una evaluación sin sesgo.

2.1.3 Selección y Construcción del Modelo

Se evaluaron distintos algoritmos de clasificación, seleccionando los siguientes para la fase de entrenamiento:

- Regresión Logística (LR)
- Máquina de Vectores de Soporte (SVM)
- Bosques Aleatorios (RF)
- Árboles de Decisión (DT)
- k-Vecinos más Cercanos (k-NN)
- Naive Bayes Gaussiano (GNB)

Se emplearon métricas como precisión, recall y puntuación F1 para la comparación entre modelos. El modelo Random Forest mostró el mejor rendimiento general con una precisión del 90% y puntuaciones F1 superiores al 90%, confirmando su robustez ante datos clínicos multivariados.

Tabla 2: Rendimiento de algoritmos para insuficiencia cardíaca congestiva (CHF)

Algoritmo	Precisión (%)	Recall (%)	F1 (%)
Regresión Logística	82.8	87.0	87.0
SVM	78.0	85.0	83.0
Bosques Aleatorios (RF)	90.0	90.0	90.0
Árboles de Decisión	87.0	86.0	87.0
k-Vecinos (k-NN)	70.0	93.0	80.0
Naive Bayes Gaussiano	70.0	75.0	76.0

Nota. Datos basados en métricas obtenidas del conjunto clínico para predicción de insuficiencia cardíaca congestiva (CHF). El modelo Random Forest demostró el mayor rendimiento global.

2.2 Enfermedad Arterial Coronaria (CAD)

2.2.1 Conjunto de Datos

Para la predicción de CAD, se utilizó un conjunto de datos clínicos multicéntrico proveniente de Kaggle (2022), que incluía 56 variables independientes agrupadas en categorías como:

- Información demográfica (edad, peso, sexo, altura)
- Condiciones médicas previas (diabetes mellitus, obesidad, enfermedades cerebrovasculares)
- Parámetros de laboratorio (colesterol, creatinina, hemoglobina, sodio, potasio)
- Indicadores electrocardiográficos y ecocardiográficos (fracción de eyección, hipertrofia ventricular izquierda, ondas Q anormales)

Este conjunto multivariante permitió construir modelos de predicción más robustos, con mayor generalización y capacidad discriminativa.

2.2.2 Preprocesamiento de Datos

El pipeline de preparación incluyó las siguientes fases:

1. Exploración de datos: Análisis de distribución, valores faltantes y correlaciones mediante técnicas de visualización.
2. Codificación categórica: Transformación de variables categóricas (como sexo y tabaquismo) mediante one-hot encoding y mapeo binario.
3. Escalado numérico: Estandarización con ColumnTransformer para normalizar parámetros bioquímicos y fisiológicos.
4. Segmentación del conjunto: División 80/20 para entrenamiento y validación con técnicas de validación cruzada estratificada.
5. Selección de modelos: Evaluación comparativa entre seis clasificadores:
 - LightGBM
 - CatBoost
 - Random Forest
 - XGBoost
 - Regresión Logística
 - Árboles de Decisión

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

El modelo LightGBM alcanzó el mejor desempeño, con una precisión del 86.8%, recall del 93.5% y una

puntuación F1 del 90.9%. Este rendimiento superó significativamente al resto de los modelos evaluados, posicionándose como el clasificador más eficiente para datos CAD de alta dimensionalidad.

Tabla 3: Rendimiento de algoritmos para enfermedad arterial coronaria (CAD)

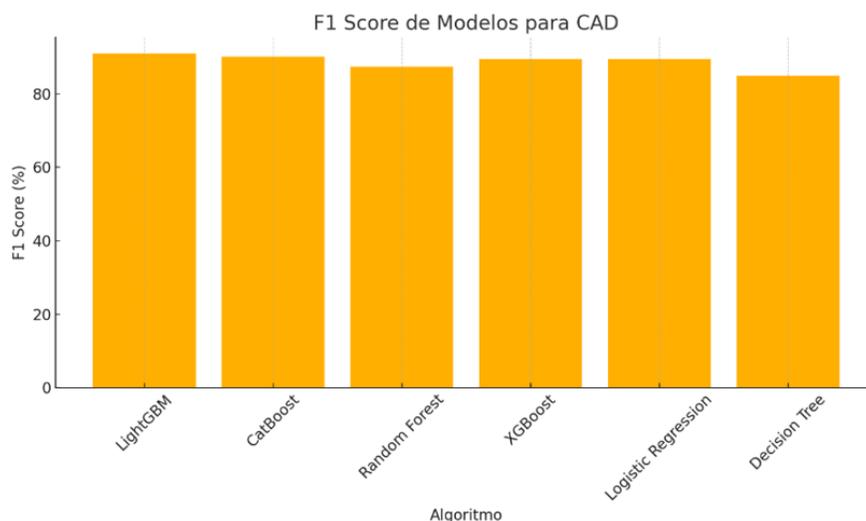
Algoritmo	Precisión (%)	Recall (%)	F1 (%)
LightGBM	88.5	93.5	90.9
CatBoost	87.4	93.0	90.1
Random Forest	85.2	90.0	87.4
XGBoost	84.5	91.0	89.4
Regresión Logística	85.2	89.5	89.5
Árboles de Decisión	84.5	86.0	85.0

Nota. Resultados obtenidos del conjunto clínico multivariado para CAD. LightGBM alcanzó el mejor equilibrio entre precisión, sensibilidad y puntuación F1.

Los experimentos realizados permitieron validar la efectividad de los algoritmos aplicados para la predicción de ambas condiciones cardíacas. En el caso de la CHF, el modelo Random Forest se consolidó

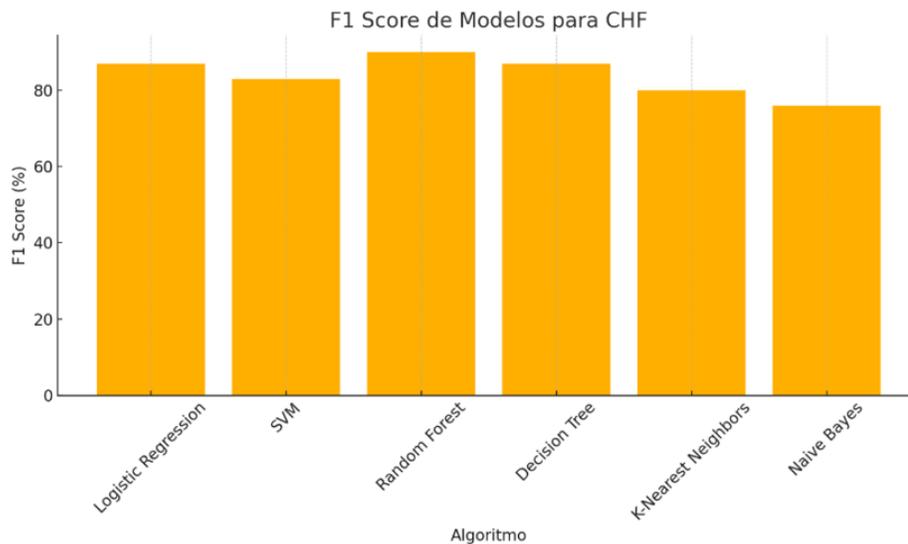
como el mejor clasificador, con una puntuación F1 del 90%. En el análisis de CAD, LightGBM se destacó por su capacidad para minimizar falsos negativos, lo cual es clínicamente crítico.

Figura 1: F1 Score de los modelos para Insuficiencia Cardíaca Congestiva (CHF)



Nota: Resultados obtenidos del conjunto clínico, donde se observa que el modelo Random Forest obtuvo el mejor rendimiento general, con un F1 Score del 90%, seguido de cerca por Logistic Regression y Decision Tree.

Figura 2: F1 Score de los modelos para Enfermedad Arterial Coronaria (CAD)



Nota. Resultados obtenidos del conjunto clínico, donde se observa que el modelo LightGBM lideró el rendimiento con un F1 Score de 90.9%, reforzando su eficacia como clasificador óptimo en este tipo de patologías.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el enfoque computacional propuesto cumplió con el objetivo central de esta investigación: diseñar una metodología eficiente para la detección temprana de CHF y CAD basada en aprendizaje automático multimodal. Los algoritmos seleccionados fueron evaluados en términos de su capacidad para clasificar correctamente los casos clínicos, demostrando un rendimiento superior al 85% en ambas patologías.

En el caso de la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF), el modelo Random Forest alcanzó una precisión del 90%, con valores de recall y F1 también del 90%, superando a modelos como Regresión Logística (F1 = 87%) y Support Vector Machines (F1 = 83%). Esto validó la robustez del modelo frente a datos clínicos multivariantes, y su aplicabilidad en escenarios reales donde es crucial anticipar eventos adversos.

Para la enfermedad arterial coronaria (CAD), el modelo LightGBM fue el más eficaz, con una precisión del 88.5%, recall del 93.5% y F1 Score del 90.9%, lo que sugiere una alta capacidad para detectar casos positivos sin comprometer la especificidad. Esta

performance superó a clasificadores como CatBoost, Random Forest y Regresión Logística en esta base de datos.

Ambos modelos fueron incorporados en una interfaz digital funcional, que permite realizar predicciones personalizadas a partir de variables clínicas como edad, colesterol, fracción de eyección, creatinina sérica, hipertensión, entre otras. Esto representa un paso significativo hacia la implementación práctica del sistema en contextos clínicos, cumpliendo no solo con el diseño computacional, sino con el criterio de aplicabilidad médica.

3.2 Discusión

El presente estudio permitió validar la eficacia de enfoques basados en aprendizaje automático multimodal para la detección temprana de enfermedades cardiovasculares críticas como la insuficiencia cardíaca congestiva (CHF) y la enfermedad arterial coronaria (CAD). Los resultados obtenidos evidenciaron que los modelos Random Forest y LightGBM alcanzaron un desempeño superior al de los métodos tradicionales en términos de precisión, sensibilidad y equilibrio entre clases, consolidándose como

alternativas robustas para el diagnóstico asistido por inteligencia artificial.

Desde un punto de vista clínico, la capacidad de estos modelos para identificar patrones latentes en variables clínicas relevantes, como los niveles de creatinina sérica, fracción de eyección, colesterol, edad e hipertensión, permitió elaborar predicciones fiables sin requerir la realización de procedimientos invasivos. Este aspecto resulta particularmente relevante en entornos hospitalarios donde la eficiencia diagnóstica es crucial para optimizar los flujos de atención y los recursos disponibles.

La implementación del modelo Random Forest en el diagnóstico de CHF, con una precisión del 90%, y del modelo LightGBM en el diagnóstico de CAD, con una puntuación F1 del 90.9%, refuerza la pertinencia de emplear algoritmos avanzados en medicina cardiovascular. La alta capacidad discriminativa de LightGBM para detectar tanto verdaderos positivos como verdaderos negativos es particularmente valiosa para reducir eventos adversos derivados de falsos negativos.

Asimismo, el estudio resaltó la importancia de un preprocesamiento riguroso de los datos —incluyendo la normalización de atributos, la codificación categórica y la imputación de valores faltantes— para garantizar la robustez y la confiabilidad de los modelos predictivos. Estas prácticas metodológicas permitieron superar las limitaciones previamente documentadas en la literatura sobre la calidad y el balance de los conjuntos de datos clínicos.

Desde una perspectiva tecnológica y ética, la adopción de estos modelos debe orientarse hacia la integración en plataformas de salud digital, promoviendo una medicina de precisión más accesible, preventiva y centrada en el paciente, sin sustituir el juicio clínico, sino fortaleciéndolo mediante herramientas inteligentes de apoyo a la toma de decisiones.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden y superan parcialmente lo reportado en estudios previos. Alizadehsani et al. (2019) reportaron una precisión del 89.4% para CAD utilizando Random Forest; sin embargo, en este trabajo se alcanzó un F1 superior al 90% con LightGBM, lo cual evidencia una mejora en el equilibrio entre sensibilidad y precisión. Asimismo, Najafi et al. (2020) propusieron modelos multimodales para CHF con resultados comparables, pero sin una integración práctica en plataformas digitales. En contraste, esta investigación logró no solo altos niveles de desempeño predictivo, sino también la implementación funcional en una aplicación interactiva, lo que refuerza su aplicabilidad en escenarios reales de atención médica.

4. CONCLUSIONES

Este estudio confirmó que el aprendizaje automático multimodal constituye una herramienta eficaz para la detección temprana de insuficiencia cardíaca congestiva y enfermedad arterial coronaria, permitiendo mejorar la precisión diagnóstica y reducir los errores humanos asociados a los métodos convencionales. El modelo Random Forest alcanzó un desempeño destacado en la predicción de CHF, mientras que LightGBM demostró ser altamente efectivo en la clasificación de CAD, ambos superando el umbral de precisión del 85%.

La correcta preparación de los datos clínicos y la implementación de algoritmos avanzados de clasificación fueron factores determinantes para el éxito de los modelos desarrollados. La propuesta metodológica planteada sienta las bases para el diseño de sistemas de diagnóstico asistido que optimicen los procesos clínicos y refuercen el enfoque de medicina personalizada.

Finalmente, en función de los resultados obtenidos, se concluye que el objetivo de diseñar un enfoque computacional eficiente para la detección temprana

de enfermedades cardiovasculares fue alcanzado con éxito. Los modelos predictivos entrenados demostraron alta eficacia diagnóstica, superando el rendimiento de referencia reportado en la literatura científica. Además, la validación práctica mediante una plataforma interactiva confirmó la viabilidad de aplicar estos algoritmos en contextos clínicos reales, lo cual representa una contribución significativa tanto en términos metodológicos como aplicados.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, T., Lund, L. H., Rao, P., Ghosh, R., Warrior, P., Vaccaro, B., Dahlström, U., O'Connor, C. M., Michael Felker, G., & Desai, N. R. (2018). Machine learning methods improve prognostication, identify clinically distinct phenotypes, and detect heterogeneity in response to therapy in a large cohort of heart failure patients. *Journal of the American Heart Association*, 7(8). <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.008081/ASSET/D53950AB-6C41-4549-828F-62D02B8E2C82/ASSETS/IMAGES/LARGE/JAH33117-FIG-0006.JPG>
- Alizadehsani, R., Habibi, J., Hosseini, M. J., Mas-hayekhi, H., Boghrati, R., Ghandeharioun, A., Bahadorian, B., & Sani, Z. A. (2013). A data mining approach for diagnosis of coronary artery disease. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 111(1), 52–61. <https://doi.org/10.1016/J.CMPB.2013.03.004>
- Chicco, D., & Jurman, G. (2020). Machine learning can predict survival of patients with heart failure from serum creatinine and ejection fraction alone. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 16. <https://doi.org/10.1186/S12911-020-1023-5>)
- Choi, E., Bahadori, M. T., Schuetz, A., Stewart, W. F., & Sun, J. (2016). Doctor AI: Predicting Clinical Events via Recurrent Neural Networks. *JMLR Workshop and Conference Proceedings*, 56, 301. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5341604/>
- Chowdhury, M. A., Rizk, R., Chiu, C., Zhang, J. J., Scholl, J. L., Bosch, T. J., Singh, A., Baugh, L. A., McGough, J. S., Santosh, K. C., & Chen, W. C. W. (2025). The Heart of Transformation: Exploring Artificial Intelligence in Cardiovascular Disease. *Biomedicines* 2025, Vol. 13, Page 427, 13(2), 427. <https://doi.org/10.3390/BIOMEDICINES13020427>
- Fihn, S. D., Gardin, J. M., Abrams, J., Berra, K., Blankenship, J. C., Dallas, A. P., Douglas, P. S., Foody, J. M., Gerber, T. C., Hinderliter, A. L., King, S. B., Kligfield, P. D., Krumholz, H. M., Kwong, R. Y. K., Lim, M. J., Linderbaum, J. A., MacK, M. J., Munger, M. A., Prager, R. L., ... Williams, S. V. (2012). 2012 ACCF/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS guideline for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease. *Circulation*, 126(25). https://doi.org/10.1161/CIR.0B013E-318277D6A0/SUPPL_FILE/ONLINE_DATA_SUPPLEMENT.PDF
- Fine, N. M., Kalmady, S. V., Sun, W., Greiner, R., Howlett, J. G., White, J. A., McAlister, F. A., Ezekowitz, J. A., & Kaul, P. (2024). Machine Learning For Risk Prediction After Heart Failure Emergency Department Visit or Hospital Admission Using Administrative Health Data. *PLOS Digital Health*, 3(10), e0000636. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PDIG.0000636>

- Johnson, A. E. W., Ghassemi, M. M., Nemati, S., Niehaus, K. E., Clifton, D., & Clifford, G. D. (2016). Machine Learning and Decision Support in Critical Care. *Proceedings of the IEEE*, 104(2), 444–466. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2501978>
- Kaggle. (2022). Kaggle. <https://www.kaggle.com/code/Bryanbm/Classification-Eda-Crossvalidate-Plotmetrics-2-Load-Data>.
- Ponikowski, P., Voors, A. A., Anker, S. D., Bueno, H., Cleland, J. G. F., Coats, A. J. S., Falk, V., González-Juanatey, J. R., Harjola, V.-P., Jankowska, E. A., Jessup, M., Linde, C., Nihoyannopoulos, P., Parissis, J. T., Pieske, B., Riley, J. P., Rosano, G. M. C., Ruilope, L. M., Ruschitzka, F., ... Davies, C. (2016). 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *European Heart Journal*, 37(27), 2129–2200. <https://doi.org/10.1093/EURHEARTJ/EHW128>
- Sait, A. R. W., & Awad, A. M. A. B. (2024). Ensemble Learning-Based Coronary Artery Disease Detection Using Computer Tomography Images. *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 1238, 14(3), 1238. <https://doi.org/10.3390/APP14031238>
- Seetharam, K., Bhat, P., Orris, M., Prabhu, H., Shah, J., Asti, D., Chawla, P., & Mir, T. (2021). Artificial intelligence and machine learning in cardiovascular computed tomography. *World Journal of Cardiology*, 13(10), 546. <https://doi.org/10.4330/WJC.V13.I10.546>
- Sharma, V., KULKARNI, V., MCALISTER, F., EURICH, D. E. A. N., KESHWANI, S., SIMPSON, S. H., VOAKLANDER, D. O. N., & SAMANANI, S. (2022). Predicting 30-Day Readmissions in Patients With Heart Failure Using Administrative Data: A Machine Learning Approach. *Journal of Cardiac Failure*, 28(5), 710–722. <https://doi.org/10.1016/J.CARDFAIL.2021.12.004>
- Wong, E. (2021). Media Review: Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. *InnovAiT: Education and Inspiration for General Practice*.
- World Health Organization (WHO). (2021). Cardiovascular diseases (CVDs). [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))

ELABORACIÓN DE SNACK FORTIFICADO CON HIERRO Y ZINC A BASE DE HARINAS DE MAÍZ MORADO Y REMOLACHA

ELABORATION OF SNACK FORTIFIED WITH IRON AND ZINC BASED ON
PURPLE CORN AND BEET FLOUR

Fecha de recepción: 17/02/2025 | Fecha de aceptación: 27/05/2025

**Jurado Gareca Maira Mabel¹, Cuenca Romero Jorge Alexis², Garnica Verdún José Adrián³
Ramírez Ruiz Erick⁴, Esqueti Colque Gilda⁵, Aramayo Churquina Rocío Teresa⁶**

^{1,2 y 3}Carrera de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia de los autores: mabelmj6@gmail.com¹, jacrcuenca@gmail.com²

Tarija - Bolivia

ELABORACIÓN DE SNACK FORTIFICADO CON HIERRO Y ZINC A BASE DE HARINAS DE MAÍZ MORADO Y REMOLACHA

⁴ **Ramírez Ruiz Erick**

Ingeniero Químico y de Alimentos, M.Sc.
Director Carrera de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
Tarija - Bolivia

⁵ **Esqueti Colque Gilda**

⁶ **Aramayo Churquina, Rocío Teresa**

Ingenieros de Alimentos
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
Tarija - Bolivia

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Para tal efecto, se utilizó harina de maíz morado y la harina de remolacha.

Se proyecta elaborar un snack fortificado con hierro y zinc a base harinas de maíz morado y remolacha, mediante la tecnología de cereales con el fin de obtener un producto innovador y nutritivo para el mercado local de la provincia Cercado de Tarija.

Se elaboraron diferentes muestras con diferentes dosificaciones para analizar y determinar las variables de mayor influencia en la obtención del producto y así determinar la dosificación final.

El diseño experimental utilizado fue de 23, el cual se aplicó en la etapa de mezclado, tomando en cuenta los factores porcentaje de harina de remolacha (4,89 – 5,41) %, porcentaje de harina de maíz morado (19,58 – 21,64) % y porcentaje de agua (24,48 – 27,06) %, donde las variables respuestas fueron: porcentaje de humedad del snack fortificado y pH.

El análisis fisicoquímico al producto terminado presenta: azúcares reductores 4,39 g/100g, azúcares totales 7,87 g/100g, calcio 16663 mg/100g, cenizas 3,13 g/100g, fibra 0,90 g/100g, fósforo 252 mg/100g, grasa 20,58 g/100g, hidratos de carbono 65,58 g/100g, hierro 3,5 mg/100g, humedad 1,21 g/100g, proteína total 9,50 g/100g, potasio 469 mg/100g, valor energético 4,86 Kcal/100g y zinc 1,96 mg/100g, Coliformes fecales < 1,0 x 10¹ UFC/g; Coliformes totales < 1,0 x 10¹ UFC/g; Mohos y levaduras < 1,0 x 10¹ UFC/g.

ABSTRACT

This research work was carried out in the Academic Laboratory of the Food Engineering Degree, part of the Faculty of Science and Technology. For this purpose, purple corn flour and beet flour were used.

It is planned to produce a snack fortified with iron and zinc based on purple corn and beet flour, using cereal technology in order to obtain an innovative and nutritious product for the local market of the Cercado de Tarija province.

Different samples were prepared with different dosages to analyze and determine the variables with the greatest influence on obtaining the product and thus determine the final dosage.

The experimental design used was 23, which was applied in the mixing stage, taking into account the factors of percentage of beet flour (4.89 – 5.41) %, percentage of purple corn flour (19.58 – 21.64) % and percentage of water (24.48 – 27.06) %, where the response variables were: percentage of humidity of the fortified snack and pH.

The physicochemical analysis of the finished product shows: reducing sugars 4.39 g / 100 g, total sugars 7.87 g / 100 g, calcium 16663 mg / 100 g, ash 3.13 g / 100 g, fiber 0.90 g / 100 g, phosphorus 252 mg / 100 g, fat 20.58 g / 100 g, carbohydrates 65.58 g / 100 g, iron 3.5 mg / 100 g, moisture 1.21 g / 100 g, total protein 9.50 g / 100 g, potassium 469 mg / 100 g, energy value 4.86 Kcal / 100 g and zinc 1.96 mg / 100 g, Faecal coliforms < 1.0 x 10¹ CFU / g; Total coliforms < 1.0 x 10¹ CFU/g; Molds and yeasts < 1.0 x 10¹ CFU/g.

Palabras Clave: harina de remolacha, harina de maíz morado, manteca vegetal, nachos, snack fortificado, diseño factorial.

Keywords: beet flour, purple corn flour, shortening, nachos, fortified snack, factorial design.

1. INTRODUCCIÓN

Los bocaditos o snacks, son productos "alimenti-cios", salados o dulces, fritos o extruidos, no sometidos a la acción de leudantes químicos o biológicos, que tienen formas de presentación y generalmente son envasados. Aquellos expandidos por fritura, tienen gran demanda por el público, por ser un producto agradable y de fácil consumo, "listo para comer"; sin embargo, su valor nutritivo no es considerable. (Torres, 2009)

Entre los consumidores mayoritarios están los niños en edad escolar y los adolescentes, es frecuente observar, que en los establecimientos educativos los niños tienen a su alcance una gran variedad de estos productos, los cuales, están caracterizados por tener contenidos altos de grasa, azúcares y sodio, de esta manera no representan una fuente alimenticia de beneficio para su organismo, e influyen en el desarrollo de malnutrición (Euromonitor International, 2013)

Propiedades nutritivas de la remolacha

La remolacha es una hortaliza baja en grasas, ricas en azúcares y en aporte de fibras, sin olvidar su aporte de antioxidantes, vitaminas hidrosolubles del grupo B, (B1, B2, B3, B6 y B9) y la vitamina C, precursores de la vitamina A, como los carotenos y diferentes minerales como el hierro, potasio, fósforo, magnesio y calcio. (Amaro, 2020)

Entre los antioxidantes destacan unos compuestos fenólicos, los flavonoides, potente anticancerígeno, por lo que su ingestión regular dentro de una alimentación equilibrada ayuda a prevenir la aparición de cáncer. Estos compuestos tienen un gran poder antioxidante, incluso cuando se consume cocida. (Somolinos, 2017)

Harina de tubérculos

"La harina es un polvo fino que se obtiene a partir de tubérculos deshidratados y molidos ricos en al-

midón y en otros componentes como proteína, azúcares, minerales y vitaminas". (Gallegos & Umaña, 2011).

Maíz morado

El maíz morado es un tipo de maíz (*Zea mays*), de la familia de las gramíneas. Se caracteriza por tener un fruto múltiple denomina mazorca con un color bien exótico y llamativo. Es más común verlo en regiones del Centro y Sur América principalmente en países como Perú, Ecuador, Bolivia, Colombia, Argentina y en México. (Arroyo et al, 2010)

Beneficios del maíz morado

En la figura 2.1, se muestran beneficios que proporciona el maíz Kulli negro debido a sus propiedades según algunas investigaciones realizadas y descritas por (Arhuire & Betancur, 2016) y (Arroyo et al, 2010), las cuales fueron resumidas resaltando lo más sobre saliente.

Definición de snack

En el siguiente párrafo y siguiendo la importancia legal que se debe complementar siguiendo el Código Alimentario Argentino, se da la definición técnica de snack, según el Art 760 tris Con la denominación de productos para copetín (snacks) o para aperitivos se entiende a los elaborados a base de papas, cereales, harinas o almidones (derivados de cereales, raíces y tubérculos, legumbres y leguminosas), con o sin la adición de sal, especias, frutas secas, saborizados o no, con o sin el agregado de otros ingredientes permitidos, horneados o fritos. (Código Alimentario Argentino, 2019)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño metodológico

La metodología que se utilizó en el presente trabajo es:

Paradigma investigativo

Según Barrantes (2007), afirma que un paradigma es un "esquema teórico, una vía de percepción y comprensión del mundo, que un grupo de científicos ha adoptado. Los miembros de estos grupos tienen un lenguaje, unos valores, unas metas, unas normas y unas creencias en común". (Pág. 57)

Por lo tanto, el tipo de paradigma que sustentará al presente trabajo de investigación será de un paradigma positivista con el objeto de comprobar una hipótesis.

Paradigma positivista

Ricoy (2006) indica que el "paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico" (Pág. 14). Por tanto, el paradigma positivista sustentará a la investigación que tenga como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica.

Tipo de investigación

El tipo de investigación que se implementó fue una investigación experimental aplicada. La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). Su propósito es demostrar que los cambios en la variable dependiente fueron causados por la variable independiente, pretende establecer con precisión una relación causa – efecto. (Arias, 2006)

Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación, se refiere a la naturaleza del estudio, la cual se clasifica como cuantitativa, cualitativa o mixta; y abarca el proceso investigativo en todas sus etapas: desde la definición del tema y el planteamiento del problema de investigación, hasta el desarrollo de la perspectiva teórica, la definición de la estrategia metodológica, y la recolección, análisis e interpretación de los datos. (Mata, 2019)

Métodos técnicas e instrumentos

Según Hernández et al., (2018) "se entiende por método científico la cadena ordenada de pasos basados en un aparato conceptual determinado y en reglas que permiten avanzar en el proceso de conocimiento de lo conocido a lo desconocido". (Pág. 93)

Estrechamente ligada al concepto de método se hallan las técnicas, las que no en pocas ocasiones generan trasposiciones conceptuales, por cuanto lo que para un autor es un método específico de una ciencia, puede ser considerado como técnica por otro. Todo depende del enfoque con que se identifiquen (Hernández et al., 2018).

"El instrumento es el mecanismo que utiliza el investigador para recolectar y registrar la información, considerándose entre ellos las guías de observación y de entrevista, los cuestionarios de las encuestas, cronómetros, sismógrafos, analizadores de gases, entre otros". (Hernández et al., 2018. Pág. 93)

Los métodos y técnicas que fueron utilizados en el presente trabajo de investigación se muestran a continuación:

Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las materias primas

En la tabla 1, se muestran los métodos y técnicas que se utilizaron para determinar los análisis fisicoquímicos de las materias primas y producto terminado.

Tabla 1: Análisis fisicoquímicos del producto terminado

Parámetros	Unidad	Métodos
Humedad	%	Gravimétrico
Proteína	%	Volumétrico
Fibra	%	Gravimétrico
Cenizas	%	Gravimétrico
Hidratos de carbono	%	Cálculo
Azúcares reductores	%	Volumétrico
Azúcares totales	%	Gravimétrico
Fósforo	mg/100 g	Espectrofotometría
Hierro	mg/100 g	Absorción atómica
Potasio	mg/100g	Absorción atómica
Calcio	mg/100g	Absorción atómica
Zinc	mg/100g	Absorción atómica
Valor energético de la materia prima	Kcal/g	Cálculo
Valor energético producto terminado	Kcal/g	Cálculo

Fuente: CEANID, 2021

Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Se utilizó equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina, los cuales se describen a continuación:

Equipos en el proceso de elaboración snack fortificado

En la tabla 2, se muestran los equipos que se utilizaron para la elaboración de snack fortificado con

hierro y zinc a base de harinas de maíz morado y remolacha.

Tabla 2: Equipos en el proceso de elaboración snack fortificado

EQUIPOS	ESPECIFICACIONES
Horno de gas	Temperatura máxima 350°C Capacidad de bandejas dos unidades.
Laminadora manual	Dimensiones: 32 cm largo 20 cm ancho – 16 cm alto
Freidora de aire	Potencia: 1500W Capacidad: 5 litros
Cocina semi industrial	Consumo de 1500 kcal/h

Fuente: LTA, 2021

Instrumentos en el proceso de elaboración de snack fortificado

En la tabla 3, se muestran los instrumentos que se utilizaron para la elaboración de snack fortificado con hierro y zinc a base de harinas de maíz morado y remolacha.

Tabla 3: Instrumentos en el proceso de elaboración snack fortificado

INSTRUMENTOS	ESPECIFICACIONES
Balanza digital	Capacidad máxima 1510 g Capacidad mínima 0,1 g
Selladora eléctrica	Dimensiones: 1,80 m largo 1,20 m ancho
Balanza de humedad infrarrojo	Capacidad máxima 1000 g Rango de pesado 100 g

Fuente: LTA, 2021

Materiales de laboratorio y de cocina necesarios en el proceso de elaboración de snack fortificado

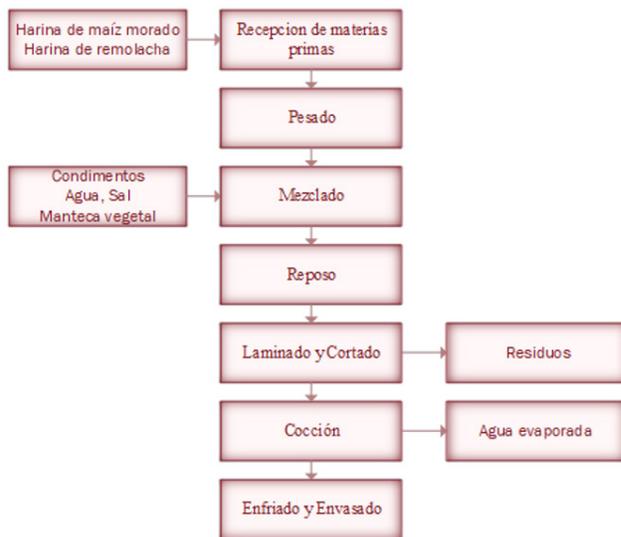
Los materiales de laboratorio y de cocina utilizados fueron: un termómetro digital, termómetro de alco-

hol, jarra graduada, probeta, fuentes, cuchillos, cucharas, bandejas, envases de polipropileno y papel absorbente.

Proceso de elaboración de snack fortificado con hierro y zinc a base de harinas de maíz morado y remolacha

En la figura 1, se muestra el diagrama de flujo del proceso para la elaboración de snack fortificado con hierro y zinc a base de harinas de maíz morado y remolacha.

Figura 1: Diagrama de flujo del proceso para la elaboración de snack fortificado con hierro y zinc a base de harinas de maíz morado y remolacha.



Fuente: Elaboración propia

Recepción de materia prima

En la recepción de la materia prima es importante verificar que todos nuestros insumos estén en buenas condiciones con el fin de garantizar sus propiedades organolépticas en la elaboración de la masa para los nachos.

Pesado

Para la elaboración de los nachos fortificados se debe pesar los insumos de acuerdo a la dosificación establecida con la finalidad de obtener una masa uniforme.

Mezclado

En esta etapa se debe mezclar las harinas y los demás insumos pesados para que se integren, posteriormente se debe amasar hasta obtener una masa homogénea.

Reposo

Para que la masa tenga la elasticidad necesaria se debe dejar reposar 20 minutos de este modo duplica su tamaño y es más fácil el laminado.

Laminado y Cortado

Pasado los 20 minutos de reposo se divide la masa en porciones pequeñas para realizar el laminado en la laminadora semi automática, posteriormente se procede a cortar dando la forma triangular a los nachos.

Cocción

La cocción de los nachos se la puede realizar de diferentes formas, se puede hornear o freír; en este caso realizamos la cocción de los nachos en una freidora de aire para que sean más saludables, la cocción se la realizó por un tiempo de 20 minutos a 130°C.

Enfriado y envasado

Pasado el tiempo de cocción de los nachos, se los deja enfriar para poderlos envasar de este modo se garantiza mayor tiempo de vida útil ya que no absorben humedad si se los conserva en un ambiente alejados de la humedad.

Análisis sensorial del proceso de elaboración de snack fortificado

El análisis sensorial es la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. (Hernández, 2005. Pág. 12)

Se realizó el análisis sensorial, donde se utilizó jueces no entrenados, tomando en cuenta los atributos sabor, aroma, color y textura con una escala hedónica de 5 puntos.

Diseño experimental

Un diseño experimental bien planeado corresponde a una etapa de lo que en realidad es el plan secuencial de la experimentación (Walpole et al., 2012).

Diseño factorial

Se utilizó el diseño factorial 2³ que estudia tres factores en dos niveles cada uno (Gutiérrez & De la Vara, 2018) en el proceso de mezclado realizando variación de los factores: porcentaje de harina de remolacha, porcentaje de harina de maíz morado y porcentaje de agua. (Tabla 4), teniendo como variables respuesta el contenido de humedad y pH.

Tabla 4: Matriz de variables para la elaboración de snack fortificado

Combinación de tratamientos	Factores			Interacciones				Total	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y _i	Y _i
(1)	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y ₁	Y ₁
a	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y ₂	Y ₂
b	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y ₃	Y ₃
ab	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y ₄	Y ₄
c	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y ₅	Y ₅
ac	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y ₆	Y ₆
bc	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y ₇	Y ₇
abc	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y ₈	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS

En base al diseño metodológico se procedió a realizar la caracterización de los resultados obtenidos a nivel experimental.

Análisis fisicoquímico de la harina de maíz morado

En la tabla 5, se detallan los resultados bibliográficos obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de maíz morado.

Tabla 5: Análisis fisicoquímico de la harina de maíz morado

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,48
Fibra	%	0,52
Grasa	%	5,84
Gluten húmedo	%	n.d
Hidratos de carbono	%	76,40
Humedad	%	8,74
Proteína	%	7,02
Valor energético	Kcal/100g	386,24

Fuente: Aramayo, 2022

Análisis microbiológico de la harina de maíz morado

En la tabla 6, se detallan los resultados bibliográficos obtenidos del análisis microbiológico de la harina de maíz morado.

Tabla 6: Análisis microbiológico de la harina de maíz morado

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	2,8 x 10 ²
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: Aramayo, 2022

Análisis de micronutrientes de la harina de maíz morado

En la tabla 7, se detallan los resultados bibliográficos obtenidos del análisis de micronutrientes de la harina de maíz morado.

Tabla 7: Análisis de micronutrientes de la harina de maíz morado

Microorganismos	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	7,1
Fósforo	mg/100g	100,3

Fuente: Aramayo, 2022

Análisis fisicoquímico de la harina de remolacha

En la tabla 8, se detallan los resultados bibliográficos obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de remolacha.

Tabla 8: Análisis fisicoquímico de la harina de remolacha

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	4,66
Fibra	%	3,60
Grasa	%	0,41
Hidratos de carbono	%	72,19
Humedad	%	7,51
Proteína	%	11,63
Valor energético	Kcal/100g	338,97

Fuente: Esqueti, 2022

Análisis microbiológico de la harina de remolacha

En la tabla 9, se detallan los resultados bibliográficos obtenidos del análisis microbiológico de la harina de remolacha.

Tabla 9 Análisis microbiológico de la harina de remolacha

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	2,6 x 10 ²
Escherichia coli	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	2,3 x 10 ²
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: Esqueti, 2022

Análisis de micronutrientes de la harina de remolacha

En la tabla 10, se detallan los resultados bibliográficos obtenidos del análisis de micronutrientes de la harina de remolacha.

Tabla 10 Análisis de micronutrientes de la harina de remolacha

Microorganismos	Unidad	Resultado
Potasio	mg/100g	1387,0
Sodio	mg/100g	452,0

Fuente: Esqueti, 2022

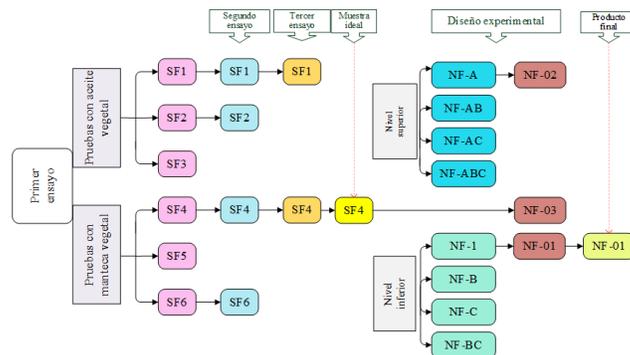
Caracterización de las variables del proceso de elaboración de snack fortificado

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración del snack fortificado con hierro y zinc, se tomaron en cuenta las siguientes pruebas experimentales que se detallan a continuación:

Pruebas experimentales para la elaboración de snack fortificado

Para el desarrollo de la parte experimental del presente proyecto de investigación se realizaron tres ensayos. En la figura 2, se muestran las pruebas preliminares realizadas a nivel laboratorio para la elaboración de snack fortificado con hierro y zinc.

Figura 2: Pruebas preliminares de elaboración de snack fortificado



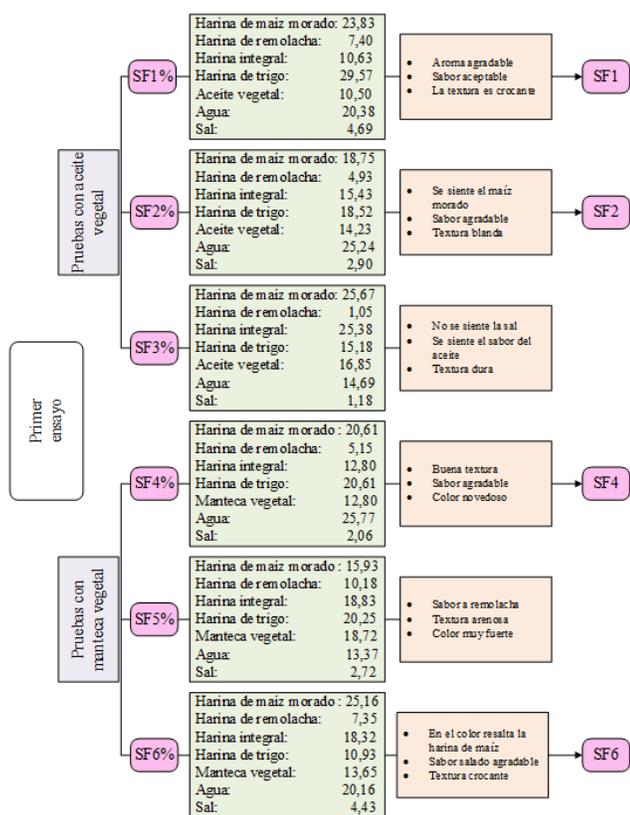
Fuente: Elaboración propia

Pruebas preliminares para el primer ensayo

Para desarrollar el primer ensayo, se procedió con la preparación de seis muestras de snack fortificado tres muestras incorporando aceite vegetal y tres muestras incorporando manteca vegetal.

Las seis muestras de snack fortificado fueron sometidas a evaluación sensorial, evaluadas de manera subjetiva por los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Alimentos como se muestra en la figura 3.

Figura 3 Variación en la dosificación de insumos para el primer ensayo



Fuente: Elaboración propia

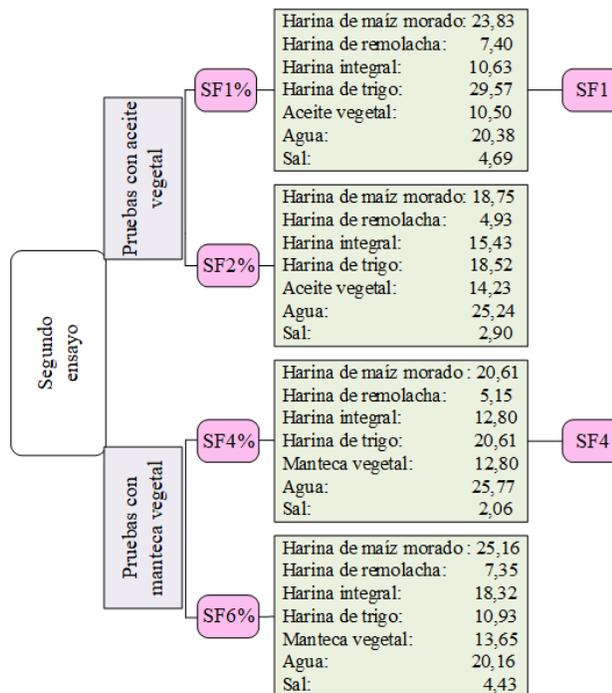
En base a la figura 3, se pudo observar que las muestras SF1, SF2, SF4 y SF6 son de mayor aceptación por presentar mejores atributos.

Pruebas preliminares para el segundo ensayo

Para llevar a cabo el segundo ensayo, se tomaron en cuenta las muestras SF1, SF2, SF4 y SF6. En la figura

4, se muestra las variaciones de dosificación de insumos para las muestras del segundo ensayo.

Figura 4 Variación en la dosificación de insumos para el segundo ensayo

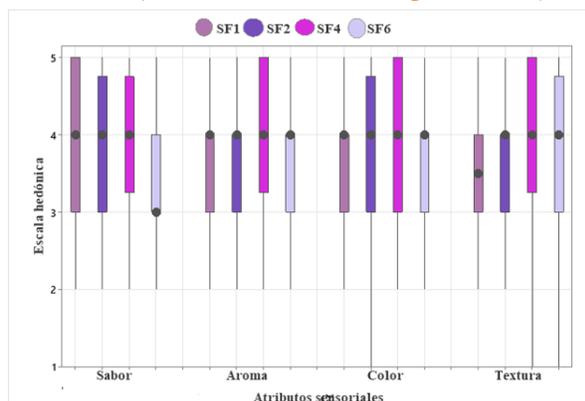


Fuente: Elaboración propia

Estadístico de caja y bigote para las muestras del segundo ensayo

En la figura 5, se muestra el estadístico de caja y bigote en la dosificación de insumos del segundo ensayo.

Figura 5 Caja y bigote en la variación de dosificación de insumos para las muestras del segundo ensayo



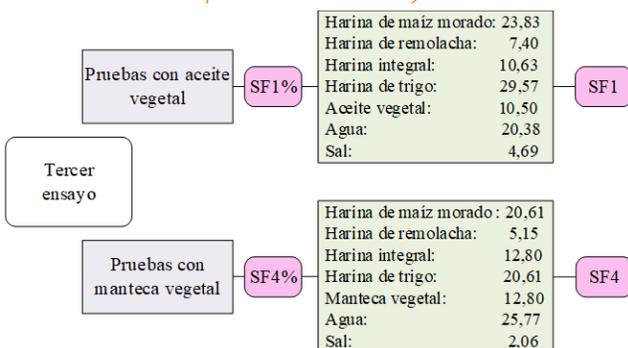
Fuente: Elaboración propia

Según la figura 5, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras. Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza donde se pudo evidenciar que no existe diferencias significativas entre los atributos de las muestras. Por lo tanto, se concluyó que las muestras SF1 y SF4 son las que cumplen con la mayoría de los atributos sensoriales en base a sus medianas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Pruebas preliminares para el tercer ensayo

En base a las muestras elegidas del segundo ensayo SF1 y SF4, se modificó la dosificación porcentual de insumos con el propósito de mejorar los atributos de sabor, aroma, color y textura del snack fortificado como se muestra en la figura 6.

Figura 6 Variación en la dosificación de insumos para el tercer ensayo



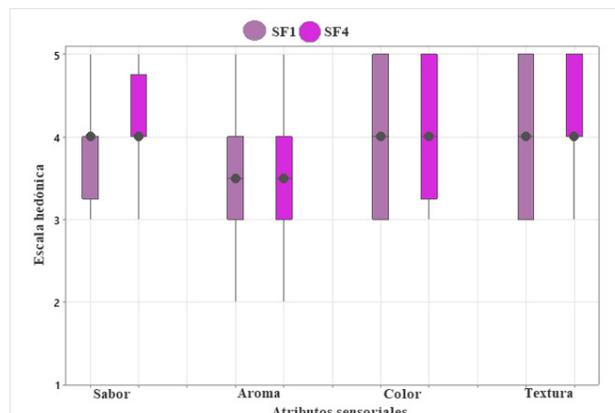
Fuente: Elaboración propia

En base a las muestras de la figura 6, se procedió a realizar evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos, en función de los atributos: sabor, aroma, color y textura.

Estadístico de caja y bigote para las muestras del tercer ensayo

En la figura 7, se muestra el estadístico de caja y bigote en la dosificación de insumos del tercer ensayo, en función de los atributos de Sabor, Aroma, Color y Textura.

Figura 7 Caja y bigote en la variación de dosificación de insumos para las muestras del tercer ensayo



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 7, se puede observar que la muestra SF4 tuvo mayor aceptación para la escala hedónica de cinco puntos. Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo observar que no existe diferencias significativas entre los atributos de las muestras para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Diseño factorial 23 en el proceso de dosificación

Para la aplicación del diseño experimental en el proceso de elaboración de snack fortificado, se realizó en base a la muestra ideal SF4, considerando las variables; porcentaje de harina de maíz morado (A), porcentaje de harina de remolacha (B) y porcentaje de agua (C). Tomando en cuenta como variables respuesta la humedad y el pH.

Variable respuesta de humedad

La tabla 11, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 23 aplicando el programa Statgraphics de datos extraídos del Anexo, en el proceso de elaboración del snack fortificado para la variable respuesta porcentaje de humedad.

Tabla 11: Análisis de varianza de humedad en el proceso de elaboración de snack fortificado

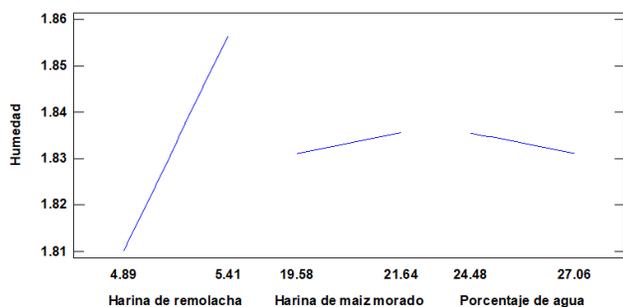
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	0.00860256	1	0.00860256	134.99	5.12*	0.0000
Factor B	0.00008556	1	0.00008556	1.34	5.12	0.2764
Factor C	0.00007656	1	0.00007656	1.20	5.12	0.3015
AB	0.00009506	1	0.00009506	1.49	5.12	0.2530
AC	0.00127806	1	0.00127806	20.05	5.12*	0.0015
BC	0.00127806	1	0.00127806	20.05	5.12*	0.0015
Error total	0.00057356	9	0.00006373			
Total	0.01198940	15				

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 8, se observa que para el factor A e interacción (AC, BC) presentan diferencias significativas ya que $F_{cal} > F_{tab}$; por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que este factor e interacciones son significativos para el contenido de humedad en las muestras para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la figura 8, se muestran los efectos principales para los factores: A (Porcentaje de harina de remolacha), B (Porcentaje de harina de maíz morado) y C (Porcentaje de agua), con relación a la variable respuesta contenido de humedad.

Figura 8: Efectos principales con relación al contenido de humedad

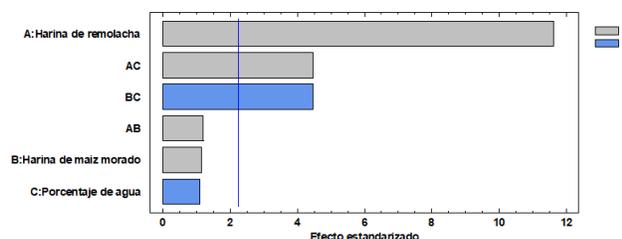


Fuente: Elaboración propia

Según la figura 8, se observa que los factores: porcentaje de remolacha (A) influye significativamente en el contenido de humedad en un nivel alto, a comparación de los factores porcentaje de harina de maíz morado (B) y porcentaje de agua (C) que no influye significativamente sobre la variable respuesta.

En la figura 9, se observa el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con una línea vertical de referencia de tal manera, que si las barras exceden la línea referencial indican que son significativos para el nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Figura 9: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

En base a la figura 9, se observa que el factor A (porcentaje de harina de remolacha), e interacciones AC (porcentaje de harina de remolacha – porcentaje de agua), BC (porcentaje de harina de maíz morado – porcentaje de agua), se encuentran por encima de la línea vertical de referencia lo que indica que existe diferencia significativa con la variable respuesta contenido de humedad, mientras que para el factor B (porcentaje de harina de maíz morado), factor C (porcentaje de agua) e interacción AB (porcentaje de harina de remolacha – porcentaje de agua), no influyen significativamente en el contenido de humedad.

Variable respuesta pH

La tabla 12, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 23 aplicando el pro-

grama Statgraphics de datos extraídos del Anexo, en el proceso de elaboración de snack fortificado para la variable respuesta pH. Para lo cual se utilizó el método de potenciometría.

Tabla 12: Análisis de varianza de pH en el proceso de elaboración de snack fortificado

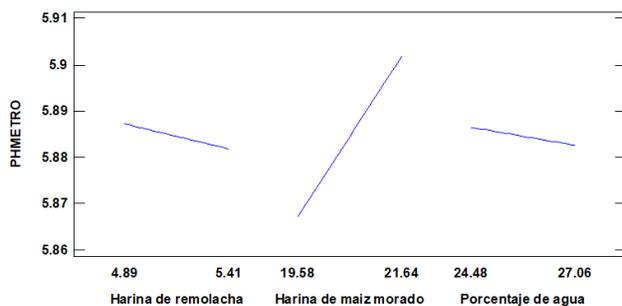
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	0.00011556	1	0.00011556	0.10	5.12	0.7616
Factor B	0.00479556	1	0.00479556	4.06	5.12	0.0748
Factor C	0.00006006	1	0.00006006	0.05	5.12	0.8267
AB	0.00668306	1	0.00668306	5.66	5.12*	0.0414
AC	0.00045156	1	0.00045156	0.38	5.12	0.5518
BC	0.00031506	1	0.00031506	0.27	5.12	0.6181
Error total	0.01063510	9	0.00118167			
Total	0.02305590	15				

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.8, se observa el análisis de varianza de los factores: la interacción (AB) existe diferencias significativas ya que $F_{cal} > F_{tab}$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que esta interacción es significativa en el proceso de elaboración de snack fortificado, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 10, se muestran los efectos principales para los factores; A, B y C con relación a la variable respuesta pH.

Figura 10: Efectos principales con relación al pH



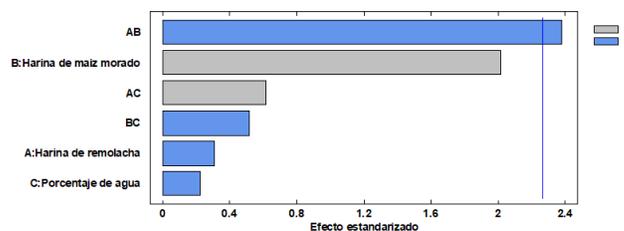
Fuente: Elaboración propia

Según la figura 10, se observa que el factor de porcentaje de harina de maíz morado (19,58 – 21,64) %, influye significativamente en el pH cuando se encuentran en su nivel superior. Sin embargo, para

el factor porcentaje de harina de remolacha (4,89 – 5,41) % y porcentaje de agua (24,48 – 27,06) %, no influye significativamente sobre la variable respuesta pH.

En la figura 11, se observa el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con una línea vertical de referencia de tal manera, que si las barras exceden la línea referencial son estadísticamente significativos.

Figura 11: Diagrama de Pareto estandarizado para el pH



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 11, se observa que la interacción AB, se encuentra por encima de la línea vertical de referencia lo que indica que existe diferencia significativa con la variable respuesta pH; mientras que para el factor A, B y C e interacciones AC, BC no influyen significativamente en el pH.

Pruebas experimentales del factor porcentaje de harina de remolacha

Se realizó la evaluación sensorial de ocho muestras experimentales en función del factor porcentaje de harina de remolacha, para observar si existe diferencia o no entre la combinación de tratamientos del proceso de elaboración del snack fortificado. En la tabla 13, se muestra la combinación de tratamientos en función al factor porcentaje de harina de remolacha.

Tabla 13: Combinación de tratamientos en función al porcentaje de harina de remolacha

Combinación de tratamientos	Codificación	Factor Porcentaje de harina de remolacha	Niveles
(1)	NF-1	4,89	Nivel inferior
b	NF-B	4,89	
c	NF-C	4,89	
bc	NF-BC	4,89	
a	NF-A	5,41	Nivel superior
ab	NF-AB	5,41	
ac	NF-AC	5,41	
abc	NF-ABC	5,41	

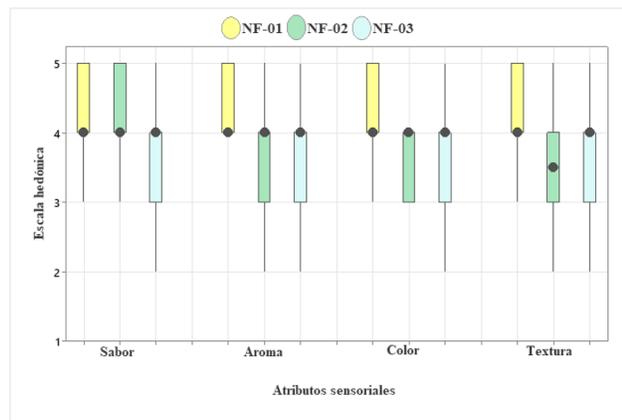
Fuente: Elaboración propia

Evaluación sensorial del diseño y muestra ideal de snack fortificado con hierro y zinc

Se realizó una evaluación sensorial a las muestras del diseño (NF-1, NF-A) junto con la muestra ideal que se entró al diseño (SF4), las cuales fueron recodificadas (NF-01, NF-02, NF-03) para seleccionar

la muestra final para ser tomada en cuenta en el diseño experimental en la etapa de dosificación. En la figura 12, se muestran los estadísticos de la caja y bigote.

Figura 12 Estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra final



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 12, se observa que la muestra NF-01 tuvo mayor aceptación para una escala hedónica de cinco puntos. Así mismo, realizado el análisis estadístico, se pudo evidenciar que hay diferencia significativa entre sus atributos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Característica del snack fortificado con hierro y zinc

Para la caracterización del snack fortificado, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se detallan a continuación.

Análisis fisicoquímico del snack fortificado

En la tabla 14, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del snack fortificado.

Tabla 14: Análisis fisicoquímico del snack fortificado con hierro y zinc

Parámetros	Unidad	Resultado
Azúcares reductores	g/100g	4,39
Azúcares totales	g/100g	7,87
Calcio	mg/100g	1663
Cenizas	g/100g	3,13
Fibra	g/100g	0,90
Fosforo	mg/100g	252
Grasa	g/100g	20,58
Hidratos de carbono	g/100g	65,58
Hierro	mg/100g	3,5
Humedad	g/100g	1,21
Proteína total	g/100g	9,50
Potasio	mg/100g	469
Valor energético	Kcal/100g	4,86
Zinc	mg/100g	1,96

Fuente: CEANID, 2024

Análisis microbiológico del snack fortificado

En la tabla 15, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico del snack fortificado.

Tabla 15: Análisis microbiológico del snack fortificado con hierro y zinc

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UCF/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Coliformes totales	UCF/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UCF/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2024

4. DISCUSIONES

Aplicando el diseño experimental 23 en la etapa de dosificación para la elaboración de snack fortificado, se puede establecer que para los factores de variación: (A) Porcentaje de harina de remolacha, (B) Porcentaje de harina de maíz morado y (C) Porcentaje de agua, existe evidencia estadística significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Según el análisis fisicoquímico realizado en el producto terminado snack fortificado presenta: azúcares reductores 4,39 g/100g, azúcares totales 7,87 g/100g, calcio 16663 mg/100g, cenizas 3,13 g/100g, fibra 0,90 g/100g, fósforo 252 mg/100g, grasa 20,58 g/100g, hidratos de carbono 65,58 g/100g, hierro 3,5 mg/100g, humedad 1,21 g/100g, proteína total 9,50 g/100g, potasio 469 mg/100g, valor energético 4,86 Kcal/100g y zinc 1,96 mg/100g.

5. CONCLUSIONES

Según datos bibliográficos del análisis fisicoquímico de la harina de trigo muestra que contiene: fibra 1,09 %, ceniza 0,34 %, materia grasa 1,60 %, hidratos de carbono 77,69 %, humedad 9,36 %, proteína total (N x 5,70) 9,92 %, valor energético 364,84 Kcal/100 g y gluten húmedo 26,16 %.

Según datos bibliográficos del análisis fisicoquímico de la harina de maíz morado muestra que contiene: fibra 0,52 %, materia grasa 5,84 %, hidratos de carbono 76,40 %, ceniza 1,48 %, humedad 8,74 %, proteína total (N x 6,38) 7,02 % y valor energético 386,24 Kcal/100g, gluten húmedo (n.d.), calcio 7,1 mg/100g, fósforo 100,3 mg/100g.

Realizado la evaluación sensorial de las pruebas iniciales incorporando manteca vegetal e incorporando aceite vegetal al snack fortificado se tomó en cuenta la muestra SF4 con manteca vegetal, debido a que la muestra presenta mayor aceptabilidad en sus atributos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amaro, J. (2020). Remolacha: conoce sus propiedades y beneficios. Delicias kitchen. Recuperado el 13 julio del 2020: <https://deliciaskitchen.com/remolacha/>
- Arias, F. (2006). El proyecto de investigación; Introducción a la metodología científica. Caracas, Venezuela; Episteme
- Arroyo, J.; Saez, E.; Rodriguez, M.; Burga, J. De la Cruz, W.; Valencia, J.(2007). "Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (Zea mays L) en ratas hipercolesterolémicas". Revista Peruana de medicina experimental y salud publica, vol.24, N°2. pp.157-162. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/scielo>.
- Arhuire, J & Betancur, Y.(2016). " Aceptabilidad y calidad nutricional de la mezcla de harina de maíz morado enriquecida con harina de spirulina para la elaboración del api". (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1852/NUarhujd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barrantes Echavarría R, (2007). Investigación: un camino al conocimiento, un enfoque cualitativo y cuantitativo. San José, C.R. EUNED.
- CEANID. (2023). "Centro de Análisis, Investigación, Desarrollo". Tarija- Bolivia. Dependiente Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.
- Código alimentario argentino. (2019). Secretaría de regulación y gestión sanitaria y secretaria de alimentos y bioeconomía Recuperado de <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/211384/20190715#:~:text=Sustit%C3%BAyese%20el%20Art%C3%ADculo%20760%20tris%20del%20C%C3%B3digo%20Alimentario,agregado%20de%20otros%20ingredientes%20permitidos%20horneados%20o%20fritos>.
- Euromonitor International. (2013). Snacks dulces y salados en Guatemala. Euromonitor International. [En línea] 10 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://www.euromonitor.com/sweet-and-savoury-snacks-in-guatemala/report>.
- Gallegos, A. y Umaña, B. (2011). Elaboración de harina de papa. Universidad Nacional de Ingeniería Managua. Nicaragua
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2018). Análisis y Diseño de Experimentos. Guanajuato, Ciudad de México; Ed. Mc Graw Hill.
- Somolinos, E. (2017). Propiedades nutricionales de la remolacha. Dieta y nutrición. Recuperado el 30 de noviembre del 2017: <https://www.aucal.edu/blog/dietetica>
- Ramírez, E. (2022). Diseño experimental aplicado en la ingeniería de alimentos. Carrera de Ingeniería de Alimentos-UAJMS. Tarija- Bolivia.

- Ricoy, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de la investigación. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/405449442/Contribucion-sobre-losparadigmas-de-la-investigacion-docx>.
- Torres E. (2009). En el mundo de los snacks. Revista Industria Alimenticia. [Internet]. [Citado 7 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.industriaalimenticia.com/articulos/83159-en-el-mundo-de-los-snacksnutricion/en-que-me-ayuda-comer-remolacha/>
- Walpole, R., Myers, R., y Myers, S. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Naucalpan de Juárez, Ciudad de México; Pearson
- Hernández, E. (2005). Evaluación Sensorial. Bogotá; Unad. Recuperado de: https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj895Xnqen4AhUTCNQKHUU7Ays-QFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F28661843%2FEVALUACION_SENSORIAL_UNAD_&usg=AOvVaw3q5kHZa7k-GYj0pHIQmiRG

COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA COHESIÓN DE LOS SUELOS FINOS DEL VALLE CENTRAL DE TARIJA USANDO MOMENTOS CONVENCIONALES Y L-MOMENTS

COMPARISON OF THE VARIABILITY OF THE COHESION OF FINE SOILS IN THE CENTRAL VALLEY OF TARIJA USING CONVENTIONAL MOMENTS AND L-MOMENTS

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Benítez Reynoso Alberto¹, Baldiviezo Montalvo Trinidad Cinthia²

Dubravic Alaiza Arturo³, Soto Salgado Laura Karina⁴

¹Ingeniero Civil, Ph.D.
Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia del autor: albere3716@gmail.com¹

Tarija - Bolivia

COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA COHESIÓN DE LOS SUELOS FINOS DEL VALLE CENTRAL DE TARIJA USANDO MOMENTOS CONVENCIONALES Y L-MOMENTS

² **Baldiviezo Montalvo Trinidad Cinthia**

³ **Dubravcic Alaiza Arturo**

⁴ **Soto Salgado Laura Karina**

Ingenieros Civiles, Ph.D.

Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija, Bolivia

RESUMEN

Se estiman los indicadores estadísticos que expresan la variabilidad de una serie de datos geotécnicos, específicamente la cohesión de los suelos, de una muestra representativa de la resistencia al corte de las arcillas del Valle Central de Tarija, usando el método de los momentos convencionales y el método de los L-Moments. Se evalúan las diferencias en la estimación de la media, dispersión, asimetría y curtosis. Los resultados indican que los L-Moments son más robustos ante la presencia de valores atípicos e indican mejor la estructura de los datos geotécnicos utilizados desde el punto de vista estadístico.

ABSTRACT

Statistical indicators expressing the variability of a series of geotechnical data, specifically soil cohesion, are estimated from a representative sample of the shear strength of clays from the Central Valley of Tarija, using the conventional moment method and the L-moment method. Differences in the estimation of the mean, dispersion, skewness, and kurtosis are evaluated. The results indicate that L-moments are more robust to the presence of outliers and better indicate the structure of the geotechnical data used from a statistical perspective.

Palabras Clave: Cohesión, momentos convencionales, L-Moments, variabilidad.

Keywords: Cohesion, conventional moments, L-Moments, variability.

1. INTRODUCCIÓN

La Estadística y la Teoría de las Probabilidades han sido, son y serán aplicadas ampliamente en la Ingeniería. Su uso en las Ingenierías Hidrológicas, Geotécnica, Estructural y otras ramas de la Ingeniería, ha sido de una enorme utilidad, tanto desde el punto de vista teórico como en la práctica.

En la hidrología, se ha usado para estimar caudales de corrientes naturales de agua para diferentes probabilidades de excedencia o periodos de retorno y para formular modelos de regresión (Benítez, A., 2004 y 2001).

En el caso de la Ingeniería Geotécnica, es ampliamente conocida la aleatoriedad y, consecuentemente, la variabilidad de las diferentes variables representativas de los diferentes fenómenos que son propios de esta rama de la Ingeniería, lo cual implica un riesgo y la necesidad de cuantificarlo en términos de probabilidad (Benítez, A., 2018 y 2014).

Para describir la mencionada variabilidad, tradicionalmente se usa el método de los momentos, llamados también momentos convencionales, sin embargo, los estimadores obtenidos por este método resultan sensibles a valores atípicos, por ejemplo, extremos, que suelen ser comunes en la práctica de la Ingeniería Geotécnica.

En ese contexto, como alternativa, se tiene el método de los L-Moments, que proporciona resultados expresados en estimadores más robustos y estables.

El método de los momentos convencionales y otros elementos de la probabilidad y estadística son muy usados en varias ramas de la Ingeniería, por ejemplo, en Ingeniería Geotécnica de viene usando desde hace muchos años para estudiar la variabilidad de los diferentes parámetros, estimar el riesgo geotécnico, seleccionar modelos de distribución de probabilidades y formular modelos de regresión y correlación (Benítez, A., 2021, 2020, 2019, 2017, 2015, 2012,

2010, 1997). Sin embargo, no hay información sobre el uso de los L-Moments en el tratamiento de variables ligadas a la Ingeniería Geotécnica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el método de los momentos convencionales, la variabilidad se describe mediante estimadores que se expresan mediante potencias de las desviaciones respecto a la media aritmética, aunque son ampliamente utilizados, son inestables cuando se presentan datos atípicos.

Por su parte, los L-Moments (Hosking, 1990) son combinaciones lineales de los estadísticos de orden y presentan las siguientes ventajas:

- Robustez ante la presencia de valores extremos o atípicos.
- Mejor comportamiento ante muestras pequeñas.
- Interpretación similar a los momentos convencionales.

Los cuatro primeros L-Moments son:

L1: representa la media.

L2: indica el parámetro de escala,

L3: refleja la asimetría.

L4: representa la curtosis.

Datos (ensayos de laboratorio)

Se analizó una base de datos de 50 valores de la cohesión del suelo, C , obtenidos de ensayos triaxiales con fines de investigación, de suelos finos pertenecientes al Valle Central de Tarija (limos y arcillas), donde se ubica la ciudad del mismo nombre. En el cuadro N° 1 se presentan los valores de los indicadores estadísticos de las series, tanto de la cohesión, C (en kPa), como del ángulo de fricción interna, ϕ (en °). En este artículo se ha trabajado con la cohesión.

CUADRO 1: INDICADORES ESTADÍSTICOS DE LA SERIE

Indicador	C	Ø
n	50	50
\bar{X}	306,42 kPa	24,554 (°)
S	45,096	2,415
C_v	0,147	0,0984
Min	233	21
Max	384	29

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

Inicialmente, se ha calculado los valores de los momentos convencionales, a saber, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría y curtosis., con las siguientes ecuaciones (Haan, 1982):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (2)$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \quad (3)$$

$$C_s = \frac{n^2 m_3}{(n-1)(n-2)S^2} \quad (4)$$

$$K = \frac{n^3 m_4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (5)$$

En el cuadro N° 1 y en las ecuaciones anteriores:

n = número de datos de la serie (mediciones);

\bar{X} = media aritmética de la serie;

X_i = valor correspondiente a la i-ésima medición;

S = Desviación típica;

C_v = coeficiente de variación;

Min = mínimo valor de la serie;

Max = máximo valor de la serie;

C_v = coeficiente de variación;

C_s = coeficiente de asimetría;

m_3 = tercer momento central;

K = coeficiente de curtosis;

m_4 = cuarto momento central.

Posteriormente se ha calculado los primeros cuatro L-Moments, L1, L2, L3 y L4, mediante las ecuaciones basadas en estadísticos de orden, que son las siguientes (Hosking, 1990):

$$L_1 = \beta_0 \quad (6)$$

$$L_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (7)$$

$$L_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (8)$$

$$L_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (9)$$

$$\bar{x} = L_1 \quad (10)$$

$$L - C_v = \frac{L_2}{L_1} \quad (11)$$

$$L - S = \frac{L_3}{L_2} \quad (12)$$

$$L - K = \frac{L_4}{L_2} \quad (13)$$

En las tres últimas relaciones:

L_1 = medida de posición (media);

$L - C_v$ = medida de escala (análogo al coeficiente de variación);

$L - S$ = medida de asimetría (análogo al coeficiente de asimetría);

$L - K$ = medida de curtosis (análogo al coeficiente de curtosis).

Donde:

$$\beta_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j \quad (14)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n X_j \frac{(j-1)}{(n-1)} \quad (15)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n X_j \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} \quad (16)$$

$$\beta_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=4}^n X_j \frac{(j-1)(j-2)(j-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \quad (17)$$

Se introdujo valores atípicos en la serie para reflejar la sensibilidad de cada uno de los dos métodos.

3. RESULTADOS

Los resultados (para la cohesión, **C**), se presentan en los cuadros N° 2 y N° 3, en los cuales:

Serie 1 corresponde a la serie original (50 determinaciones en laboratorio) de la cohesión;

Serie 2 corresponde a la serie original más un dato atípico de 700 kPa;

Serie 3 corresponde a la serie original más un dato atípico de 50 kPa.

CUADRO 2: RESULTADOS MÉTODO MOMENTOS CONVENCIONALES (Cohesión C en kPa)

Parámetro	Serie 1	Serie 2	Serie 3
\bar{X}	306,42	314,137	301,392
S	45,096	70,925	57,291
Cv	0,147	0,226	0,190
S	1,000	9,632	-4,156
K	-1,517	24,636	8,849

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3: RESULTADOS MÉTODO L-MOMENTS (Cohesión C en kPa)

Parámetro	Serie 1	Serie 2	Serie 3
X	306,42	314,137	301,392
L - C _v	0,0841	0,1034	0,0988
L - S	0,1028	0,2678	-0,0342
L - K	0,0258	0,2018	0,1472

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

- Los resultados evidencian que los momentos convencionales son sensibles a la presencia de valores extremos.
- A su vez, los L-Moments presentan variaciones mucho menores, conservando la estructura general de los datos.
- El mencionado comportamiento es deseable en Geotecnia, donde la naturaleza de las mediciones refleja heterogeneidad, aleatoriedad y, consecuentemente, variabilidad.
- Adicionalmente, los L-Moments, al igual que los momentos convencionales, pueden ser parte del análisis de frecuencia, ajuste de distribuciones y cuantificación de la incertidumbre geotécnica.
- En fin, los L-Moments son una alternativa robusta en el análisis estadístico de datos geotécnicos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Benítez, A. (2021). Propiedades geotécnicas y mecánicas de los suelos: correlaciones y modelos matemáticos (con énfasis en los suelos bolivianos). Imprenta Integral S.R.L., Tarija (Bolivia).

- Benítez, A. (2020). Geotechnical and mechanical properties of soils: correlations, mathematical models and implications in structural and geotechnical engineering with emphasis in Bolivian soils. Post Doctorate Thesis, Atlantic International University, USA.
- Benítez, A. (2019). Modelos Matemáticos Generales para la Predicción del CBR (California Bearing Ratio) en los Suelos Bolivianos. Revista Universitaria de Divulgación Científica "VENTANA CIENTÍFICA", Vol. 9 N° 15, pp. 9-24, junio, 2019, Tarija.
- Benítez, A. (2018). Principios Dialécticos de la Ingeniería Estructural e Implicaciones en la Seguridad, "Congreso Panamericano en Seguridad, Construcciones Seguras y Manejo de Desastres", Cartagena de Indias, 10 y 11, en el marco de la XXXVI Convención de la UPADI (Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros).
- Benítez, A. (2018). Relación entre la Relatividad de Einstein y la Ingeniería Estructural. Revista INGENIERÍA PANAMERICANA, Volumen 2, pp. 58-61, Edición UPADI (Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros).
- Benítez, A. (2017). Propiedades mecánicas de las arcillas bolivianas: modelos matemáticos, correlaciones e implicaciones en la Ingeniería Estructural. PRIMER CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 26-28 de octubre, Tarija (Bolivia).
- Benítez, A. (2017). Métodos de Investigación en Ingeniería Estructural. PRIMER CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 26-28 de octubre, Tarija (Bolivia).
- Benítez, A. (2017). Métodos energéticos y variacionales en la Ingeniería Estructural: Genealogía y análisis conceptual. PRIMER CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 26-28 de octubre, Tarija (Bolivia).
- Benítez, A. (2015). Estimación de algunas propiedades geotécnicas de los suelos mediante análisis multivariado (regresión múltiple) y su utilidad en la Ingeniería Civil: Suelos Finos del Oriente Boliviano. Revista INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN (órgano oficial de la Sociedad de Ingenieros de Bolivia), N° 5, pp. 36-43. Depósito Legal: 4-3-10-14.
- Benítez, A. (2014). Dialéctica de la Ingeniería Estructural. Convenio Andrés Bello, Universidad Nacional Siglo XX e Instituto Internacional de Integración. Depósito Legal: 4-1-1568-14, ISBN: 978-99954-98-15-3, La Paz (Tesis Doctoral y Libro).
- Benítez, A. (2014). La Investigación en Tiempos de Transformación, con el artículo "Filosofía e Ingeniería; una definición dialéctica de la ingeniería estructural y sus implicaciones en la formación profesional. Coautor del Libro de edición coordinada por David Mora y Ximena Roncal (Convenio Andrés Bello-Instituto Internacional de Integración), DL 4-1-856-14, ISBN 978-99954-98-10-8, La Paz.
- Benítez, A. (2012). Propiedades mecánicas de los suelos, correlaciones, modelos matemáticos e implicaciones en la ingeniería vial. XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 22-26 de octubre, Córdoba.
- Benítez, A. (2010). Modelos multivariados en la estimación de algunas propiedades mecánicas de los suelos y sus implicaciones en la ingeniería vial. XX Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (6 al 9 de octubre) publicación en CD e impresa (libro del Congreso) ISBN: 978-950-42-0129-8, Mendoza (Argentina).

- Benítez, A. (2004). Generalización de las relaciones entre los procesos del ciclo hidrológico para la cuenca internacional del río de La Plata: "Enfoque Sistémico y Análisis Multivariado". Tesis de doctorado, Universidad de Sevilla, España.
- Benítez, A. (2001). Criterios hidrológicos aplicados a la Ingeniería Vial, un breve análisis metodológico y conceptual. Revista Rutas, No. 78 – II época, mayo-junio, pp. 33-40, Madrid, España.
- Benítez, A. (1997). Modelos matemáticos para la estimación de propiedades mecánicas de los suelos y su aplicación al diseño de firmes. Los suelos del valle Central de Tarija. Revista Rutas, No. 59 – II época, marzo-abril, pp. 73-78, Madrid, España.
- Haan, C. (1982). Statistical methods in hydrology. The Iowa State University Press, USA.
- Hosking, J.R.M. (1990). L-Moments. Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 52(1), 105-125.

MODELO DE TURISMO RURAL COMUNITARIO SOSTENIBLE "EL CARDÓN"

SUSTAINABLE COMMUNITY-BASED RURAL TOURISM MODEL
"EL CARDÓN"

Fecha de recepción: 17/02/2025 | Fecha de aceptación: 27/05/2025

Morales Morales Keyla Guadalupe¹, Romero Vallejos Noelia²
Miranda Solorzano Adriana Isabel³, Canasa Callau Marin Victoria Nathaly⁴
Roldan Claros Felix Xander⁵, Coronado Juan Luis⁶, Ugarte Martínez Viviana Teresa⁷,
Chambi Gareca Adriana Gabriela⁸

¹Economista
Carrera de Economía
Facultad de Ciencias Económicas y Financieras
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia de la autora: keymorales0809@gmail.com¹
Tarija - Bolivia

MODELO DE TURISMO RURAL COMUNITARIO SOSTENIBLE "EL CARDÓN"

² **Romero Vallejos Noelia**

³ **Miranda Solorzano, Adriana Isabel**

⁴ **Canasa Callau Marin, Victoria Nathaly**

⁵ **Roldan Claros, Felix Xander**

Carrera de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Financieras

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija, Bolivia

⁶ **Coronado Juan Luis**

Economista

Docente Carrera de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Financieras

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija, Bolivia

⁷ **Ugarte Martínez Viviana Teresa**

Licenciada en Turismo

Docente Carrera de Idiomas, Facultad de Humanidades

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija, Bolivia

⁸ **Chambi Gareca Adriana Gabriela**

Ingeniera Informática, Especialista en Investigación Educativa

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Tarija, Bolivia

RESUMEN

Esta investigación propone el desarrollo de un modelo de turismo rural comunitario (TRC) sostenible en el Parque Natural y Área de Manejo Integrado "El Cardón", ubicado en el Municipio El Puente Tarija, Bolivia. Con la finalidad de promover la participación activa de las comunidades rurales, fomentar la preservación y conservación de sus recursos naturales, como una alternativa de diversificación de la economía regional.

La investigación sigue un enfoque cualitativo con un diseño no experimental y descriptivo, utilizando métodos y técnicas de observación, inventariación, encuestas y análisis PESTEL para identificar los principales atractivos, oportunidades y amenazas del desarrollo turístico en la zona.

El estudio toma como referencia el modelo de gestión de turismo de la Fundación CODESPA (2021), el mismo que se adapta a las condiciones y disposiciones de las comunidades de El Puente. La propuesta contempla una ruta turística que potencia los recursos naturales únicos de la zona, como el cactus gigante, grabados rupestres y ruinas arqueológicas, acompañada de la prestación de productos y servicios turísticos como aceite y mate de lavanda, destilado de pasacana, entre otros.

Finalmente se concluyen con propuestas de herramientas y estrategias a seguir para el desarrollo de capacidades en la producción y la comercialización, en beneficio de las comunidades que actualmente se encuentran entre las más vulnerables del departamento de Tarija.

ABSTRACT

This research proposes developing a sustainable community-based rural tourism (CBRT) model in the Natural Park and Integrated Management Area "El Cardón," located in the Municipality of El Puente Tarija, Bolivia. To promote the active participation of rural communities, fostering the preservation and conservation of their natural resources, as an alternative for diversifying the regional economy. The research follows a qualitative approach with a non-experimental and descriptive design, using methods and techniques such as observation, inventory, surveys, and PESTEL analysis to identify the main attractions, opportunities, and threats of tourism development in the area.

This research proposes developing a sustainable community-based rural tourism (CBRT) model in the Natural Park and Integrated Management Area "El Cardón," located in the Municipality of El Puente Tarija, Bolivia. To promote the active participation of rural communities, fostering the preservation and conservation of their natural resources, as an alternative for diversifying the regional economy. The research follows a qualitative approach with a non-experimental and descriptive design, using methods and techniques such as observation, inventory, surveys, and PESTEL analysis to identify the main attractions, opportunities, and threats of tourism development in the area.

Palabras Clave: Modelo, turismo rural comunitario, sostenibilidad, servicios turísticos, ruta turística

Keywords: model, community rural tourism, sustainability, tourist services, tourist route.

1. INTRODUCCIÓN

El departamento de Tarija posee diversos atractivos turísticos, entre ellos el Parque Natural y Área de Manejo Integrado "El Cardón," la segunda reserva más grande de Latinoamérica en densidad y variedad de cactáceas, con 19.372 hectáreas, ubicada dentro del municipio El Puente y Yunchará. (Periódico Digital Portafolio, 2024).

En esta última década, el turismo rural comunitario se va convirtiendo en una fuente de ingresos significativos en muchos países, entre ellos Bolivia, que logró obtener varias experiencias exitosas de turismo comunitario, como el Albergue Ecológico Chala-lán, Turismo Integral Comunitario Familiar (TICOF) y Red TUSOCO.

Las comunidades de la Zona Alta de Tarija, que conforman "El Cardón," reconocen un gran potencial turístico gracias a sus ventajas naturales y atractivos arquitectónicos, lo que permitiría convertirse en un referente regional. Sin embargo, enfrentan importantes desafíos como reducidas fuentes de ingresos, migración, escasas oportunidades y falta de acceso a servicios básicos.

Según el comunario Velásquez, en una entrevista publicada en el periódico digital Verdad con Tinta (2019), menciona: "Las características climatológicas no permiten generar ingresos económicos; como la sequía, afectan duramente la agricultura, la principal fuente de sustento, dejando solo lo necesario para su consumo mínimo".

Se tiene antecedentes de diseño y creación de una ruta turística denominada "La ruta del cardón," realizada por la Gobernación de Tarija junto a la Subgobernación de El Puente, que consiste en un recorrido de un solo día. Por diferentes factores, esta ruta en la actualidad no está vigente y tuvo un impacto económico temporal en la comunidad, donde se denotan algunos aspectos que mejorar.

La importancia de realizar investigación, se debe a contribuir a las comunidades con herramientas que les permita a los habitantes en un corto y largo plazo, ser promotores de la conservación y aprovechamiento de los atractivos naturales, culturales y sociales. Con la perspectiva que parte de las utilidades generadas se destine a la atención de las necesidades comunales, teniendo presente los tres principios del turismo sostenible:

- Conservación ambiental.
- Integración social y cultural.
- Rentabilidad ecológica.

La presente investigación demuestra ser especialmente relevante, sobre todo en un contexto posterior a la era del gas en Tarija, donde actualmente las principales fuentes de ingresos se enfocan en la cadena productiva de la uva, vinos y singanis. Ante la reducción de ingresos destinados a Tarija por exportación de petróleo y gas natural, el turismo rural comunitario emerge como una alternativa prometedora, ganando cada vez más importancia en el país y en nuestro departamento debido a su gran potencial turístico. La prestación de servicios turísticos en beneficio de la comunidad permitirá no solo valorar y conservar los atractivos turísticos, sino también diversificar los ingresos de los habitantes de estas comunidades, que actualmente se encuentran entre las más vulnerables del departamento de Tarija.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tiene un enfoque cualitativo, con diseño no experimental y descriptivo, aplicando método de investigación empírico, inductivo y analítico. Se emplea el método inductivo, en la referencia de investigaciones y modelos realizados en otros países como Perú, Chile y Argentina, por organizaciones y fundaciones internacionales, para adaptarlos al contexto del área de estudio.

Proponiendo la hipótesis: el desarrollo del turismo rural comunitario sostenible en el Parque Natural "El Cardón" está asociado con la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales, a través de la generación de ingresos (oferta turística) y la conservación del entorno natural.

Se identifican indicadores que reflejen las características principales y percepciones de los comunarios en las siguientes dimensiones importantes para el diseño del modelo de TRC.

- » Dimensión Socioeconómica: participación comunitaria, número de emprendimientos turísticos comunitarios y percepción de beneficios del turismo.
- » Dimensión Ambiental: cantidad de especies de cactáceas y medidas de mitigación ambiental implementadas (acciones para minimizar el impacto).
- » Dimensión Cultural y Patrimonial: Grado de integración de la cultura local en la oferta turística.
- » Dimensión de Oferta y Demanda Turística: Perfil del visitante y servicios turísticos activos.
- » Dimensión de Gobernanza y Modelo de Gestión: Estructura organizativa comunitaria en turismo, y nivel de participación en la toma de decisiones de turismo.

Para lograr el propósito se obtienen datos de fuentes secundarias y primarias recolectados a través de encuestas, entrevistas a los emprendedores y autoridades comunales, relatos de comunarios, inventariación de atractivos, recolección de muestras de cactáceas y fichas técnicas de especies de cactus, observación directa y análisis documental de trabajos previos sobre la región.

La investigación descriptiva y analítica permite la aplicación del modelo PESTEL, que identifica factores políticos, económicos, socioculturales, tecnoló-

gicos, ecológicos y legales que impactan el desarrollo turístico en el área de estudio del Parque Natural y Área de Manejo Integrado "El Cardón", ubicado en el municipio de El Puente, departamento de Tarija - Bolivia, el mismo que tiene que ser desarrollado en las gestiones 2023 - 2024.

El proceso metodológico del modelo turístico, explicado a continuación, permite delimitar el estudio en 6 comunidades: Huarmachi, Condorhuasi, Curqui, Rumihuasi, Rupaska. Las comunidades seleccionadas participaron activamente en el diseño del modelo turístico propuesto, mediante reuniones y talleres donde se recogieron sus aportes y expectativas. Para finalmente diseñar la propuesta del modelo y producto turístico, es decir, la ruta turística que visibiliza estos atractivos y recursos, con la colaboración de instituciones académicas y gubernamentales.

A continuación, se explica la estructura del procedimiento que se siguió para cumplir con el principal objetivo de desarrollar una propuesta de modelo de turismo rural comunitario en el Cardón.

2.1. METODOLOGÍA DE MODELO TURÍSTICO

Para el desarrollo de una propuesta de turismo comunitario, se siguió la siguiente metodología estructurada en el Manual de la Metodología para el fortalecimiento de iniciativas de turismo rural comunitario - CODESPA (2021), en el que se enfatiza la participación activa de la comunidad y la sostenibilidad del proyecto:

2.1.1. DIAGNÓSTICO INICIAL

- Evaluación de Recursos: Identificación de atractivos turísticos por comunidad, mediante el llenado de fichas de inventariación y la toma de muestras para la identificación de variedades de cactus sujetos a estudio en el Herbario de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales - UAJMS.

- **Análisis de Mercado:** Mediante técnicas de investigación se analiza los indicadores de estudio.
- **Identificación de Actores Clave:** Se realiza un mapeo de actores claves y sus principales intervenciones para la construcción del modelo, entre ellos máximas autoridades tanto del Municipio de El Puente, Ejecutivos comunales, así como los corregidores y secretarios de cada una de las comunidades involucradas. Así también los lineamientos a seguir, por ser un área protegida por parte de SERNAP.

2.1.2. PLANIFICACIÓN PARTICIPATIVA

- **Talleres Comunitarios:** Mediante socializaciones del proyecto, asistiendo a reuniones organizadas de manera mensual de todo el distrito, también particularmente en cada comunidad.
- **Mapeo de Recursos y Atractivos:** Tras la respectiva socialización e investigación se pudo realizar un mapeo de cada atractivo turístico que tiene cada comunidad.
- **Condiciones básicas para la identificación de comunidades.**
- **Definición de Productos y Servicios:** Se identifica a las personas claves que pueden llegar a ofertar servicio y/o productos turísticos.

El estudio comprende incluye estrategias bases a seguir (Desarrollo de capacidades, diseño del Plan de Negocios, implementación y monitoreo), para dar continuidad en una siguiente fase de implementación de la propuesta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación obtenidos mediante instrumentos de recolección de datos permitieron analizar e identificar las principales potencialidades y atractivos turísticos de las comunidades que forman parte del Parque Natural y Área de Manejo Integrado "El Cardón", constituyéndose este diagnóstico en la base para el diseño del modelo de turismo rural comunitario sostenible, que contempla la propuesta de productos y servicios turísticos, con una participación activa de los emprendedores locales y comunarios en todo el proceso.

Inicialmente se debe entender al Turismo Rural Comunitario (TRC), que es aquella actividad turística que ofrece un modelo de autogestión a medida, con la particularidad de que es desarrollado por la población local, de forma participativa, planificada, sostenible, integrándola complementariamente a sus actividades económicas cotidianas, para generar mayores ingresos. (INNOVTUR, 2018)

Por ello se presenta el análisis de los recursos y características principales de las comunidades, que se obtuvo mediante el instrumento de fichas de inventariación y relatos de los comunarios.

3.1. DIAGNÓSTICO DE RECURSOS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES

La región de "El Cardón" alberga atractivos naturales, como cactus únicos en Bolivia, y vestigios arqueológicos de la cultura Chicha-Inca. Las comunidades sujetas a estudio son: Cieneguillas, Huarmachi, Condorhuasi, Curqui, Rumihuasi y Rupaska presentan una rica biodiversidad y actividades artesanales como la producción de aceite de lavanda y destilado de pasacana.

3.1.1. PRODUCTOS Y SERVICIOS TURÍSTICOS

Tabla 1: Inventariación de Productos y Servicios Turísticos de la Comunidad de Huarmachi

Producción de Lavanda	Categoría	Recurso Natural/Cultural
	Tipo	Producto Agrícola/Artesanal
	Clase	Cultivo Orgánico/Procesamiento Artesanal
	Descripción	Producción de lavanda orgánica, desde el cultivo hasta la elaboración de productos derivados como el aceite de lavanda que posee una diversidad de propiedades, lavanda seca para infusiones, entre otros. La familia productora ofrece estos productos como también información de las propiedades que posee la lavanda, presenta los cultivos y el proceso de elaboración de los productos.
Cactus Verde más Grande	Categoría	Recurso Natural
	Tipo	Flora
	Clase	Especie Endémica
	Descripción	Espectacular cactus gigante de aproximadamente 6 metros de altura, el más grande de la región, ideal para la observación y toma de fotografías. Es una representación de biodiversidad local y un atractivo turístico natural.
Iglesia de Huarmachi	Categoría	Recurso Cultural
	Tipo	Patrimonio Histórico
	Clase	Arquitectura Colonial
	Descripción	Importante construcción religiosa de piedra, representativa de la arquitectura colonial. Cuenta con historia y mitos locales, se encuentra adyacente al cementerio general de la comunidad.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2: Inventariación de Productos y Servicios Turísticos de la Comunidad Condorhuasi

Secado de Charque	Categoría	Recurso Natural
	Tipo	Gastronomía
	Clase	Producción Artesanal
	Descripción	Se caracteriza por el tradicional proceso de deshidratación de carne de llama, cordero y chivo, reconocido por su sabor único. Los comunarios de Condorhuasi han perfeccionado la técnica a lo largo de estos años, convirtiéndolo así en un producto de buena calidad.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3: Inventariación de Productos y Servicios Turísticos de la Comunidad Curqui

Artesanías	Categoría	Recurso Cultural
	Tipo	Artesanía
	Clase	Artesanía Contemporánea
	Descripción	<p>La familia Velásquez Salazar crea piezas únicas de artesanía utilizando cardón seco, es decir, después que cumplió su ciclo de vida y de piedras recolectadas alrededor de la comunidad.</p> <p>Su trabajo abarca desde cuadros y llaveros hasta muebles como sillas y mesas, lo que refleja la creatividad y habilidad de esta familia.</p> <p>Además, se podrán observar una colección de piedras de diferentes tamaños muy interesantes con características peculiares e incluso puntas de flechas antiguas que fueron encontradas por los miembros de esta familia en la comunidad.</p> <p>A demás, una colección de restos arqueológicos como puntas de flechas de piedra, cerámica y piedras grabadas con Gráficos de animales, entre otros que encuentra en la zona, como un museo a futuro en la comunidad.</p>
Tequila de Pasacana	Categoría	Recurso Cultural
	Tipo	Gastronomía
	Clase	Bebida Alcohólica Artesanal
	Descripción	<p>El destilado de pasacana es una bebida alcohólica tradicional elaborada a partir de la fermentación de la pasacana que es una cactácea local.</p> <p>Este destilado es considerado un tesoro gastronómico y cultural dentro de la región.</p>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4: Inventariación de Productos y Servicios Turísticos de la Comunidad Rumihuasi

Cactus Columnares	Categoría	Recurso Natural
	Tipo	Flora
	Clase	Especie Endémica
	Descripción	En esta comunidad se podrá encontrar únicos cactus columnares que presentan muy imponentes e interesantes, ubicados únicamente en esta comunidad, se puede realizar un recorrido nocturno.
Grabados Rupestres	Categoría	Recursos Natural
	Tipo	Patrimonio Cultural
	Clase	Arte Rupestre
	Descripción	Arte rupestre caracterizado por sus Gráficos en piedras rocosas en la zona alta, alejado de aproximadamente 40 minutos a pie del camino principal, se caracteriza por su integración con el paisaje montañoso. Estas representaciones incluyen formas abstractas, patrones repetitivos reflejando aspectos de la cosmovisión y la vida cotidiana de la cultura chicha. Estos artefactos proporcionan valiosa información sobre la expresión cultural y el entorno natural de la región.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Inventariación de Productos y Servicios Turísticos de la Comunidad Rupaska

Sendero de Cactus	Categoría	Recurso Natural
	Tipo	Flora
	Clase	Especie Endémica
	Descripción	El camino de sendero de cactus es un recorrido corto, para la exploración y observación de diversas variedades de cactus característicos del Parque Natural y Área de Manejo Integrado "El Cardón". Esta comunidad ofrece un paisaje impresionante, donde se puede observar más variedades de cactus.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta un cuadro de análisis PESTEL, necesario para identificar los factores externos que pueden afectar en algún nivel de grado positivo (oportunidades) y negativo (amenazas) en el desarrollo de turismo rural comunitario en la zona alta del municipio El Puente y sus comunidades sujetas a estudio.

3.2. ANÁLISIS PESTEL

Se evalúan aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que influyen en el desarrollo turístico de la región, que intervienen de manera directa e indirecta en los destinos turísticos.

Por ejemplo, el apoyo del gobierno local y las políticas de promoción del turismo representan una oportunidad, mientras que la falta de acceso a internet y las amenazas de deterioro ecológico son factores limitantes.

Tabla 6: Análisis PESTEL de las Comunidades que componen "El Cardón"

Factores Externos	Oportunidades	Amenazas
Políticos	<p>La gobernación departamental de Tarija según el Periódico Digital El País (2024), anunció el interés de pretender trabajar en las comunidades del Municipio de El Puente, mediante inversiones en sistemas de agua potable, construcción de atajados para cosecha y almacenamiento de agua.</p> <p>El Gobierno Nacional mediante el Viceministerio de Turismo, se está diseñando programas y proyectos para el fortalecimiento del sector turístico con énfasis en el turismo comunitario.</p>	<p>Cambios en las políticas gubernamentales que lleguen a desfavorecer el turismo comunitario.</p> <p>Conflictos sociales o políticos que afecten la estabilidad del distrito.</p> <p>Falta de predisposición de autoridades para la ejecución de proyectos.</p>
Económicos	<p>El gobierno boliviano reconoce la necesidad de lograr diversificar la economía y reducir la dependencia de los hidrocarburos. Lo que se busca lograr es un mayor apoyo a sectores como el turismo y producción local mediante inversiones que favorezcan a este sector, siendo así una oportunidad para el desarrollo del turismo rural comunitario.</p> <p>El turismo es considerado clave para el desarrollo socioeconómico del país, por lo que el gobierno ha implementado políticas y programas para promover el turismo.</p>	<p>Las fluctuaciones económicas a nivel nacional e internacional pueden afectar de manera significativa al turismo. Una disminución del poder adquisitivo de los consumidores, nacionales como extranjeros puede reducir y limitar la demanda de servicios turísticos.</p> <p>El aumento de precio de los alimentos, combustible y otros insumos que son necesarios pueden provocar una reducción en el margen de ganancia y encarecer los servicios ofrecidos.</p>

<p>Sociales</p>	<p>El lugar apto, con atractivos turísticos y amplio lugar para desplazarse en áreas menos pobladas, con gran atractivo cultural, histórico o natural.</p> <p>Las tradiciones, costumbres y conocimientos ancestrales de la comunidad pueden ser transformados en diferentes experiencias turísticas auténticas y únicas.</p> <p>La creciente demanda por las experiencias turísticas que tengan contacto con la naturaleza.</p>	<p>La falta de capacitación en temas turísticos a los comunarios puede limitar la capacidad de las comunidades para poder brindar servicios de calidad, como también puede no haber una gestión efectiva de los recursos turísticos.</p> <p>La migración de jóvenes hacia las ciudades en busca de nuevas oportunidades laborales.</p>
<p>Tecnológicos</p>	<p>Las políticas implementadas para el incremento en la cobertura, especialmente en el área rural, se aplicaron con mayor intensidad a partir del 2008, con la implementación del Programa Electricidad para Vivir con Dignidad (PEVD).</p> <p>El uso de plataformas digitales como las redes sociales y aplicaciones móviles puede servir de ayuda para promocionar los atractivos turísticos a nivel nacional e internacional.</p>	<p>Aún existe evidencia de la falta de acceso a Internet y señal en algunas comunidades del Municipio de El Puente.</p>
<p>Ecológicos</p>	<p>El Parque Natural y Área de Manejo Integrado "El Cardón", en el camino pueden encontrarse alrededor de 14 variedades de cactus que en ningún otro sitio existe, entre ellos están el cardón verde, cardón amarillo, el lorocho, poko, el cola y zorro, entre otros. "Estos florecen en colores variados, como el amarillo, el rojo y el blanco. Su tamaño es variado, los hay desde dos metros y pueden llegar hasta los cinco metros de alto con grosores que superan a un eucalipto". (Verdad con tinta, 2019)</p> <p>Esta comunidad guarda en sus entrañas el principal centro arquitectónico de la cultura Chicha-Inca, que data de los años 500 al 1800 después de Cristo, en esta comunidad se puede encontrar grabados rupestres de los que fue esa cultura.</p>	<p>La biodiversidad y los paisajes pueden verse afectados si no se gestiona de manera adecuada, ya que un turismo no regulado genera un impacto negativo en el ecosistema.</p> <p>Los eventos climáticos extremos pueden llegar a afectar los atractivos turísticos y limitar las actividades que se puedan realizar en las diferentes comunidades.</p>

<p>Legales</p>	<p>Recientemente El Cardón se constituye en un Parque Natural y Área de Manejo Integrado por ley nacional N° 2465 el 2 de mayo del 2003.</p> <p>Se cuenta con un reglamento tiene como objeto normar el ejercicio y desarrollo del Turismo Comunitario a través de emprendimientos turísticos de las comunidades rurales, en el marco de lo establecido por la Ley General de Turismo "Bolivia te Espera" N° 292 y el Decreto Supremo N° 2609.</p>	<p>En la actualidad el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado "El Cardón" no cuenta con un Reglamento de Operaciones turísticas, la señalización es muy escasa por lo que no cuenta con su propio presupuesto.</p> <p>Por lo que el decreto N° 28591 - Reglamento General de Operación Turística en Áreas Protegidas, tiene por objetivo regular la gestión del turismo dentro de las Áreas Protegidas que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) que contempla el desarrollo de actividades, obras de infraestructura, operaciones y prestación de servicios de carácter turísticos, así como el correspondiente régimen de ingresos económicos por actividades de turismo en Apps.</p>
----------------	--	--

Fuente: Elaboración Propia

En base a toda la información recolectada, en el comprendido de las limitaciones y potencialidades que presenta cada comunidad de la zona Alta de Tarija, en base a los lineamientos de referencia del modelo de gestión de Turismo de la Fundación CO-DESPA (2021), entre otras referencias bibliográficas, se estructura el diseño del modelo de TRC (Turismo Rural Comunitario) explicado a continuación.

3.3. MODELO PROPUESTO DE TURISMO RURAL COMUNITARIO

El modelo es una representación simplificada de los procesos o ideas a seguir, basado en el manual de buenas prácticas para un turismo sostenible. Buscando ser auto gestionable, con enfoques rural, comunitario y ecoturístico, es decir tener la capacidad de que los actores claves identificados realicen una intervención activa de la comunidad en la planificación y gestión del proceso turístico.

Constituyendo 2 etapas importantes para su construcción:

- » Diagnóstico Inicial
- » Planificación Participativa

3.3.1. DIÁGNÓSTICO INICIAL

En esta etapa se sigue una secuencia de pasos bajo un enfoque de turismo rural, iniciando por la determinación del Enfoque del Modelo, evaluación de Recursos naturales, culturales, históricos y humanos disponibles en la región que pueden ser utilizados para el desarrollo turístico y finalmente la identificación de actores claves.

3.3.2. PARTICIPACIÓN ACTIVA

El modelo al tener un enfoque de turismo rural comunitario (TRC), es imprescindible la participación activa de los comunarios y autoridades, por ello se

requiere la socialización de idea del proyecto y sensibilización a los actores claves en aspectos claves que se necesita para el desarrollo del modelo, como la Autogestión de las comunidades, elaboración de productos y servicios turísticos, comercialización y diseño de estrategias.

Mediante el diagnóstico realizado en las comunidades y la participación activa en diversas reuniones comunales, se selecciona las comunidades que estarán contempladas dentro de la propuesta de diseño del modelo de turismo, según condiciones básicas.

Gráfico 1: Condiciones para la identificación de las Comunidades Seleccionadas



Elaboración Propia

Fuente: Modelo de Gestión de Turismo Rural Comunitario CODESPA (2011)

Nota: Son 6 comunidades seleccionadas, bajo estas condiciones, donde se identifica y determina los productos y servicios turísticos que se ofrecerán como parte de propuesta de la ruta turística, desde la alimentación hasta las actividades extracurriculares.

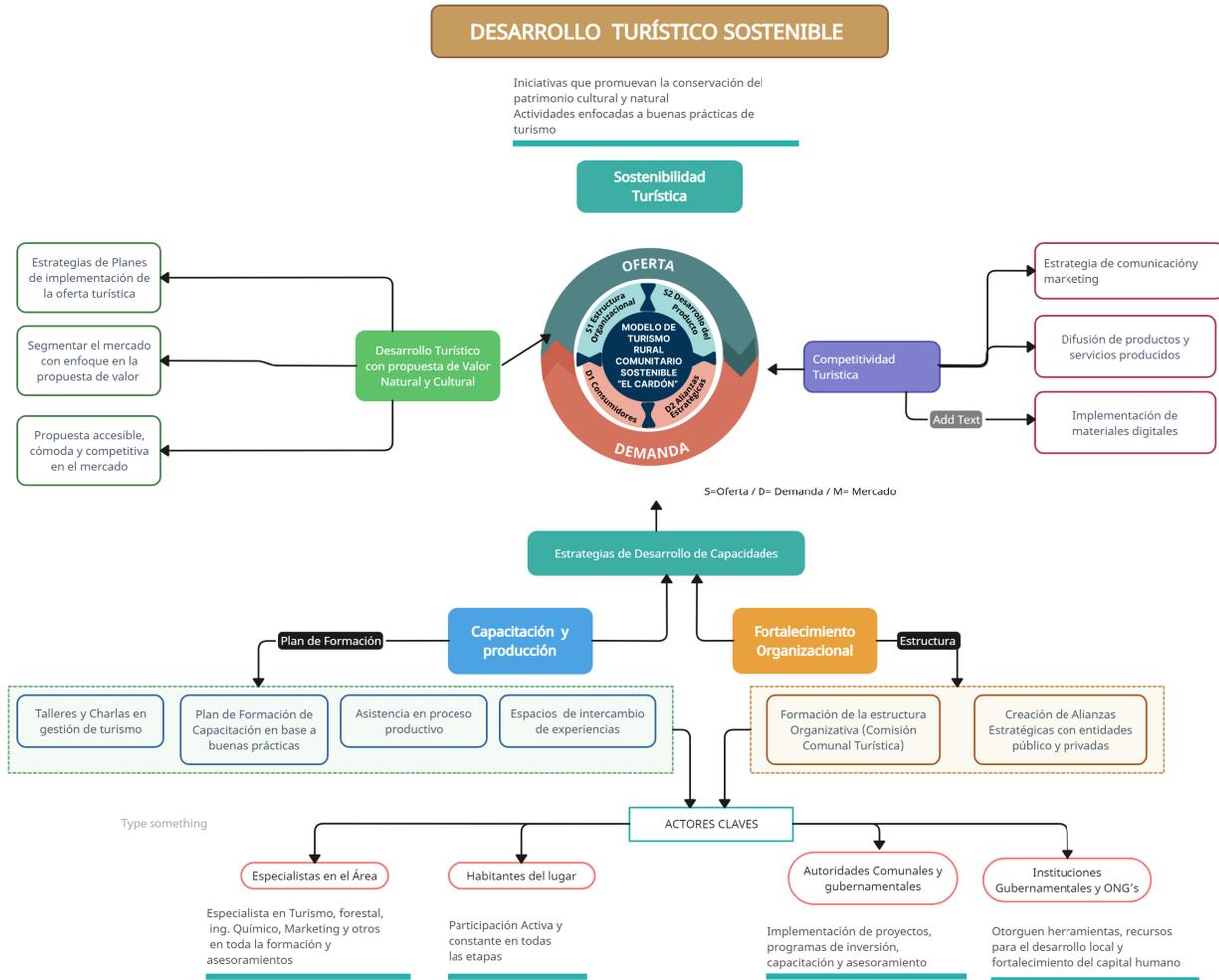
3.4. ESTRUCTURA DEL MODELO DE TURISMO RURAL COMUNITARIO

La estructura del modelo está conformada por componentes de la Oferta turística y la demanda turística,

para que en el futuro la implementación de esta propuesta sea factible y sostenible, es necesario seguir un plan de estrategias bases.

Las estrategias principales se identifican enfocados al desarrollo de capacidades, mediante capacitaciones y fortalecimiento estructural, también estrategia de competitividad turística y desarrollo turístico como parte de estrategias de comercialización en el mercado.

Gráfico 2: Esquema del Modelo de Turismo Rural Comunitario

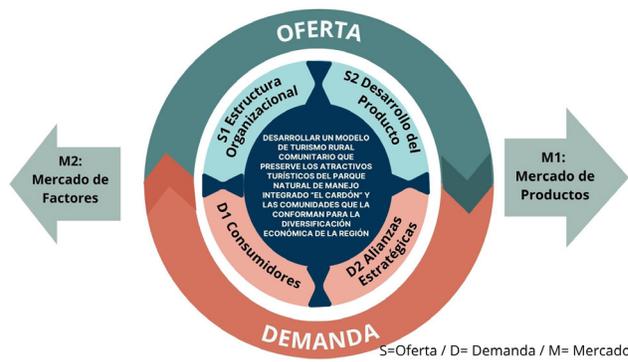


Fuente: Elaboración Propia

Los componentes principales para el desarrollo del Modelo de TRC, son la Oferta y Demanda de los Servicios, donde se presenta el flujo circular de la Eco-

nomía mediante el mercado de factores y mercado de productos explicados a continuación.

Gráfico 3: Componentes del Modelo de Turismo Rural Comunitario



Elaboración Propia, Fuente: Modelo de Gestión de Turismo Rural Comunitario de CODESPA (2011)

La Demanda de Servicios turísticos conformada por los Consumidores (D1), entendido como Visitantes o Turistas y las Alianzas Estratégicas (D2) que pueden ser mediante instituciones y empresas tanto públicas como privadas, enfocados en la promoción y comercialización de productos y servicios autogestionados por las mismas familias de la comunidad.

La Oferta de servicios turísticos que depende de la estructura Organizacional (S1) que tienen o conformarán las comunidades rurales, para el Desarrollo del Producto (S2). Este Producto está conformado de la Ruta Turística que se ofrece a los visitantes locales y externos, para brindar servicios turísticos como transporte, alimentación, hospedaje y productos de emprendimientos locales.

En este punto de encuentro entre la Oferta y la demanda de servicios turísticos, convergen el Mercado de Productos (M1) entendido como las familias dueños de los emprendimientos y la comunidad comercializan sus bienes y servicios turísticos y los Visitantes adquieren y compran estos bienes y servicios turísticos.

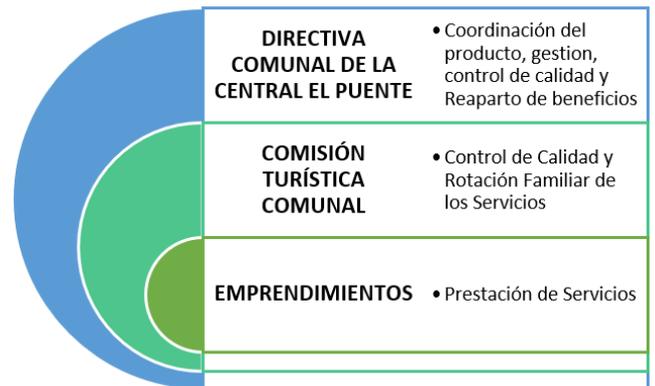
Mercado de Factores (M2), donde las familias dueños de estos emprendimientos y la comunidad al ofrecer estos servicios turísticos y producir más, requieren la adquisición indirectamente de otras

empresas y sectores como transporte de turistas a la comunidad, agencias de turismo y hotelería para la promoción y estadía de turistas extranjeros que primero llegan a Tarija, para posteriormente conocer el circuito ubicado en el Municipio de El Puente. Generando de esta forma un movimiento en el flujo circular de la economía Tarijeña y del País.

3.4.1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LAS COMUNIDADES

En este gráfico, muestra un modelo de estructura organizacional a seguir y las funciones principales.

Gráfico 4 : Modelo de Estructura Organizacional de las Comunidades



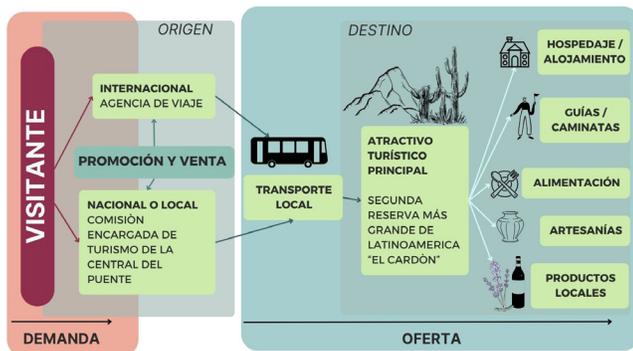
Fuente: Elaboración Propia

En base a las funciones que cumplen cada participante, referente al modelo de estructura organizacional presentado en el Gráfico 4, se involucra a los corregidores de cada comunidad como contacto directo y responsable en la gestión de las visitas turísticas. Para demostrar una propuesta de valor que destaque su arte, arqueología y oferta de productos turísticos.

3.4.2. RELACIÓN DE COMPONENTES DEL MODELO

Con todo lo mencionado en la identificación de actores, como elaboración de ruta y propuesta de modelo, se llegó al siguiente esquema de creación de valor turístico. Este movimiento económico, se puede entender mediante la Cadena de Valor Turística.

Gráfico 5: Cadena de Valor Turística



Fuente: Elaboración Propia

3.5. DESARROLLO DEL PRODUCTO

La propuesta del producto turístico es el resultado de toda la investigación realizada, que se encuentra plasmado mediante el diseño de la ruta turística "El Churo Cardón", Cartillas informativas resumen de la información de las variedades de cactus de la Reserva de El Cardón, y finalmente la elaboración de un video informativo publicitario, para la atracción de turistas.

Se realiza 2 propuestas de rutas turísticas, la primera "Full day", desarrollado en un solo día, la misma que cuenta con condiciones para poder ser implementada en un corto plazo, el circuito pasa por las 6 comunidades identificadas y esta explícito en el siguiente gráfico:

Gráfico 7: Descripción de la Ruta Turística "Full day" en el Corto plazo





Fuente: Elaboración Propia

La segunda propuesta, es un recorrido con duración de 2 días, es decir que los turistas al pernoctan en las comunidades.

El segundo circuito pasa por las mismas paradas, la diferencia en ambas rutas, es que se tiene mayor predisposición y tiempo para disfrutar del paisaje y interactuar con los comunarios. Además, de incrementar una parada para realizar una caminata hacia el mirador natural "El fuerte" ubicado en la comunidad de Cordorhuasi, donde se encuentran ruinas arqueológicas de la cultura Chicha.

Los turistas que prefieren una experiencia completa, y más tranquila, optarían por la segunda propuesta de largo plazo. Es una propuesta de largo plazo, porque se debe mejorar las condiciones de seguridad con señaléticas, capacitaciones, servicios como el agua potable y alojamiento entre otras.

Con respecto al transporte, es un factor que se debería coordinar, e incluso impulsar desde los comunarios que tengan vehículos, que ellos sean los principales beneficiarios en poder gestionar para ofrecer este servicio.

3.6. ESTRATEGÍAS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE MODELO TRC

Es importante tener lineamientos y un plan de estrategias que se debe optar para lograr la implementación de la propuesta del Modelo de Turismo Rural Comunitario (TRC), en la siguiente etapa de la propuesta.

Se busca potencializar el nivel socioeconómico y cultural en las comunidades de "El Cardón", al desarrollar diferentes estrategias que generen impacto para los visitantes, se debe contar con una estructura organizativa sólida. Para ello se requiere la inclusión de estrategias en la aplicación de tecnologías, técnicas e innovación, la capacitación en producción, mercadotecnia y autogestión.

Se identifican principalmente dos macro estrategias:

» Estrategia de Desarrollo de Capacidades

Desarrollar capacidades en **producción y fortalecimiento organizacional** a todos los involucrados en el modelo, mediante estrategias que promuevan

actividades, apoyado con un plan de capacitación y concienciación social sobre el modelo de turismo rural comunitario.

Capacitar a los actores involucrados sobre los ejes de planeación e implementación de proyectos turísticos. (Valencia Laaz & Pelegrín Entenza, 2024).

Tabla 7: Estrategías de Desarrollo de Capacidades

Objetivo	Acciones
Formar el capital humano en conocimientos en ejes de gestión de recursos relacionados al turismo rural comunitario	1.-Efectuar talleres para identificar necesidades y requerimientos de instituciones gubernamentales, SERNAP, comisión comunal turística y comunarios dueños de emprendimientos locales. 2.- Implementar diferentes talleres que enfoque en la participación y apropiación de la comunidad (empoderamiento) sobre la gestión del proyecto. 3.-Fomentar proyectos de investigación y desarrollo colaborativos con las Universidades, ONG's y Fundaciones que contribuyan el desarrollo de los productos turísticos.
Promover herramientas y conocimientos a los comunarios que ayuden a producir productos y brindar servicios turísticos de calidad.	1.- Crear programas de capacitación adaptados a las necesidades específicas de producción. 2.- Creación de un plan de capacitación por módulos; Preparación del guía antes de ejecutar el servicio, técnicas del guía durante el servicio turístico, nociones básicas de la memoria histórica y del patrimonio natural y cultural, funciones del guía de turismo, Proceso de operación de los servicios del guía de turismo, atención al cliente, gestión de reservas y ventajas de los servicios de calidad. 3.- Asistencia técnica en el proceso de elaboración de productos, por ejemplo (aceite de lavanda, secado de charque, destilado de pasacana). 4.- Buscar oportunidades y realizar eventos para que los actores asistan a eventos intercambio de experiencias con otras comunidades que aplican este modelo de TRC nacional e internacional. 5.- Determinación de buenas prácticas para el turismo rural comunitario (establecer herramientas de evaluación de los servicios, fichas de monitoreo y manual de buenas prácticas) 6.- Solicitar pasantías en diferentes áreas (administración, economía, arqueología, forestal, historia, botánica, turismo y otras) para contribuir con herramientas en la implementación del proyecto. 7.- Motivar a las futuras generaciones a continuar con la actividad turística, de artesanía y producción, lo puede ser mediante talleres en los establecimientos educativos.

Fuente: Elaboración propia

A demás, de estrategias para conformar una comisión comunal turística, enfocados a la realización de actividades turísticas en beneficio individual y colectivo.

Tabla 8: Estrategias de Fortalecimiento Organizacional

Estrategia	Acciones
Crear o fortalecer la estructura organizativa comunitaria que permita la gestión de la actividad turística con calidad.	1.-Ejecutar un plan para fortalecimiento de la estructura organizativa. 2.-Reunión comunal para la elección de la comisión de turismo. 3.- Definir funciones a cada miembro de la comisión y controlan la calidad de sus asociados y emprendimientos
Alianzas estratégicas para Gestionar recursos en proyectos turísticos con ONG y organizaciones.	1.- Desarrollar proyectos de inversión. 2.-Acuerdos con empresas privadas, para la atención de los servicios de transporte y logística de los turistas desde los puntos de acceso. 3.-Acuerdos con gobiernos locales, para la creación de partidas presupuestales en beneficio del turismo comunitario para apertura de oficinas comerciales y de información turística, mantenimiento de carreteras y señalización. 4.- Acuerdos con entidades del sistema financiero para acceder a micro financiamientos.

Fuente: Benavides, L. A., & redondo, A. (2021). Estrategias de comercialización para el sector artesanal colombiano en mercados internacionales.

» Estrategia de mercado: Estrategias de comercialización como ser el de incursionar en nuevos mercados y posicionar el producto con el valor cultural y natural, que maximice las oportunidades de mercadeo y sostenibilidad de la actividad turística.

Tabla 9: Estrategias de Comercialización

Objetivo	Acciones
<p>IncurSIONAR en nuevos mercados y posicionar el producto con el valor cultural, que maximice las oportunidades de mercadeo y sostenibilidad de la actividad turística.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Definir el mercado meta y segmentar en grupos pequeños para personalizar las ofertas. 2.- Realizar un estudio de mercado piloto. 3.- Contactar a las empresas, instituciones o grupos considerados como mercado meta para ofrecer los servicios turísticos. 4.- Definir el circuito turístico como producto turístico para la presentación de la propuesta de Valor.
<p>Atraer clientes potenciales mediante precios atractivos, con un propuesta accesible, cómoda y competitiva en el mercado</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Estudio financiero sobre costos de establecimientos de precios 2.- Crear paquetes con accesibilidad de diferente tiempo de duración el recorrido. 3.- Tarifarios y políticas de venta.
<p>Aumentar visibilidad y atractivos turísticos, mediante marketing digital para lograr una mayor difusión de los productos y servicios que se ofertan.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Crear materiales de mercadeo y difusión, como catálogo de productos, mapas, folletos, página web y videos. 2.- Posicionar los lugares estratégicos en Google Maps, para localización. 3.- Lanzamiento público de productos y la ubicación por redes sociales. 4.- Manual de oferta (Implementación de TIC's como aplicaciones y páginas web, que habilite la participación integrante de la comunidad en su uso). 5.- Proporcionar espacios de ferias, exhibiciones y puntos estratégicos en la ciudad para su venta de productos. 6.- Incorporara el mecanismo de cobranza por medios digitales para la venta de productos y servicios (Trasferencia QR, otros).

Fuente: Viviana de los Ángeles, S.-D., López-Ponce, M. E., & Barroso-Tanoira, 2023. Estrategias de comercialización para artesanos del tramo 2 del tren maya.

Además de atraer clientes mediante precios atractivos; aumentando visibilidad y atractivos turísticos, mediante marketing digital, para lograr una mayor difusión de los productos y servicios que se ofertan.

La implementación de este modelo beneficiará a las comunidades con ingresos adicionales y promoverá la conservación de su patrimonio cultural y natural. El turismo comunitario es una estrategia viable para enfrentar problemas como la migración de jóvenes y la escasez de oportunidades económicas.

4. CONCLUSIÓN

- El parque Natural y Área de manejo integrado "El Cardón" con una extensión aproximadamente de 19,372 hectáreas, considerado como la segunda reserva más grande de Latinoamérica a una distancia de 72 km de Tarija, mediante el estudio realizado con el apoyo de la SOCIEFOR y el herbario de la UAJMS, se identifica la variedad de 14 especies en todo el área, con una notable densidad como los cactus rastreros, asiento de suegra (*Echinocactus Grusonii*) y otros de menor tamaño en el Cruce de Cieneguillas, los cactus verdes (*Trichocereus Taratensis Cardenas*), cactus champú, abuelo y otros denominados de esta forma por los mismos comunarios en la comunidad de Condorhuasi y Rupaska. Cartilla disponible en el Repositorio de Documentos Científicos de DICYT. (DICYT, 2024)
- El atractivo principal de "El Cardón" es el paisajismo de cactáceas (cactus) se encuentran en el camino y su alrededor, además contempla restos arqueológicos como las ruinas de la Cultura Chicha denominado "El Fuerte" en la comunidad de Condorhuasi, los grabados rupestres en Rumihuasi y el templo de piedra en la comunidad de Huarmachi.
- La principal actividad económica de las comunidades son ganadería (ovino, caprino) y agricultura (papa, zanahoria, orégano, etc.), cuentan con accesibilidad de camino de tierra y existe una asociación de transporte que pasa por todas las comunidades, exceptuando a San Jose de Curqui. En cuanto a los servicios básicos, tienen acceso, pero de baja calidad. Sin embargo, pese a esta adversidad cada comunidad cuenta con un potencial turístico natural y cultural, el cual para ser aprovechado por la actividad turística motiva a los comunarios a ofrecer sus servicios turísticos, que van desde ofrecer servicios de gastronomía, de guiaje, traslados e inclusive las ventas de productos artesanales de sus diferentes emprendimientos.
- La propuesta del recorrido de la Ruta Turística, contempla tanto en el corto como en el largo plazo, el recorrido por el templo de piedra en Huarmachi, visita al Cactus más grande, caminatas por el sendero de cactus en Rupaska y grabados rupestres. En el Corto Plazo, se propone paradas por emprendimientos familiares para dar a conocer sus productos y servicios. Por ello, las personas que deseen brindar servicios turísticos deben tomar distintas capacitaciones para mejorar la prestación de los servicios e inclusive incorporar nuevas ofertas creativas.
- La comunidad de Cieneguillas y Rupaska, donde existe mayor densidad de cactus, forman parte de la propuesta para las paradas de observación y exploración de las variedades de Cactáceas. Es importante que, al ser una propuesta de turismo comunitario, rural y al estar en un área protegida, la atención debe centrarse en grupos pequeños de turistas, evitando con ello un impacto negativo en el entorno. Para que sea un turismo sostenible, es necesario fijar normas y buenas prácticas en conservación cultural y ambiental.
- La propuesta del modelo tiene por componentes; la demanda turística (visitantes) y oferta turística, que destaca la importancia de estrategias necesarias para el desarrollo de capacidades; como el fortalecimiento de su estructura organizacional para una autogestión comunal

y estrategias necesarias de desarrollo turístico como un plan de capacitación en todos los eslabones de la cadena productiva turística, además de estrategias de comercialización que permita la competitividad turística. Todo esto debe ser considerado en la etapa de implementación de la propuesta, como se detalla en el documento de sistematización del Proyecto, disponible en el Repositorio de Documentos Científicos de DICYT. (DICYT, 2024).

- Es necesario una participación activa de cada comunidad, para lograr resultados importantes, comenzando desde el inicio del diseño del producto o los servicios turísticos, en el proceso de planificación y posteriormente en la gestión de actividades. Para asegurar una integración adecuada de las comunidades, es imprescindible que cada Corregidor y/o secretario socialice y motive la participación activa de los comunarios.
- Los beneficios económicos, generados por el turismo, deben ser retribuidos de manera equitativa a todos aquellos que participan de la ruta directa e indirectamente.
- El recorrido piloto, permitió evaluar una parte de la propuesta del modelo y el circuito propuesto como "Ruta del Churo Cardón", con la participación de actores claves y autoridades académicas de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. La percepción de los participantes fue positiva y en base a ello surgieron sugerencias y listado de acciones guías para una siguiente fase de implementación.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Benavides, I. A., & redondo, A. (2021). Estrategias de comercialización para el sector artesanal colombiano en mercados internacionales. (R. H. Investigación, Ed.)
- CEPAL. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. Fecha de Consulta: 07 de septiembre de 2023 Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bits-treams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fd-d3b659/content>
- CODESPA. (2021). RUTAS: Metodología para el fortalecimiento de iniciativas de Turismo Rural Comunitario. Disponible en: <https://www.codespa.org/aprende/publicaciones/metodologia-para-el-fortalecimiento-de-iniciativas-de-turismo-rural-comunitario/>
- DICYT. (2024) Cartilla de Cactus – Parque Natural de Área y Manejo Integrado "El Cardón". Entregado al DICYT como resultado de la Investigación. Disponible en: <https://dicyt.uajms.edu.bo/index.php/http-dicyt-uajms-edu-bo-wp-content/uploads-2024-10-cartilla-de-cactus-curqui-4-pdf/>
- DICYT. (2024) Modelo de Turismo Rural Comunitario Sostenible "El cardón". Entregado al DICYT como resultado de la Investigación. Disponible en: <https://dicyt.uajms.edu.bo/index.php/modelo-de-turiso-rural-comunitario-sostenible-en-el-distrito-de-curqui/>
- Fundación CODESPA. (2011). Modelo de gestión del turismo rural comunitario de CODESPA . Disponible en: <https://www.codespa.org/app/uploads/modelo-gestion-turismo-rural-comunitario.pdf>
- INNOVTUR . (2018). Centro Virtual de Formación Turística. Obtenido de Turismo Rural Comunitario, una Alternativa para el desarrollo local sostenibilidad. Fecha de Consulta, 12 de septiembre de 2024, disponible en: <https://www.innovtur.com/turismo-rural-comunitario-una-alternativa-para-el-desarrollo-local-sostenibilidad/>

- Prom Peru. (2006). Manual de Buenas prácticas para el turismo sostenible. Disponible en: https://base.socioeco.org/docs/manual_de_buenas_practicas_9124.pdf
- SERNAP. (2023). Parque Natural y Área de Manejo Integrado EL CARDON. Tarija.
- Valencia Laaz, I. C., & Pelegrín Entenza, N. (2024). Modelo de gestión para el desarrollo del turismo rural en las parroquias Membrillo y Quiroga, cantón Bolívar. Disponible en: [https://www.google.com/search?q=Capacitar+a+los+actores+involucrados+tanto+p%C3%ABblico+como+privados+sobre+los+ejes+de+planeaci%C3%B3n+e+implementaci%C3%B3n+de+proyectos+tur%C3%ADsticos.&dq=Capacitar+a+los+actores+involucrados+tanto+p%](https://www.google.com/search?q=Capacitar+a+los+actores+involucrados+tanto+p%C3%ABblico+como+privados+sobre+los+ejes+de+planeaci%C3%B3n+e+implementaci%C3%B3n+de+proyectos+tur%C3%ADsticos.&dq=Capacitar+a+los+actores+involucrados+tanto+p%C3%ABblico+como+pri)
- Verdad con Tinta. (2019). Miseria en medio de cactus turísticos. Disponible en: <https://verdadcontinta.com/2019/07/18/miseria-en-medio-de-cactus-turisticos/>
- Viviana de los Ángeles, S.-D., López-Ponce, M. E., & Barroso-Tanoira, F. G. (29 de Diciembre de 2023). Estrategias de comercialización para artesanos del tramo 2 del tren maya. Un estudio en el segmento Calkiní-Hecelchakán-Tenabo, en el sureste de México. Disponible en: <https://revistas.ubp.edu.ar/index.php/revista-ciencias-empresariales/article/view/480/565>



DETERMINANTES DE LA INTENCIÓN DE USO DE LA BANCA DIGITAL EN JÓVENES DE POTOSÍ, BOLIVIA: UN ANÁLISIS CUANTITATIVO MEDIANTE PLS-SEM

DETERMINANTS OF DIGITAL BANKING USAGE INTENTION AMONG
YOUTH IN POTOSÍ, BOLIVIA: A QUANTITATIVE ANALYSIS USING PLS-SEM

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Alberto Camata Rosa Linda¹, Jancko Choque Claudia²

Flores Lopez Jhovana³, Apaza Coro, Omar Freddy⁴

¹Carrera de Ingeniería Comercial
Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF)

Correspondencia de la autora: lindaalbertocamata@gmail.com¹

Potosí - Bolivia

DETERMINANTES DE LA INTENCIÓN DE USO DE LA BANCA DIGITAL EN JÓVENES DE POTOSÍ, BOLIVIA: UN ANÁLISIS CUANTITATIVO MEDIANTE PLS-SEM

² Jancko Choque Claudia

Carrera de Ingeniería Comercial
Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF)
Claudiajanckochoque12@gmail.com
Potosí – Bolivia

³ Flores Lopez, Jhovana

Carrera de Ingeniería Comercial
Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF)
jhovanaflores3124@gmail.com
Potosí – Bolivia

⁴ Apaza Coro Omar Freddy

Ingeniero Comercial, M. Sc.
Docente Carrera de Ingeniería Comercial
Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF)
omy.apaza@gmail.com
Potosí – Bolivia

RESUMEN

Este estudio analizó los factores que influyen en la intención de uso de la banca digital entre jóvenes de la Generación Z en Potosí, Bolivia, mediante un enfoque descriptivo-cuantitativo y transversal. Se evaluaron cuatro factores: plataforma bancaria, conveniencia, fiabilidad y promoción, a través de un cuestionario aplicado a 100 participantes con experiencia digital bancaria. El análisis con PLS-Smart reveló que solo la fiabilidad y la plataforma bancaria influyen significativamente en la intención de uso, mientras que conveniencia y promoción no mostraron un impacto estadístico relevante.

Los aspectos más valorados por los usuarios incluyen la seguridad en las transacciones, el profesionalismo en la atención, las recomendaciones del entorno social, la atención en tiempo real, interfaces intuitivas y la rapidez operativa. Estos hallazgos permiten establecer estrategias centradas en la experiencia del usuario y la confianza digital, ofreciendo orientaciones clave para fomentar la adopción y fidelización de los servicios financieros digitales en contextos emergentes.

ABSTRACT

This study analyzed the factors influencing the intention to use digital banking among Generation Z youth in Potosí, Bolivia, using a descriptive-quantitative and cross-sectional approach. Four factors were evaluated: banking platform, convenience, reliability, and promotion, through a questionnaire applied to 100 participants with prior digital banking experience. The analysis using PLS-Smart revealed that only reliability and the banking platform had a significant impact on the intention to use, while convenience and promotion showed no statistically relevant effect.

The most valued aspects by users include transaction security, professionalism in service, social environment recommendations, real-time customer support, intuitive interfaces, and operational speed. These findings provide a basis for developing strategies focused on user experience and digital trust, offering key guidance to promote the adoption and loyalty of digital financial services in emerging contexts.

Palabras Clave: Banca digital, Generación Z, Intención de Uso, PL-SEM, Potosí-Bolivia.

Keywords: Digital banking, Generation Z, Usage intention, PLS-SEM, Potosí-Bolivia

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el avance tecnológico ha impulsado una transformación significativa en el sector financiero, permitiendo la expansión de los servicios bancarios a través de plataformas digitales que han mejorado notablemente su accesibilidad, eficiencia y alcance (Zotea, 2021). Esta transformación digital ha redefinido la forma en que los usuarios interactúan con las instituciones financieras, siendo la Generación Z uno de los grupos más receptivos y activos en la adopción de estos servicios.

La rápida incorporación de la banca digital entre los jóvenes obedece a la posibilidad de gestionar sus finanzas de forma inmediata, cómoda y eficiente desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Como indica la Wells Fargo Bank NA (2023), la banca en línea permite a los usuarios administrar sus recursos con agilidad, aunque no necesariamente cubre todas sus necesidades financieras. Esta dualidad plantea interrogantes clave sobre los factores que realmente motivan el uso sostenido de estas plataformas.

Investigaciones previas, como el estudio de Apaza et al., (2025) sobre las cajas de ahorro en Potosí, destacan que la fiabilidad y el trato al cliente son esenciales para la lealtad de los usuarios en los servicios bancarios tradicionales. Estos factores también pueden ser clave en la adopción de la banca digital, sugiriendo que la calidad del servicio, tanto físico como digital, influye en la decisión de seguir utilizando estos servicios.

La presente investigación analiza la intención de uso de la banca digital entre jóvenes de la Generación Z, enfocándose en cuatro factores: plataforma bancaria digital, conveniencia, fiabilidad y promoción. Se busca identificar cuáles de estos factores influyen en la adopción y uso continuado de los servicios financieros digitales.

Los resultados esperados proporcionarán evidencia empírica que permitirá a las entidades bancarias diseñar estrategias más eficaces, basadas en los factores que impulsan el uso de la banca digital entre los jóvenes, en un entorno financiero en constante evolución. Como advierte Sangbu (2025): "El mundo digital no espera: evoluciona rápidamente. Aquellos que no se adaptan corren el riesgo de quedar rezagados". Esta afirmación resalta la necesidad de comprender los motores de adopción digital, un desafío que también enfrenta Bolivia, y al cual esta investigación busca contribuir con conocimiento relevante y contextualizado.

2. REVISION DE LITERATURA

Banca Digital

La banca digital representa una evolución sustancial del sistema financiero tradicional mediante la incorporación de tecnologías basadas en internet. Según Ticona (2023), este modelo supera la simple digitalización de servicios bancarios convencionales, al integrar operaciones completamente virtualizadas mediante plataformas web y aplicaciones móviles, facilitando la interacción remota, segura y eficiente con los servicios financieros.

Plataforma Bancaria

Las plataformas bancarias digitales han evolucionado en diseño, funcionalidad y personalización. Simran et al. (2021) analizaron cómo la incorporación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el IoT, ha permitido ofrecer experiencias más intuitivas y adaptadas a las necesidades del usuario. Su estudio mostró que el uso de dispositivos móviles, pulseras inteligentes y smartwatches como canales de interacción facilita la recopilación de datos en tiempo real, mejorando la personalización de servicios y la experiencia del cliente.

Conveniencia

Uno de los principales atractivos de la banca digital es la conveniencia que ofrece a los usuarios. Esta se manifiesta en la disponibilidad permanente de los servicios, la eliminación de barreras geográficas y horarias, la eficiencia en la atención a necesidades financieras y la autonomía en la gestión de operaciones (Simran , Liaqat , M. Kabir, & Md Al-Emran, 2021). La posibilidad de realizar transacciones sin depender de horarios establecidos convierte a la conveniencia en un factor decisivo para la adopción de estos servicios, especialmente entre usuarios jóvenes y tecnológicamente familiarizados.

Fiabilidad

La fiabilidad es un factor clave en la adopción y uso continuado de plataformas bancarias digitales. Según Medina et al. (2020), se refiere a la capacidad del sistema para ofrecer servicios seguros y consistentes, creando un entorno de confianza crucial para el usuario. Rupal y Singh (2023), en un estudio longitudinal, demostraron que la percepción de fiabilidad influye directamente en la adopción inicial y la frecuencia de uso, indicando que un aumento del 10% en la percepción de fiabilidad puede elevar un 23% la utilización de servicios digitales, subrayando su importancia estratégica para las instituciones bancarias.

Promoción

Las estrategias promocionales son clave para la difusión y adopción de la banca digital, especialmente entre los jóvenes. Zotea Fuentes (2021) mostró en su proyecto para Banco Azteca que las campañas informativas dirigidas a diferentes segmentos aumentaron en un 34% la tasa de adopción de servicios digitales en los primeros seis meses, destacando el impacto de una comunicación efectiva en la aceptación tecnológica.

En consecuencia, se proponen las siguientes hipótesis:

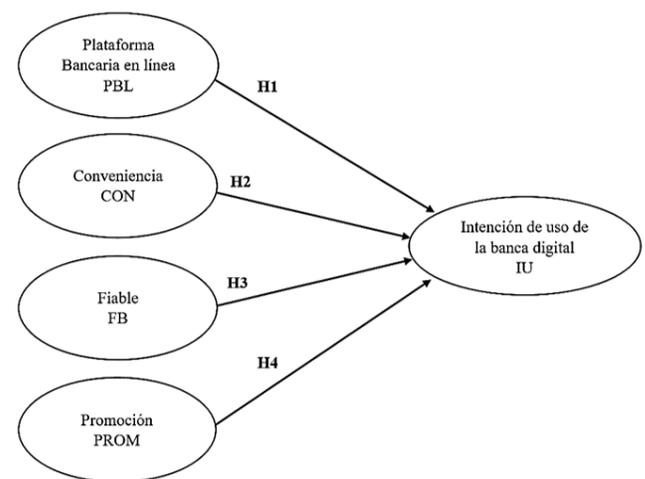
H1: La plataforma bancaria digital se asocia positivamente con la intención de uso de la banca digital.

H2: La conveniencia de los servicios bancarios digitales influye significativamente en la intención de uso de la banca digital.

H3: La percepción de fiabilidad tiene un impacto positivo en la intención de uso de la banca digital.

H4: Las estrategias promocionales se relacionan positivamente con la intención de uso de la banca digital.

Figura 1: Constructo de la investigación



Fuente: Elaboración propia en base a (Geraldo & Wagner, 2017)

3. METODOLOGÍA

La investigación adoptó un diseño descriptivo-cuantitativo con enfoque transversal. El enfoque según Medina et al. (2023) descriptivo permitió capturar las percepciones de los usuarios sobre la banca digital, mientras que el cuantitativo facilitó el análisis de variables sociodemográficas como género, edad y generación. El enfoque transversal permitió obtener una instantánea de la situación en un momento específico (Cohen & Gomez, 2023)

La población objetivo estuvo compuesta por individuos de la Generación Z (nacidos entre 1997 y 2009), con edades entre 18 y 28 años, excluyendo a los me-

nores de edad por restricciones legales asociadas al uso de servicios bancarios digitales (González & Landero, 2021).

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, seleccionando 100 participantes adultos con experiencia en banca digital (61% mujeres, 39% hombres). La recolección de datos se realizó entre octubre de 2024 y marzo de 2025 en Potosí, Bolivia, mediante Google Forms. El cuestionario constaba de 19 preguntas divididas en seis secciones: la primera para caracterizar a los encuestados (género, edad, ingreso promedio, educación y ocupación), y las demás para evaluar plataforma bancaria en línea (3 preguntas), conveniencia (4), fiabilidad (4) y promoción (3).

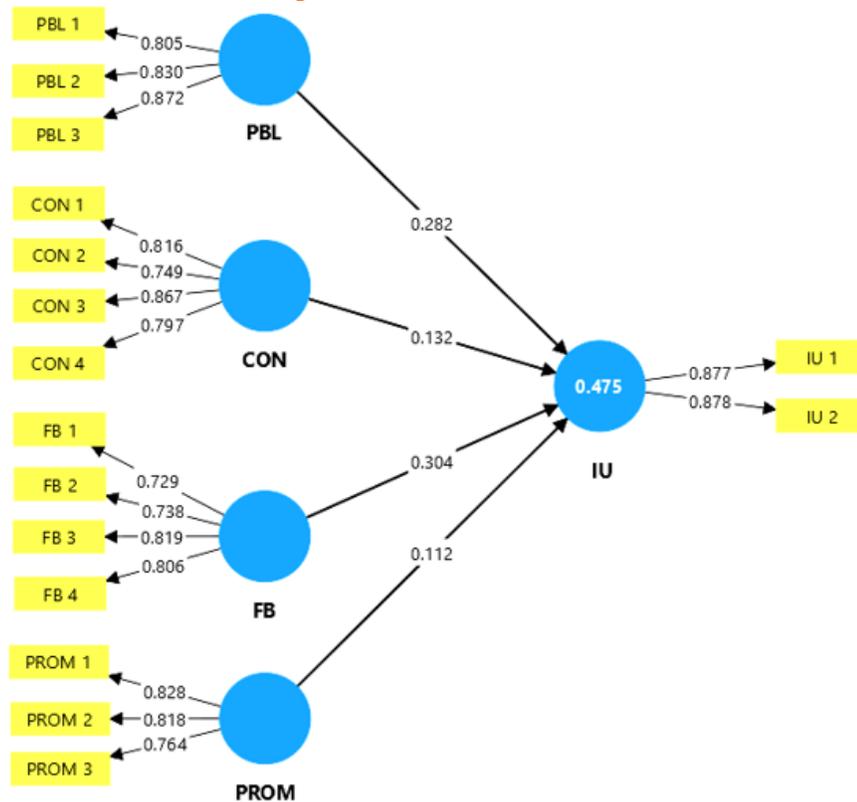
El procesamiento de los datos iniciales se realizó con Excel, y para los análisis estadísticos se empleó PLS Smart versión 4.1.1.2, debido a su eficacia comprobada en estudios sobre comportamiento de

usuarios en plataformas digitales (Ammad, Alaloul Salah, Saad, & Qureshi, 2021). Se utilizaron las siguientes técnicas analíticas: medidas de proporción para los perfiles sociodemográficos (Gonçalves, Gonçalves, & Marques, 2021), estadísticas descriptivas para las tendencias centrales (Sucasaire Pilco, 2021), coeficiente alfa de Cronbach para evaluar la fiabilidad de los constructos, fiabilidad compuesta (ρ_a y ρ_c) para la consistencia de las escalas, AVE para la validez convergente y matriz HTMT para la validez discriminante.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados del análisis de datos realizado con PLS Smart, que permitió identificar los factores clave en la adopción y uso de la banca digital. Primero, se construyó el modelo y se evaluó la fiabilidad de los ítems y constructos para asegurar la consistencia y validez de las mediciones.

Figura 2: Modelo Estructural



Fuente: Elaboración propia mediante el software PLS Smart

La figura presentada ilustra la fiabilidad individual de los ítems propuestos para cada factor. Según Hair Jr. et al. (2021) un ítem con una carga factorial entre 0,4 y 0,708 debe ser considerado para su posible eliminación, ya que esto contribuye a mejorar la fiabilidad interna del modelo. El análisis de nuestras variables confirmó que los valores se encontraban dentro de los rangos recomendados.

En cuanto a la multicolinealidad, se evaluaron los Factores de Inflación de Varianza (VIF), cuyos re-

sultados variaron entre 1.381 (PROM 1) y 2.339 (CON 3), permaneciendo por debajo del valor crítico de 5, que según Abu Talib et al. (2022) constituye el umbral óptimo para la ausencia de colinealidad. Estos valores son aceptables y sugieren que no existe redundancia significativa entre los indicadores del modelo. Esto garantiza que cada constructo captura un aspecto único del fenómeno estudiado, fortaleciendo la validez y fiabilidad del instrumento de medición utilizado en el análisis PLS-SEM.

Tabla 1: Resultados del análisis multicolinealidad

	VIF
CON 1	2.121
CON 2	1.495
CON 3	2.339
CON 4	1.597
FB 1	1.417
FB 2	1.420
FB 3	1.631
FB 4	1.650
IU 1	1.413
IU 2	1.413
PBL 1	1.503
PBL 2	1.678
PBL 3	1.914
PROM 1	1.381
PROM 2	1.492
PROM 3	1.461

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del PLS-SEM

Posteriormente, se evaluó la fiabilidad interna mediante el cálculo del alfa de Cronbach, la fiabilidad

compuesta (CR) y la varianza extraída media (AVE), cuyos resultados se detallan en la tabla 2:

Tabla 2: Fiabilidad y validez de los constructos

	Alfa de Cronbach	Fiabilidad compuesta (rho_a)	Fiabilidad compuesta (rho_c)	Varianza extraída media (AVE)
Conveniencia	0.822	0.828	0.883	0.653
Fiabilidad	0.776	0.785	0.856	0.599
Intención de uso	0.702	0.702	0.870	0.770
Plataforma Bancaria	0.784	0.785	0.874	0.699
Promoción	0.730	0.746	0.845	0.646

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del PLS-SEM

De acuerdo con los criterios propuestos por Pérez León Gabriel, los valores del coeficiente alfa de Cronbach se interpretan del siguiente modo: $\alpha \geq 0.90$ (excelente), $0.80 \leq \alpha < 0.90$ (bueno), $0.70 \leq \alpha < 0.80$ (aceptable), $0.60 \leq \alpha < 0.70$ (cuestionable), $0.50 \leq \alpha < 0.60$ (deficiente) y $\alpha < 0.50$ (inaceptable).

La fiabilidad compuesta se evaluó a través de los coeficientes rho_a y rho_c. El primero asume cargas factoriales iguales entre ítems, mientras que el segundo permite variabilidad entre estas. En ambos casos, se consideran adecuados los valores comprendidos entre 0.70 y 0.90 (Hair, Howard, & Nitzl, 2020). La varianza extraída media (AVE) se utilizó para establecer la validez convergente, considerándose aceptables valores superiores a 0.50, lo que indica que el constructo explica al menos el 50% de la varianza de sus ítems (Loaiza Torres, et al., 2023)

Bajo estos parámetros, el constructo Conveniencia mostró alta consistencia interna y una validez

convergente sólida. Fiabilidad presentó valores elevados en todos los indicadores, lo que confirma su estabilidad. Intención de uso obtuvo el alfa de Cronbach más bajo ($\alpha = 0.702$), pero dentro del umbral aceptable, y compensó con el AVE más alto (0.770), lo que indica una notable validez convergente. Plataforma bancaria demostró consistencia robusta en todos los índices, mientras que Promoción cumplió adecuadamente con los criterios establecidos.

Para evaluar la validez discriminante, se utilizó la matriz de ratios Heterotrait-Monotrait (HTMT), reconocida como uno de los criterios más precisos y exigentes en este tipo de análisis. Los resultados obtenidos fueron inferiores al umbral de 0.85, lo que confirma la adecuada diferenciación conceptual entre los constructos evaluados (Ringle, Sarstedt, Sinkovics, & Sinkovics, 2023). Los valores detallados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: Resultados del análisis de validez discriminante

	Conveniencia	Fiabilidad	Intencion de uso	Plataforma Bancaria	Promocion
Conveniencia	0.808				
Fiabilidad	0.629	0.774			
Intencion de uso	0.588	0.606	0.878		
Plataforma Bancaria	0.751	0.522	0.575	0.836	
Promocion	0.473	0.638	0.457	0.316	0.804

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del PLS-SEM

El análisis de la matriz revela que la mayoría de las relaciones entre constructos cumplen con este criterio se observa que la relación entre Conveniencia y Plataforma Bancaria (0.751) se aproxima al umbral crítico, lo que sugiere cierta superposición conceptual entre estos constructos, aunque aún dentro de límites aceptables. Esto podría indicar que algunos aspectos de la conveniencia son interpretados por los usuarios como características inherentes a la plataforma bancaria, o viceversa.

Los valores de la diagonal principal, que representan la raíz cuadrada del AVE para cada constructo (Conveniencia: 0.808; Fiabilidad: 0.774; Intención de

uso: 0.878; Plataforma Bancaria: 0.836; Promoción: 0.804), superan sus correlaciones con los demás constructos, lo que refuerza la validez discriminante del modelo.

En la siguiente tabla se evalúa el modelo estructural, este proceso inicia con el análisis de la significancia estadística de las hipótesis formuladas, seguido de la evaluación de la fuerza predictiva del modelo. Para ello, se aplicó la técnica no paramétrica de Bootstrapping, utilizada para calcular los valores p asociados a las hipótesis planteadas. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 4.

Tabla 3: Bootstrapping

	Muestra original (O)	Media de la muestra (M)	Desviación estándar (STDEV)	Estadísticos t (O/STDEV)	Valores p	Test de Hipotesis
CON -> IU	0.132	0.127	0.113	1.163	0.245	No se acepta
FB -> IU	0.304	0.298	0.106	2.857	0.004	Se acepta
PBL -> IU	0.282	0.294	0.106	2.673	0.008	Se acepta
PROM -> IU	0.112	0.117	0.100	1.117	0.264	No se acepta

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del PLS-SEM

Para la validación de las hipótesis planteadas en el modelo estructural, se aplicó la técnica no paramétrica de bootstrapping, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$, tal como recomiendan Cabero et al. (2022). Este procedimiento permitió evaluar empíricamente la significancia de las relaciones entre los constructos independientes y la variable dependiente "intención de uso de la banca digital". A continuación, se presenta el análisis detallado de cada hipótesis:

H1: La plataforma bancaria digital se asocia positivamente con la intención de uso de la banca digital.

Los resultados obtenidos respaldan esta hipótesis, evidenciando una relación estadísticamente significativa ($\beta = 0.282$; $p = 0.008$). Estos hallazgos sugieren que una plataforma bancaria clara, rápida y de navegación intuitiva mejora sustancialmente la disposición de los usuarios jóvenes a utilizar servicios digitales. Esta evidencia es coherente con los resultados de Ilmudeen y Bao (2018), quienes concluyen que la usabilidad y el diseño funcional de los portales digitales son factores clave en la aceptación de la banca electrónica, incluso por encima del riesgo o la seguridad percibida.

H2: La conveniencia de los servicios bancarios digitales influye significativamente en la intención de uso.

En contraste con lo planteado, la relación entre conveniencia e intención de uso no resultó significativa ($\beta = 0.132$; $p = 0.245$), motivo por el cual se rechaza la hipótesis H2. Aunque la literatura reconoce la conveniencia como una ventaja competitiva de los canales digitales, en este caso específico, no se identificó como un determinante clave en la decisión de uso. Este resultado sugiere que, para la

Generación Z, la conveniencia representa un atributo básico esperado y no un diferenciador estratégico en la adopción de servicios financieros digitales.

H3: La percepción de fiabilidad tiene un impacto positivo en la intención de uso de la banca digital.

La hipótesis H3 fue aceptada, con un coeficiente significativo ($\beta = 0.304$; $p = 0.004$). Esto indica que la percepción de seguridad en las transacciones, el profesionalismo del servicio y la confianza interpersonal como la recomendación de terceros son determinantes para fomentar la intención de uso. Estos resultados se alinean con los hallazgos de Apaua y Lallie (2022), quienes demostraron que la seguridad percibida y la confianza institucional son predictores significativos del uso de aplicaciones móviles bancarias.

H4: Las estrategias promocionales se relacionan positivamente con la intención de uso de la banca digital.

Esta hipótesis fue rechazada debido a la falta de significancia estadística ($\beta = 0.112$; $p = 0.264$). A pesar de que las estrategias promocionales pueden generar interés inicial, no parecen ejercer un efecto directo sobre la decisión de uso en esta muestra. Esto refuerza la noción de que, para los jóvenes usuarios, factores como la seguridad y la experiencia de usuario pesan más que los incentivos comerciales. Se recomienda explorar en futuras investigaciones si las promociones podrían actuar como moderadores o facilitadores indirectos del comportamiento de adopción.

Por último, el coeficiente de determinación (R^2) del modelo estructural es 0.475, lo que significa que el modelo explica el 47.5% de la varianza observada en la intención de uso de la banca digital.

Tabla 5: R Square

	R cuadrado	R cuadrado-ajustada
Intención de uso	0.475	0.453

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de la PLS-SEM

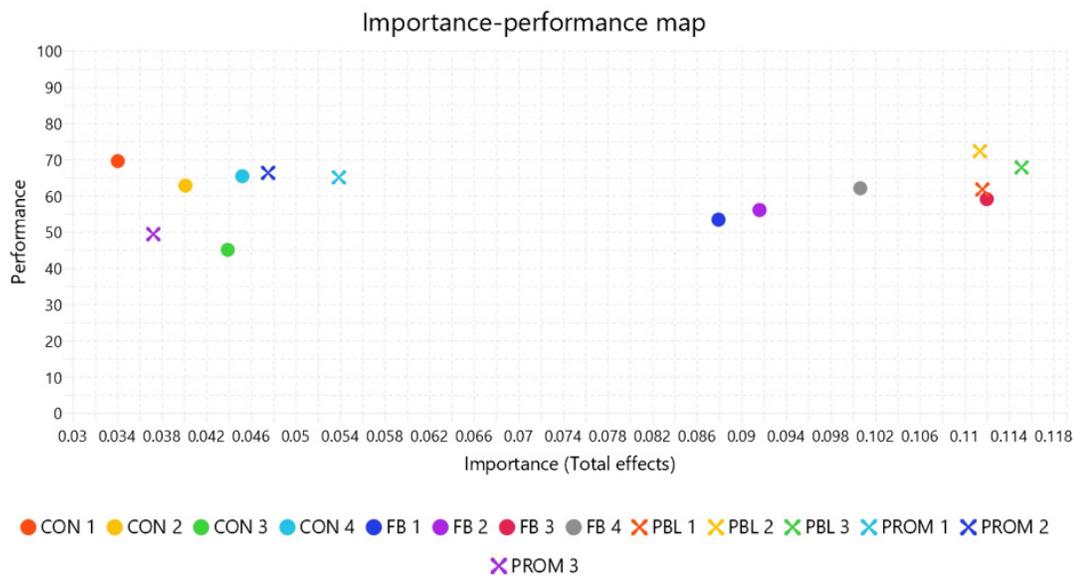
De acuerdo con Hair Jr. et al. (2021), este valor representa un poder explicativo moderado, el cual es aceptable en investigaciones de ciencias sociales que trabajan con variables latentes. Esto indica que, aunque el modelo no explica la totalidad de la variabilidad, posee una capacidad predictiva suficiente para evaluar los factores que influyen en la adopción tecnológica en la población objetivo. Cabe señalar que, conforme aumenta el número de constructos incluidos en el modelo, es común que el valor de R²

también se eleve; sin embargo, en este estudio, el resultado obtenido refleja un equilibrio adecuado entre complejidad y capacidad explicativa. Por tanto, el modelo propuesto es útil para comprender y predecir la intención de uso de la banca digital en la Generación Z de Potosí.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Con el propósito de complementar el análisis estructural y profundizar en la interpretación práctica de los resultados, se aplicó un Mapa de Importancia y Rendimiento (IPMA) mediante el módulo correspondiente del software SmartPLS. Esta herramienta permite identificar los constructos y elementos con mayor influencia práctica en la intención de uso de la banca digital, al considerar tanto la relevancia estadística como el rendimiento percibido por los usuarios.

Figura 3: Mapa de Importancia-Rendimiento



Fuente: Elaboración propia mediante PLS-SEM

El análisis generó una representación bidimensional que clasifica los ítems en cuatro cuadrantes, según su nivel de importancia y desempeño. Como se muestra en la Figura 3, el cuadrante superior derecho que agrupa los indicadores con alta importancia

y alto rendimiento incluye los ítems FB1, FB2, FB3, FB4, PBL1, PBL2 y PBL3, los cuales se consolidan como los más influyentes en la adopción de la banca digital por parte de la Generación Z.

El ítem FB1 refleja la percepción de seguridad y fiabilidad en las operaciones, como transferencias y pagos, destacando que los usuarios valoran plataformas que garanticen transacciones correctas e íntegras. FB2 evidencia el impacto de la confianza interpersonal, al mostrar que las recomendaciones de personas cercanas refuerzan la intención de uso, lo cual resalta la importancia del capital social en la adopción tecnológica. FB3 está vinculado con la percepción de profesionalismo en la plataforma, al generar una imagen de eficiencia y seriedad en la gestión de los servicios digitales. Por su parte, FB4 señala la relevancia de los canales de atención en tiempo real, cuya disponibilidad mejora significativamente la experiencia y satisfacción del usuario.

En relación con la interfaz de la plataforma, PBL1 indica una actitud proactiva de los usuarios al evaluar previamente su usabilidad y claridad. PBL2 resalta la necesidad de operaciones ágiles, siendo la rapidez un atributo decisivo en la experiencia digital. Finalmente, PBL3 subraya la importancia de una estructura informativa clara y accesible, que facilite la toma de decisiones y refuerce la percepción de eficiencia del servicio.

Estos hallazgos ofrecen directrices concretas para que las instituciones financieras optimicen el diseño y gestión de sus plataformas digitales, enfocándose en aquellos atributos que combinan alta importancia percibida con un excelente desempeño. Fortalecer estos aspectos resulta esencial para aumentar la adopción y uso sostenido de los servicios financieros digitales en la Generación Z, en contextos donde la confianza y la experiencia del usuario son factores decisivos.

6. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió identificar y analizar los factores determinantes en la intención de uso de la banca digital por parte de la Generación Z en la ciudad de Potosí, Bolivia, mediante un mode-

lo estructural basado en PLS-SEM. Los resultados empíricos confirmaron que la plataforma digital y la percepción de fiabilidad ejercen un efecto significativo y positivo sobre la intención de uso, mientras que las dimensiones de conveniencia y promoción no demostraron influencia estadísticamente significativa.

Específicamente, se constató que la seguridad en las transacciones, el profesionalismo en la atención, la disponibilidad de soporte en tiempo real, así como la usabilidad, rapidez operativa e interfaz intuitiva de las plataformas bancarias, constituyen elementos clave para consolidar la adopción digital. Estos hallazgos se alinean con investigaciones previas que resaltan la confianza y la experiencia de usuario como pilares fundamentales en la aceptación tecnológica.

Por otro lado, la ausencia de efecto significativo de la conveniencia y promoción sugiere que la Generación Z percibe estos factores como requisitos mínimos o expectativas básicas, por lo que no actúan como motivadores decisivos en la adopción de servicios digitales bancarios. Esta realidad abre una oportunidad para que las instituciones financieras reconsideren y transformen sus estrategias tradicionales de marketing, orientándolas hacia enfoques más innovadores que integren aspectos emocionales, validación social y el rol de influencers o referentes digitales.

En este sentido, se propone la implementación de estrategias innovadoras adaptadas a las características y preferencias de la Generación Z, tales como:

- Programas de educación financiera digital interactiva, desarrollados a través de redes sociales populares entre este segmento (como Instagram, TikTok y YouTube), que utilicen formatos dinámicos videos cortos, infografías, retos virales para incrementar el conocimiento financiero y la confianza en el uso de la banca digital.

- Diseño de incentivos segmentados y personalizados, basados en análisis de comportamiento y preferencias del usuario, que ofrezcan recompensas relevantes, como descuentos exclusivos, cashback, o acceso anticipado a productos, fomentando así la motivación intrínseca y la lealtad hacia los servicios digitales.
- Alianzas estratégicas con influencers locales, microinfluencers y universidades, quienes pueden actuar como referentes confiables y auténticos para el público objetivo, generando un efecto de validación social y reforzando la percepción positiva sobre el uso responsable y seguro de la banca digital.

Estas acciones conforman un marco práctico y contextualizado que puede guiar a las entidades financieras en el diseño de intervenciones efectivas, centradas en la experiencia del usuario y la construcción de confianza, aspectos esenciales para aumentar tanto la adopción como la fidelización de los servicios digitales en la Generación Z.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones amplíen la muestra a otras regiones y grupos etarios, empleando métodos longitudinales o mixtos que permitan analizar la evolución del comportamiento digital en función de variables contextuales, tales como el nivel de alfabetización financiera, la exposición a fraudes cibernéticos y el grado de madurez tecnológica del entorno bancario. Esta línea de investigación contribuirá a la elaboración de modelos estratégicos integrales que impulsen la innovación, competitividad y transformación sostenible del sector financiero en contextos similares.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abu Talib, A. A., Muhamad Ariff, N. R., Sufian Hasim, M., & Hafiz Hanafiah, M. (2022). Sustainable Facilities Management (SFM) initiatives in Malaysia hotel industry: reliability and validity analysis using Smart-PLS. *IOPscience*. doi:10.1088/1755-1315/1067/1/012079
- Ammad, S., Alaloul Salah, W., Saad, S., & Qureshi, A. H. (2021). Personal Protective Equipment (PPE) usage in Construction Projects: A Systematic Review and Smart PLS Approach. *Revista de Ingenieria Ain Shams*, 12, 3495-3507. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1067/1/012079>
- Apaua, R., & Lallie, H. S. (2022). arXiv preprint arXiv:2201.03052. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2201.03052>
- Apaza, C. O., Flores, L. J., Villena, V. L., & Aruquipa, L. J. (2025). Impacto de la Calidad del Servicio en la Lealtad de los Clientes en las Cajas De Ahorro de Potosí, Bolivia: Un Análisis Mediante PLS-SEM. *Revista Veritas De Difusão Científica*, 5(3), 2201-2220. doi: <https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i3.340>
- Aslan, B., Sonmez Cakir, F., & Adiguzel, Z. (2022). El efecto del banco en la adquisición de capacidad y conocimiento digital en el desempeño y la percepción del nativo digital sobre la banca móvil. *Revista de Estudios Empresariales. Segunda Época*. doi:10.17561/REE.N2.2022.6737
- Barreto Vera, C. P., & Cedeño Zambrano, R. M. (2023). Calidad del servicio y satisfacción del cliente en el Banco Pichincha en Portoviejo. *Digital Publisher CEIT*, 8, 490-506. doi:10.33386/593DP.2023.3.1704
- Cabero, A., & G-C.-G. (2022). Digital competencies of technical-professional students. *Campus Virtuales*. doi: <https://doi.org/10.54988/cv.2022.1.1008>
- Celik, K., & Ozkose, H. (2023). Investigation of Factors Affecting Mobile Banking Intention to Use: Extended Technology Acceptance Model. *İşletme Araştırmaları dergisi journal of business*. doi: <https://doi.org/10.20491/isarder.2023.1663>

- Cohen, N., & Gomez, R. G. (2023). Metodología de la Investigación. Editorial Teseo . Obtenido de ISBN: 9789877231908
- Geraldo, G. C., & Wagner, M. E. (2017). Estudo sobre os fatores que afetam a intenção de compras online. *REGE*, 24(2), 181-194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rege.2017.03.005>
- Gonçalves, S., Gonçalves, J., & Marques, C. G. (2021). Manual de Investigação Qualitativa. PAC-TOR – Edições de Ciências Sociais, Forenses e da Educação ISBN edição impressa: 978-989-693-114-8.
- González, R. M., & Landero, H. R. (2021). Diferencias en tolerancia a la frustración entre Baby Boomers, Generación X y Millennials. *Anxiety & Stress*, 27, 89-94. doi: <https://doi.org/10.5093/anyes2021a12>
- Hair, J., Howard, M., & Nitzl, C. (2020). Assessing measurement model quality in PLS-SEM using confirmatory composite analysis. *Journal of Business Research*, 109, 101-110. doi:10.1016/J.JBUSRES.2019.11.069
- Hair, J. J., Hult, T., Ringle, C., Sarstedt, M., Danks, N., & Ray, S. (2021). Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Ilmudeen, A., & Bao, Y. (2018). What obstruct customer acceptance of internet banking? Security and privacy, risk, trust and website usability and the role of moderators. *The Journal of High Technology Management Research*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2018.04.010>
- Loaiza Torres, J., Apaza Coro, O. F., Carvache Franco, O., Miranda Azurduy, F. A., Mendoza Osuna, H. M., Carvache Franco, M., & Carvache Franco, W. (2023). Entrepreneurial Intention Towards F Commerce in Southern Bolivia: A Study Via Structural Equations. *LACCEI*, 1(8). doi:10.18687/LACCEI2023.1.1.924
- Medina Romero, M. A., Hurtado Tiza, D. R., Muñoz Murillo, J. P., Ochoa Cervantez, D. O., & Izundegui Ordoñez, G. (2023). Método mixto de investigación: Cuantitativo y cualitativo. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, 144. doi: <https://doi.org/10.35622/INUDI.B.105>
- Medina, Q. J., Ábrego, A. D., & Echeverría, R. O. (2020). Satisfacción, facilidad de uso y confianza del ciudadano en el gobierno electrónico. *Redalcy*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4560/456065109004/>
- Morales García, X. F., & Zambrano Martínez, L. J. (2023). Revisión de la literatura de las metodologías de ciberseguridad en plataformas bancarias. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, ISSN-e 2550-682X, 8(3), 2618-2634. doi:10.23857/pc.v8i3
- Ringle, C., Sarstedt, M., Sinkovics, N., & Sinkovics, R. (2023). A perspective on using partial least squares structural equation modelling in data articles. *Data in Brief*, 48. doi:10.1016/J.DIB.2023.109074
- Rupal, J., & Singh, R. (1 de 9 de 2023). Evaluación del impacto de la banca digital electrónica en la satisfacción del cliente: una revisión sistemática integral. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 11, 115-125. doi:10.15649/2346030X.3375

- Sangbu, K. (17 de marzo de 2025). Banco Mundial. Obtenido de https://blogs.worldbank.org/es/voices/evolving-to-create-digital-paths-for-all?intcid=ecr_hp_sidekick2_es_ext
- Simran, K. J., Liaqat, A., M. Kabir, H., & Md Al-Emran. (2021). Adopción de canales bancarios digitales en una economía emergente: exploración del papel de las iniciativas en las sucursales. *Journal of Financial Services Marketing*, 26(2), 107-121. doi: <https://doi.org/10.1057/s41264-020-00082-w>
- Ticona, M. (11 de 2 de 2023). La banca digital y su inclusión financiera: Una revisión bibliográfica. Obtenido de <https://investigacionfacefa.unitepc.edu.bo/revistas/index.php/eie/article/view/61/32>
- Wells Fargo Bank NA. (2023). Obtenido de Wells Fargo Bank NA.: <https://handsonbanking.org/es/resources/banca-por-internet-y-banca-movil/>
- Yang, J., Wu, Y., & Huang, B. (2023). Digital finance and financial literacy. *Journal of Banking & Finance*, 156. doi:10.1016/J.JBANKFIN.2023.107005
- Zotea, F. J. (2021). PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN A LA BANCA DIGITAL DE BANCO AZTECA. (U. A. MÉXICO, Ed.) Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/111691>
- Sucasaire Pilco, J. (2021). Estadística descriptiva para trabajos de investigación. Biblioteca Nacional del Perú ISBN 978-612-00-6118-3.

ANEXO

Tabla 6 Indicadores de la investigación

Indicadores	Código	Pregunta	Fuente
INTENCIÓN DE USO	IU1	Intención de usar servicios en línea	(Yang, Wu, & Huang, 2023)
	IU2	Realizar operaciones bancarias en línea	
PLATAFORMA BANCARIA EN LÍNEA	PBL1	Plataforma clara y fácil de usar	(Morales García & Zambra-no Martínez, 2023)
	PBL2	Plataformas rápidas y navegables	
	PBL3	Productos y servicios organizados	
CONVENIENCIA	CON1	Transacciones rápidas y prácticas	(Celik & Ozkose, 2023)
	CON2	Variedad de productos y servicios	
	CON3	Ahorro de tiempo y esfuerzo	
	CON4	Seguimiento claro de transacciones	

FIABILIDAD	FB1	Seguridad en pagos y transferencias	(Barreto Vera & Cedeño Zambrano, 2023)
	FB2	Recomendación por personas de confianza	
	FB3	Profesionalismo en transacciones	
	FB4	Comunicación directa para resolver dudas	
PROMOCIÓN	PROM1	Promociones y descuentos en productos	(Aslan, Sonmez Cakir, & Adiguzel, 2022)
	PROM2	Anuncios de productos de interés	
	PROM3	Uso independiente de anuncios o promociones	

Fuente: Elaboración propia mediante Excel basado al modelo de (Geraldo & Wagner, 2017)

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE LAS IMPRESORAS 3D EN LA ELABORACIÓN DE MODELOS FÍSICOS DE OBRAS HIDRÁULICAS EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF 3D PRINTERS IN THE DEVELOPMENT OF
PHYSICAL MODELS OF HYDRAULIC WORKS IN THE DEPARTMENT OF TARIJA

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Gamarra Mendoza Mario Carmelo¹, Perales Avilés Moisés²

¹Ingeniero Civil, M.Sc.
Investigador Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), Carrera de Ingeniería Civil
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

ORCID: 0000-0003-4486-4815

Correspondencia del autor: mariogamarra@uajms.edu.bo¹, mcgamarramendoza@gmail.com¹

Tarija - Bolivia

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE LAS IMPRESORAS 3D PARA LA ELABORACIÓN DE MODELOS FÍSICOS EN OBRAS HIDRÁULICAS

² **Perales Avilés Moisés**

Ingeniero Civil, Ph.D.

Director Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), Carrera de Ingeniería Civil

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

moisesperales@uajms.edu.bo

moisesperalesaviles@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8067-0773

Tarija, Bolivia

RESUMEN

Este estudio analiza la aplicación de impresoras 3D en la creación de modelos físicos de obras hidráulicas en Tarija, Bolivia. La impresión 3D permite la fabricación rápida y económica de prototipos personalizados, optimizando el diseño y reduciendo costos. Se colaboró con el software WinFLume para diseñar aforadores precisos y personalizados, mejorando la gestión de recursos hídricos. Se utilizaron materiales como PLA y PETG en la impresión 3D para crear componentes detallados y duraderos. La evaluación de estos modelos se realizó con el software Kinovea, que analiza el comportamiento de los fluidos en los modelos hidráulicos, proporcionando datos precisos para ajustar y optimizar los diseños. Los resultados destacan la capacidad de los modelos físicos hidráulicos para simular y estudiar fenómenos como la erosión y sedimentación. Además, se resalta la colaboración con instituciones educativas y de investigación para avanzar en la gestión de riesgos hídricos y sostenibilidad ecológica. En conclusión, la integración de la impresión 3D y herramientas de análisis como Kinovea está transformando la ingeniería hidráulica, ofreciendo nuevas oportunidades para la investigación, desarrollo y educación en este campo.

ABSTRACT

This study analyzes the application of 3D printers in the creation of physical models of hydraulic works in Tarija, Bolivia. 3D printing allows the rapid and economical fabrication of customized prototypes, optimizing design and reducing costs. We collaborated with WinFLume software to design accurate and customized gauges, improving water resource management. Materials such as PLA and PETG were used in 3D printing to create detailed and durable components. The evaluation of these models was performed with Kinovea software, which analyzes the behavior of fluids in hydraulic models, providing accurate data to adjust and optimize designs. The results highlight the capacity of the physical hydraulic models to simulate and study phenomena such as erosion and sedimentation. In addition, collaboration with educational and research institutions is highlighted to advance water risk management and ecological sustainability. In conclusion, the integration of 3D printing and analysis tools such as Kinovea is transforming hydraulic engineering, offering new opportunities for research, development and education in this field.

Palabras Clave: Impresión 3D, Modelos físicos, Hidráulica, Kinovea.

Keywords: 3D Printing, Physical Models, Hydraulics, Kinovea.

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos físicos hidráulicos son herramientas esenciales en el diseño y verificación del funcionamiento de estructuras hidráulicas. Su importancia se explica en detalle a continuación:

Simulación Realista: Los modelos físicos permiten simular de manera realista el comportamiento del agua en diferentes escenarios, lo que ayuda a los ingenieros a entender cómo interactuará una estructura con su entorno. (Rocha Felices, 2003)

Los modelos hidráulicos deben definir sus escalas estableciendo las fuerzas preponderantes del modelo. Así, en los flujos en régimen libre (aliviaderos y descargas por desagües de fondo de presas, ríos y canales, etc.) suele ser imprescindible tomar en cuenta la acción de la gravedad, es decir además de la invariancia del número de Euler se ha de asegurar la del número de Froude. (Mateos, 2000)

Optimización del Diseño: Al probar diferentes diseños en un modelo físico, se pueden identificar y corregir problemas antes de la construcción, optimizando así el diseño final para mejorar su eficiencia y funcionalidad. (Barrios Córdova, Vaquera Huerta, Romero Padilla, Crossa, & Burguete Hernández, 2020)

Pruebas de Capacidad Hidráulica: Los modelos físicos se utilizan para determinar la capacidad hidráulica de estructuras como canales, tuberías y vertederos, asegurando que puedan manejar los caudales previstos sin fallos. (López Fernández, Ruiz Díaz Cardoso, de Dios, & Liscia, 2018)

Interacción con Modelos Computacionales: Complementan los modelos computacionales, proporcionando datos empíricos que mejoran la precisión y confiabilidad de las simulaciones numéricas. (Flores, Servín, & Mendoza, 2019)

Diseño de Vertederos y Presas: Determinación de coeficientes de descarga y optimización del diseño

para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente. (Bautista Hernández, Palacios Vélez, Jiménez Magaña, & Arteaga Tovar, 2021)

Los modelos físicos hidráulicos son una herramienta invaluable en la ingeniería hidráulica, proporcionando datos precisos y confiables que mejoran el diseño, la seguridad y la eficiencia de las estructuras hidráulicas.

Una referencia importante del abordaje de los modelos físicos hidráulicos a escala reducida representa JBA Trust, que ha revolucionado el entendimiento de fenómenos hidráulicos mediante el uso de modelos hidráulicos reducidos, facilitando una comprensión más profunda y precisa de los procesos fluviales y costeros. Aquí se detalla cómo lo han logrado:

Modelos Físicos Reducidos.- JBA Trust utiliza modelos físicos a escala reducida para simular y estudiar el comportamiento del agua en diferentes escenarios. Estos modelos permiten observar y analizar fenómenos como la erosión, sedimentación, y el impacto de estructuras hidráulicas en un entorno controlado. (JBA Trust, 2022)

Investigación y Educación.- La organización colabora con universidades, industrias y gobiernos para llevar a cabo investigaciones avanzadas en gestión de riesgos hídricos y sostenibilidad ecológica (JBA Trust, 2022). Los modelos físicos reducidos son una herramienta clave en estos estudios, proporcionando datos empíricos que complementan los modelos computacionales.

Recursos Educativos.- JBA Trust también desarrolla recursos educativos y materiales didácticos basados en sus investigaciones con modelos físicos. Estos recursos ayudan a estudiantes y profesionales a entender mejor los principios de la hidráulica y la gestión del agua. (JBA Trust, 2022)

La incorporación de la impresión 3D ha revolucionado los modelos físicos hidráulicos en varios aspectos clave. Se explican los factores más importantes:

La impresión 3D permite la creación de componentes con un nivel de precisión y detalle que sería difícil de lograr con métodos tradicionales. El empleo de modelos físicos hidráulicos que utilizan elementos fabricados con impresoras 3D es de gran importancia en la ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos. Aquí se destacan algunas de las principales razones:

Prototipado Rápido y Económico

Agilidad en el Desarrollo: La impresión 3D permite la creación rápida de prototipos, lo que facilita la iteración y mejora del diseño en menos tiempo y con menor costo comparado con métodos tradicionales¹. (Cruz, 2022)

Reducción de Costos: La fabricación aditiva reduce significativamente los costos de producción y transporte, especialmente para modelos a pequeña escala o en ubicaciones remotas¹. (Cruz, 2022)

Personalización y Flexibilidad

Diseños Personalizados: La impresión 3D permite fabricar modelos con geometrías complejas y personalizadas que se adaptan a las condiciones específicas del sitio de estudio². (Stefano, Prieto Fernández, & León Méndez, 2021)

Materiales Diversos: Se pueden utilizar diferentes materiales para imprimir los modelos, adaptándose a las necesidades específicas de resistencia y durabilidad². (Stefano, Prieto Fernández, & León Méndez, 2021)

Investigación y Desarrollo

Innovación Tecnológica: La combinación de impresión 3D y modelación hidráulica fomenta la innovación en el diseño de estructuras hidráulicas, permitiendo experimentar con nuevas formas y configuraciones.

Estudios Avanzados: Facilita la realización de investigaciones avanzadas y la validación de teorías hidráulicas mediante modelos físicos precisos.

Educación y Capacitación

Herramienta Didáctica: Los modelos impresos en 3D son excelentes herramientas educativas, permitiendo a estudiantes y profesionales visualizar y comprender mejor los conceptos hidráulicos y las dinámicas de flujo.

Capacitación Práctica: Proporcionan una plataforma práctica para la capacitación en técnicas de modelación y análisis hidráulico.

Sostenibilidad y Eficiencia

Minimización de Desperdicios: La fabricación aditiva minimiza el desperdicio de material en comparación con los métodos tradicionales de manufactura.

Sostenibilidad: La capacidad de producir modelos localmente reduce la huella de carbono asociada con el transporte y la logística.

El uso de modelos físicos hidráulicos fabricados con impresoras 3D ofrece numerosas ventajas, desde la reducción de costos y tiempos de desarrollo hasta la mejora en la precisión y personalización de los diseños. Esta tecnología no solo optimiza el proceso de diseño y construcción de estructuras hidráulicas, sino que también impulsa la innovación y la sostenibilidad en la ingeniería hidráulica.

Gracias a la impresión 3D, el diseño y empleo de aforadores utilizando el software WinFLume (Brigido Morales, Carrillo García, Prado Hernández, & Flores Velázquez, 2024) (USDA United States Department of Agriculture, 2024), representa un avance en la ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos. Su importancia y las ventajas de combinar ambas tecnologías se detalla a continuación:

Importancia del Diseño y Empleo de Aforadores

1. Precisión en la Medición de Caudales

- Exactitud: Los aforadores diseñados con WinFLume permiten medir con precisión el caudal de agua en canales y ríos, lo cual es esencial para la gestión eficiente del agua.
- Calibración: WinFLume facilita la calibración de los aforadores, asegurando que las mediciones sean consistentes y fiables.

2. Optimización del Diseño

- Personalización: El software permite diseñar aforadores personalizados que se ajusten a las condiciones específicas del sitio, mejorando la eficiencia y la funcionalidad.
- Simulación: WinFLume permite simular diferentes escenarios y condiciones de flujo, ayudando a optimizar el diseño antes de la construcción.

3. Gestión de Recursos Hídricos

- Monitoreo y Control: Los aforadores son esenciales para el monitoreo continuo de los recursos hídricos, permitiendo una gestión más efectiva y sostenible.
- Planificación: Datos precisos de caudal son fundamentales para la planificación y distribución del agua, especialmente en regiones con recursos hídricos limitados.

4. Investigación y Desarrollo

- Estudios Hidráulicos: Los aforadores diseñados con WinFLume son utilizados en estudios hidráulicos para entender mejor el comportamiento del agua en diferentes condiciones.
- Innovación: El software facilita la innovación en el diseño de aforadores, permitiendo la implementación de nuevas tecnologías y métodos.

5. Cumplimiento Normativo

- Regulaciones: El uso de aforadores diseñados con WinFLume ayuda a cumplir con las regulaciones y estándares establecidos por las autoridades en la gestión de recursos hídricos.
- Auditorías: Facilita la realización de auditorías y la verificación de datos, asegurando la transparencia y la responsabilidad en la gestión del agua.

Posibilidades de la Impresión 3D en la Diversidad de Modelos

1. Prototipado Rápido

- Agilidad: La impresión 3D permite crear prototipos de aforadores de manera rápida y económica, facilitando la iteración y mejora del diseño.
- Pruebas y Ajustes: Los modelos impresos en 3D pueden ser probados y ajustados fácilmente, lo que acelera el proceso de desarrollo.

2. Personalización y Flexibilidad

- Diseños Personalizados: La impresión 3D permite fabricar aforadores con geometrías complejas y personalizadas que se adapten a condiciones específicas del sitio.
- Materiales Diversos: Se pueden utilizar diferentes materiales para imprimir los aforadores, adaptándose a las necesidades específicas de resistencia y durabilidad.

3. Reducción de Costos

- Eficiencia Económica: La impresión 3D reduce los costos de fabricación y transporte, especialmente para modelos a pequeña escala o en ubicaciones remotas.
- Menor Desperdicio: La fabricación aditiva minimiza el desperdicio de material en comparación con los métodos tradicionales de manufactura.

4. Innovación y Experimentación

- Nuevas Tecnologías: La combinación de WinFLume y la impresión 3D fomenta la innovación en el diseño de aforadores, permitiendo experimentar con nuevas formas y configuraciones.
- Investigación Avanzada: Facilita la realización de investigaciones avanzadas y la validación de teorías hidráulicas mediante modelos físicos precisos.

El uso combinado de WinFLume y la impresión 3D ofrece una metodología robusta y eficiente para el diseño y empleo de aforadores, mejorando la precisión, personalización y eficiencia en la gestión de recursos hídricos. Esta sinergia permite avanzar en la investigación y desarrollo de soluciones hidráulicas innovadoras y sostenibles.

La aplicación de modelos hidráulicos físicos ha avanzado significativamente con la incorporación de la tecnología de impresión 3D, utilizando materiales como PLA, PETG y resina. Estos materiales permiten la creación de componentes detallados y precisos, optimizando tanto el tiempo como los costos de producción.

El PLA (ácido poliláctico) es conocido por su facilidad de impresión y su origen en recursos renovables, lo que lo hace biodegradable en condiciones adecuadas. Es ideal para prototipos y modelos que no requieren alta resistencia mecánica. Por otro lado, el PETG (tereftalato de polietileno con glicol) ofrece una mayor durabilidad y resistencia a la humedad y productos químicos, siendo adecuado para piezas funcionales que necesitan soportar condiciones más exigentes. La resina, utilizada en impresoras 3D de estereolitografía (SLA), proporciona una alta resolución y detalles finos, siendo perfecta para modelos que requieren una precisión extrema.

La evaluación de estos modelos se realiza mediante el uso del software Kinovea, una herramienta de análisis de video que permite medir y analizar el

comportamiento de los fluidos en los modelos hidráulicos. Kinovea facilita la captura de datos precisos sobre el flujo y la dinámica del agua, permitiendo a los ingenieros ajustar y optimizar los diseños de manera eficiente.

La integración de la impresión 3D con materiales como PLA y PETG, junto con la evaluación mediante Kinovea, está transformando la manera en que se diseñan y prueban los modelos hidráulicos físicos, ofreciendo nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo en el campo de la ingeniería hidráulica.

El software Kinovea (Chartman & Contributors, 2024), conocido principalmente por su uso en el análisis de movimientos deportivos, también tiene aplicaciones significativas en la evaluación de fenómenos hidráulicos. Aquí te explico algunas de sus aplicaciones y su importancia:

Precisión y Confiabilidad

Kinovea proporciona mediciones precisas y confiables, esenciales para la validación de modelos y la toma de decisiones informadas en proyectos hidráulicos².

Accesibilidad y Costo

Es un software gratuito y de código abierto, lo que lo hace accesible para investigadores, estudiantes y profesionales sin incurrir en altos costos¹.

Facilidad de Uso

Su interfaz intuitiva y herramientas de análisis fáciles de usar permiten a los usuarios realizar estudios complejos sin necesidad de equipos costosos o especializados².

Versatilidad

Kinovea es versátil y se puede aplicar en una amplia gama de estudios hidráulicos, desde la investigación académica hasta la implementación práctica en proyectos de ingeniería³.

Integración con Otros Sistemas

Los datos obtenidos con Kinovea se pueden exportar a hojas de cálculo y otros programas de análisis, facilitando la integración con otros sistemas de gestión y análisis de datos.

El software Kinovea es una herramienta poderosa y accesible que ha revolucionado la evaluación de fenómenos hidráulicos, proporcionando datos precisos y confiables que son esenciales para la investigación y la gestión eficiente de los recursos hídricos.

Entre los artículos referidos al tema y revisados en el contexto internacional se ha encontrado diversos que tratan la temática de las obras hidráulicas fabricadas con impresoras 3D, que contribuyen con el desarrollo de un modelo físico hidráulico, sin embargo, no se ha encontrado alguna que emplee a la vez el software Kinovea. Se destacan del artículos 3D Printing Technique for Experimental Modeling of Hydraulic Structures: Exemplary Scaled Weir Models (Oertel & Shen, 2022), que ha sido aplicado a un tipo de vertedero escalado, impresora 3D Creality Ender 3, material PLA (ácido poliláctico), software de diseño 3D AutoCAD.

En nuestro país y específicamente en el Departamento de Tarija, en la actualidad los estudios de futuras obras hidráulicas a través de modelos físicos son demasiado caros, debido a la tecnología y escala que se aplica. Por ello la modelación de obras de infraestructura hidráulica y/o los componentes a escala reducida e incorporando nuevo software e impresión 3D, servirá para elaborar modelos físicos a escala reducida, diseñados en el Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la UAJMS, los cuales serán de vital importancia no solo por la reducción de los costos que ello implica, sino también por el aporte al desarrollo académico y el estudiar la probabilidad de cuál será el comportamiento de este tipo de obras a pequeña escala y costos reducidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo físico hidráulico adoptado es de la invariancia del número de Froude, por la preponderancia de las fuerzas de gravedad en el modelo, al ser de flujo libre. El tipo de investigación que se desarrolla al crear una metodología para la modelación hidráulica de un vertedero tipo Creager fabricado con impresora 3D y la estimación de velocidades y trayectorias de flujo utilizando el software Kinovea se clasifica como investigación experimental con un componente de análisis computacional. Se detalla el por qué a continuación:

Investigación Experimental

Definición: Implica la manipulación de variables independientes para observar y medir sus efectos sobre variables dependientes en un entorno controlado.

Características:

Control de Variables: Se controlan y manipulan variables como el caudal de agua y las dimensiones del vertedero.

Repetibilidad: Los experimentos pueden repetirse para verificar la consistencia de los resultados.

Entorno Controlado: Se realiza en un entorno controlado, como un canal de flujo de vidrio reforzado.

Aplicación en el Proyecto de Investigación:

Manipulación de Variables: Caudal de agua, diseño del vertedero.

Medición de Resultados: Comportamiento del flujo sobre el vertedero, variación de velocidades a lo largo del sistema de canal y vertedero.

Análisis Computacional

Definición: Utiliza herramientas y software para analizar datos y simular fenómenos físicos.

Características:

Procesamiento de Datos: Emplea software para analizar y visualizar datos experimentales.

Simulación y Modelado: Permite simular condiciones que pueden ser difíciles de replicar físicamente.

Aplicación en el Proyecto:

Software Kinovea: Utilizado para estimar velocidades y trayectorias de flujo a partir de videos del experimento.

Análisis de Datos: Kinovea permite analizar el movimiento del agua sobre el vertedero, proporcionando datos precisos sobre velocidades y trayectorias.

Vertedero Tipo Creager fabricado con Impresora 3D

Variable Independiente: Caudal de agua, diseño del vertedero.

Variable Dependiente: Velocidades y trayectorias del flujo.

Entorno Controlado: Canal de flujo de vidrio reforzado fabricado e instalado en el CIAGUA con instrumentos de medición.

Herramienta Computacional: Kinovea para análisis de video.

Este tipo de investigación combina la experimentación física con el análisis computacional, proporcionando una metodología robusta para estudiar y entender el comportamiento hidráulico de vertederos tipo Creager. La integración de herramientas como Kinovea permite obtener datos detallados y precisos, mejorando la calidad y la profundidad del análisis.

La metodología en detalle elaborada y aplicada consiste de los siguientes pasos:

Metodología para Medir Velocidad y Trayectorias del Flujo en Modelos Hidráulicos con Impresora 3D

Todo el sistema que se ha implementado para realizar las mediciones y estimaciones de los parámetros hidráulicos ha sido planteado para poder garantizar mediciones adecuadas a través de todos los componentes. El siguiente gráfico ilustra el esquema general de la metodología seguida para poder garantizar mediciones con cada uno de los componentes del proyecto de investigación:

Figura 1: Esquema de la investigación de modelos hidráulicos con elementos fabricados con impresora 3D



Los pasos seguidos se detallan a continuación:

1. Diseño de un Canal de Vidrio con SolidWorks

Modelado del Canal:

- Se ha empleado SolidWorks para diseñar un canal de vidrio con dimensiones específicas.

- Se han revisado y elaborado detalles para la conexión del canal con la mesa de sujeción y los elementos de impresora 3D.

Simulación:

- Realiza simulaciones de flujo en SolidWorks para verificar el diseño y optimizar la geometría del canal.

Figura 2: Placa de características técnicas de la Bomba CityPumps IC 100 MH empleada para el sistema de recirculación



Para realizar el diseño hidráulico del canal se han analizado las velocidades de ingreso para elegir el diámetro de la boquilla de acceso al sistema del canal, es así que el diámetro de 2 pulgadas es el que

muestra un valor de la velocidad razonable y equivalente a 0.08 m/s y 0.74 m/s, para los caudales mínimo de 10 l/min y máximo de 90 l/min, respectivamente, que alimenta el sistema de bombeo.

Tabla 1: Tabla de elección de boquilla de acceso del agua bombeada

Boquilla Salida		Q (l/min)	Velocidad (m/s)
Diámetro (") =	1	10	0.32892087
Diámetro (mm) =	25.4	90	2.96028786
Boquilla Salida		Q (l/min)	Velocidad (m/s)
Diámetro (") =	1.5	10	0.14618705
Diámetro (mm) =	38.1	90	1.31568349
Boquilla Salida		Q (l/min)	Velocidad (m/s)
Diámetro (") =	2	10	0.08223022
Diámetro (mm) =	50.8	90	0.74007197

El sistema de recirculación recorrerá un sector de sección rectangular que también deberá preservar velocidades de flujo adecuadas, esto se puede lograr con 2 secciones, una de 0.3 m x 0.1 m y otra con

0.1 m x 0.1 m, como se puede observar en la siguiente tabla, en donde figuran velocidades que fluctúan entre valores comprendidos entre 0.0056 m/s hasta 0.15 m/s.

Tabla 2: Tabla de elección de dimensiones del canal de vidrio que coincide con el sistema de recirculación

Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.45	0.30	0.1350	0.0012	0.270	1620.0
	0.25	0.1125	0.0015	0.225	1350.0
	0.20	0.0900	0.0019	0.180	1080.0
	0.15	0.0675	0.0025	0.135	810.0
	0.10	0.0450	0.0037	0.090	540.0
	0.05	0.0225	0.0074	0.045	270.0

Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.45	0.30	0.1350	0.0111	0.270	180.0
	0.25	0.1125	0.0133	0.225	150.0
	0.20	0.0900	0.0167	0.180	120.0
	0.15	0.0675	0.0222	0.135	90.0
	0.10	0.0450	0.0333	0.090	60.0
	0.05	0.0225	0.0667	0.045	30.0

Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.3	0.30	0.0900	0.0019	0.180	1080.0
	0.25	0.0750	0.0022	0.150	900.0
	0.20	0.0600	0.0028	0.120	720.0
	0.15	0.0450	0.0037	0.090	540.0
	0.10	0.0300	0.0056	0.060	360.0
	0.05	0.0150	0.0111	0.030	180.0

Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.3	0.30	0.0900	0.0167	0.180	120.0
	0.25	0.0750	0.0200	0.150	100.0
	0.20	0.0600	0.0250	0.120	80.0
	0.15	0.0450	0.0333	0.090	60.0
	0.10	0.0300	0.0500	0.060	40.0
	0.05	0.0150	0.1000	0.030	20.0

Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.2	0.30	0.0600	0.0028	0.120	720.0
	0.25	0.0500	0.0033	0.100	600.0
	0.20	0.0400	0.0042	0.080	480.0
	0.15	0.0300	0.0056	0.060	360.0
	0.10	0.0200	0.0083	0.040	240.0
	0.05	0.0100	0.0167	0.020	120.0

Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.2	0.30	0.0600	0.0250	0.120	80.0
	0.25	0.0500	0.0300	0.100	66.7
	0.20	0.0400	0.0375	0.080	53.3
	0.15	0.0300	0.0500	0.060	40.0
	0.10	0.0200	0.0750	0.040	26.7
	0.05	0.0100	0.1500	0.020	13.3

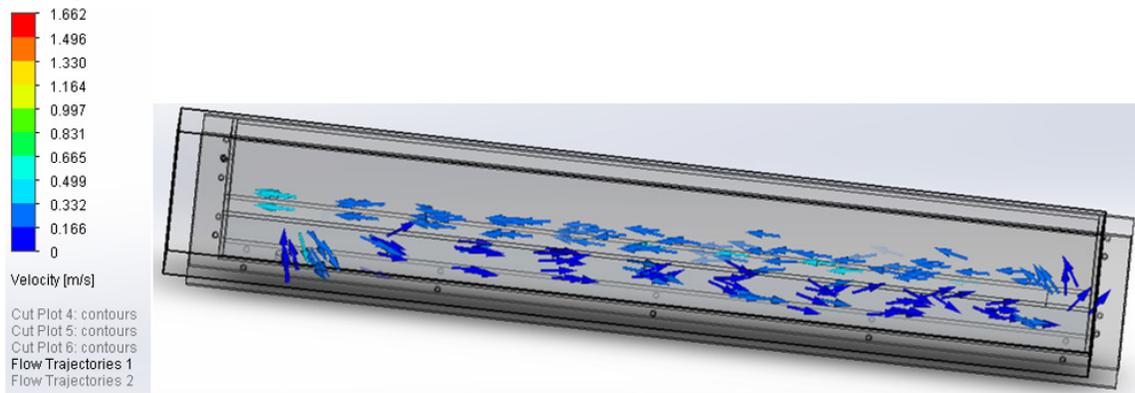
Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.1	0.30	0.0300	0.0056	0.060	360.0
	0.25	0.0250	0.0067	0.050	300.0
	0.20	0.0200	0.0083	0.040	240.0
	0.15	0.0150	0.0111	0.030	180.0
	0.10	0.0100	0.0167	0.020	120.0
	0.05	0.0050	0.0333	0.010	60.0

Ancho (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Volumen (m ³)	Tiempo (s)
0.1	0.30	0.0300	0.0500	0.060	40.0
	0.25	0.0250	0.0600	0.050	33.3
	0.20	0.0200	0.0750	0.040	26.7
	0.15	0.0150	0.1000	0.030	20.0
	0.10	0.0100	0.1500	0.020	13.3
	0.05	0.0050	0.3000	0.010	6.7

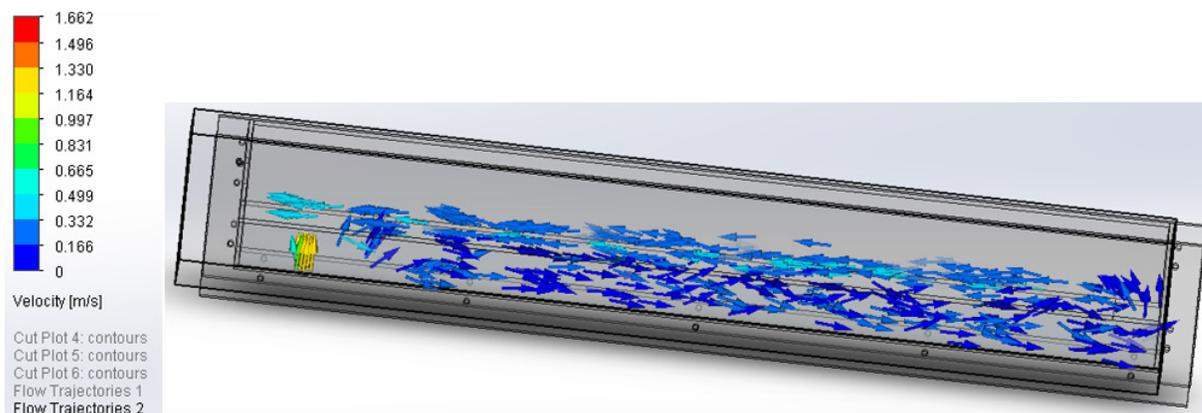
Una vez adoptadas las dimensiones que hidráulicamente permiten manejar un sistema que permita realizar modelaciones hidráulicas, seguidamente se han verificado mediante el complemento Flow-

Simulation de SolidWorks el valor las principales variables hidráulicas de presión y velocidad para garantizar un correcto diseño hidráulico, como se puede observar en las siguientes imágenes.

Figura 3: Simulación del flujo en el sistema hidráulico a través de FlowSimulation de SolidWorks



Simulación del flujo en el canal de vidrio para un caudal mínimo de 10 litros/minuto



Simulación del flujo en el canal de vidrio para un caudal máximo de 90 litros/minuto

2. Diseño de un Vertedero Hidráulico Tipo Creager con Impresora 3D

Modelado del Vertedero:

- Diseño del vertedero tipo Creager en SolidWorks, asegurando de que las dimensiones sean precisas.

El vertedero se ha adoptado el del Proyecto de la Presa Carachimayo, considerando que se modela-

rá un segmento únicamente del mismo, por lo que es necesario determinar los tirantes del segmento que se modelará. En las siguientes tablas se pueden observar los caudales de referencia para el vertedero de excedencias de la presa Carachimayo, para periodos de retorno de 1,000 años y 10,000 años, y los determinados para la escala de 1:30 aplicada al modelo.

Tabla 3: Caudales reales y a la escala 1:30 del modelo físico para $T = 1,000$ años

Longitud Vertedero [m]	T = 1000 Años			
	Q laminado [m ³ /seg]		Tirante [m]	
	HEC-HMS	Modelo Físico	HEC-HMS	Modelo Físico
10	59.3	0.0120	2.06	0.0687
12.5	66.8	0.0136	1.93	0.0643
15	72.7	0.0147	1.8	0.0600
17.5	77.9	0.0158	1.7	0.0567
20	82.1	0.0167	1.62	0.0540
22.5	85.8	0.0174	1.54	0.0513
25	89.2	0.0181	1.47	0.0490
27.5	92	0.0187	1.41	0.0470
30	94.4	0.0192	1.35	0.0450

Tabla 4: Caudales reales y a la escala 1:30 del modelo físico para $T = 10,000$ años

Longitud Vertedero [m]	T = 10000 Años			
	Q laminado [m ³ /seg]		Tirante [m]	
	HEC-HMS	Modelo Físico	HEC-HMS	Modelo Físico
10	172.2	1.42E-05	4.2	0.1400
12.5	126.2	1.04E-05	2.94	0.0980
15	136.2	1.12E-05	2.74	0.0913
17.5	144.9	1.19E-05	2.58	0.0860
20	151.8	1.25E-05	2.43	0.0810
22.5	158.1	1.30E-05	2.31	0.0770
25	163.6	1.35E-05	2.2	0.0733
27.5	168.1	1.38E-05	2.11	0.0703
30	172.2	1.42E-05	2.02	0.0673

De esta manera con los valores revisados del modelo, se han determinado los tirantes sobre el vertedero considerando una sección de vertimiento y el

mismo caudal máximo dado por el sistema de bombeo.

Tabla 5: Tirantes estimados sobre el vertedero para la sección parcial del vertedero calculada

Longitud Vertedero [m]		Q [m ³ /s]		Tirante [m]	
Real	Escala	Real	Escala	Real	Escala
20	0.667	7.394	0.0015	0.325	0.011
3	0.100	7.394	0.0015	1.149	0.038
9	0.3	7.394	0.0015	0.553	0.018

on tales valores se ha validado el uso de las dimensiones del vertedero de la presa Carachimayo y se han ajustado los valores del borde superior del canal.

Impresión 3D:

- Exportación del diseño a un formato compatible con la impresora 3D Artillery SideWinder.
- Imprime el vertedero y verifica su calidad y precisión.

Figura 4: Sección original del vertederos tipo Creager a escala real de la presa Carachimayo

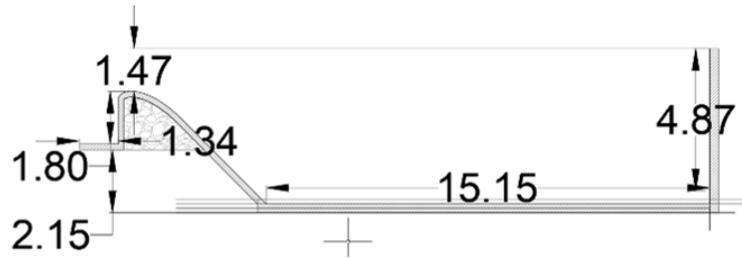
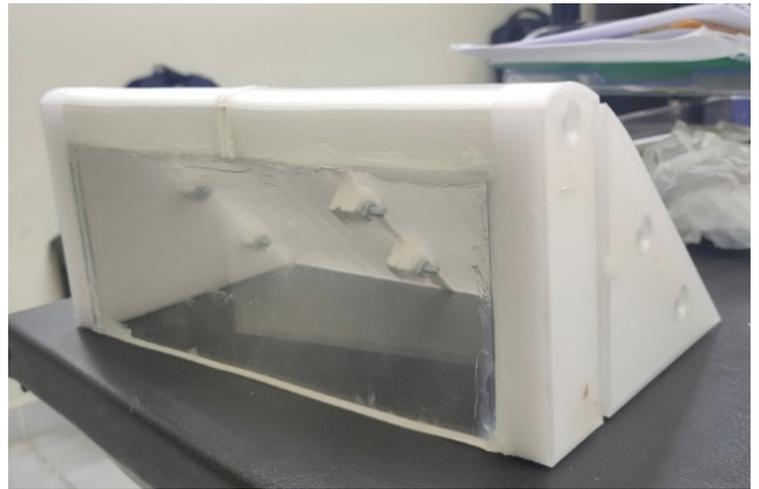


Figura 5: Vertederos tipo Creager fabricados con impresora 3D a escala 1:30



Vertedero tipo Creager de 10 cm de longitud



Vertedero tipo Creager de 30 cm de longitud

Hasta este punto se han definido todos los materiales a ser empleados para realizar las mediciones en el modelo físico. Con tales valores se han realizado los pasos que corresponden a la metodología y que se indican a continuación:

3. Mediciones del Caudal con el Ultrasonic Flowmeter PCE-TDS 100 HS

Instalación del Equipo:

- Colocado de los sensores del caudalímetro ultrasónico en la tubería que alimenta el sistema de bombeo de recirculación del sistema.

Medición:

- Realizado de mediciones del caudal a diferentes velocidades de flujo y registro de los datos.

4. Mediciones de Caudal con Micromolinetes FlowWatch JDC Instruments

Preparación del Micromolinete:

- Colocado del micromolinete en diferentes puntos del canal para medir la velocidad del flujo.

Registro de Datos:

- Registro las velocidades medidas en cada punto del vertedero y del canal de medición y cálculo del caudal total.

5. Verificación de Detección de Movimiento con Free-Fall Apparatus 3B ELWE y Kinovea

Configuración del Ensayo de Caída Libre:

- Realizar ensayos de caída libre para calibrar la cámara del celular.

Calibración con Kinovea:

- Utiliza Kinovea para calibrar la cámara, estableciendo una escala de referencia.

6. Verificación de Movimiento con Short Range Projectile Launcher PASCO ME-6800 y Kinovea

Configuración del Ensayo de Movimiento Parabólico:

- Realizar ensayos de lanzamiento parabólico para calibrar la cámara del celular.

Calibración con Kinovea:

- Utilizar Kinovea para calibrar la cámara, asegurando precisión en la detección de movimiento.

7. Determinación de Velocidad y Trayectoria de Flujo en Canales Hidráulicos con Kinovea

Preparación del Canal:

- Coloca pelotas de plastofomo de diferentes diámetros en el canal.

Análisis con Kinovea:

- Utiliza Kinovea para seguir el movimiento de las pelotas y determinar la velocidad y trayectoria del flujo.

8. Evaluación de la Eficiencia en la Detección de Velocidad y Trayectoria con Kinovea

Configuración de Marcadores:

- Colocado de múltiples marcadores en el canal para mejorar la precisión de la medición.

Análisis de Continuidad:

- Evaluación de la continuidad de la medición y la precisión de la velocidad medida con Kinovea.

9. Establecimiento de Rangos de Detección de Velocidades con Kinovea

Pruebas de Velocidad:

- Realización de pruebas a diferentes velocidades de flujo y registra los datos.

Análisis de Rangos:

- Se determina los rangos de detección de velocidades que Kinovea puede medir con precisión.

Esta metodología permite realizar mediciones precisas y detalladas de la velocidad y trayectoria del flujo hidráulico, utilizando una combinación de herramientas de diseño, fabricación y análisis.

Las siguientes metodologías son complementarias y ampliadas de lo requerido para realizar una estimación de caudales medidos en el sistema.

Metodología de Medición con el caudalímetro de flujo acústico PCE-TDS 100 HS

Para garantizar mediciones adecuadas es necesario adecuar una Metodología de Medición con el caudalímetro de flujo acústico PCE-TDS 100 HS, para registrar caudales que son conducidos en el canal de vidrio construido, como se describe a continuación:

1. Preparación del Equipo

- Medidor de flujo acústico PCE-TDS 100HS: Asegúrate de tener el dispositivo completamente cargado y en buen estado.
- Transductores: Verifica que los transductores estén limpios y sin daños.
- Cinta de montaje: Para fijar los transductores a la tubería.
- Gel de acoplamiento: Para asegurar una buena transmisión de la señal ultrasónica.

2. Configuración del Medidor

- Encendido: Se enciende el PCE-TDS 100HS y se selecciona el modo de medición adecuado.
- Configuración de parámetros:
- Diámetro de la tubería: se introduce el diámetro interno de la tubería (1 pulgada o 25.4 mm).
- Material de la tubería: Se selecciona PVC en el menú de materiales.
- Tipo de líquido: Se selecciona el tipo de líquido que fluye por la tubería (por ejemplo, agua).

3. Instalación de los Transductores

- Limpieza: se limpia la superficie de la tubería donde se colocarán los transductores.
- Aplicación del gel: Se aplica una cantidad generosa de gel de acoplamiento en los transductores.
- Montaje: Se fija los transductores a la tubería utilizando la cinta de montaje. Asegúrate de que estén alineados correctamente según las instrucciones del manual del PCE-TDS 100HS.

4. Calibración y Ajustes

- Calibración inicial: Se realiza una calibración inicial siguiendo las instrucciones del dispositivo.
- Ajustes finos: Se ajusta la posición de los transductores si es necesario para obtener una señal óptima.

5. Medición del Caudal

- Iniciar medición: Se inicia la medición desde el dispositivo. El PCE-TDS 100HS comenzará a registrar el caudal.
- Lectura de datos: Se observa y registra los datos de caudal que se muestran en la pantalla del dispositivo.

6. Verificación y Registro

- Verificación: Se verifica que las lecturas sean consistentes y precisas.
- Registro de datos: Se guarda los datos de caudal para análisis y documentación futura.

Verificación de Detección de Movimiento con Free-Fall Apparatus 3B ELWE y Kinovea

Materiales Necesarios:

- » Instrumento de caída libre
- » Cronómetro
- » Regla o cinta métrica
- » Celular con cámara
- » Software Kinovea (descargado e instalado en computadora)

Figura 6: Equipo de medición de caída libre



Procedimiento:

Preparación del Instrumento de Caída Libre:

- Se coloca el instrumento de caída libre en una superficie estable.
- Se asegura de que el objeto a soltar esté correctamente alineado y listo para caer sin obstrucciones.

Medición de la Altura:

- Se utiliza la regla o cinta métrica para medir la altura desde la que se soltará el objeto.
- Se anota esta medida, ya que será necesaria para los cálculos posteriores.

Grabación del Video:

- Se coloca el celular en un trípode o en una superficie estable para evitar movimientos durante la grabación.
- Se asegura de que la cámara del celular esté enfocada en el área donde el objeto caerá.
- Se inicia la grabación de video antes de soltar el objeto.

Realización del Experimento:

- Se suelta el objeto y utiliza el cronómetro para medir el tiempo que tarda en llegar al suelo.
- Se repite el experimento varias veces para obtener un promedio más preciso.
- Se verifica con el Software Kinovea

Importación del Video:

- Se transfiere el video grabado desde el celular a tu computadora.
- Se abre el software Kinovea y carga el video.

Calibración del Video:

- Calibración por Línea: Si el movimiento está en un plano paralelo al plano de la imagen, se utiliza un objeto de longitud conocida visible en el video. Se agrega una línea en Kinovea sobre el objeto, luego se selecciona "Calibrar". Se introduce la longitud real del objeto.
- Calibración por Plano: Si el movimiento está en un plano 2D arbitrario, se utiliza un rectángulo de dimensiones conocidas visible en el video. Se agrega una cuadrícula de perspectiva en Kinovea y ajusta sus esquinas para que coincidan con el rectángulo. Haciendo clic derecho en una esquina se selecciona "Calibrar". Se introduce el ancho y la altura reales del rectángulo.

Análisis del Video:

- Se utiliza las herramientas de Kinovea para marcar el punto de inicio (cuando el objeto es soltado) y el punto de finalización (cuando el objeto toca el suelo).
- Kinovea permite medir el tiempo exacto de caída cuadro por cuadro, lo que puede ser más preciso que el cronómetro manual.

Cálculo de la Velocidad y Aceleración:

- Con la altura medida y el tiempo de caída obtenido, se puede calcular la velocidad y la aceleración del objeto utilizando las fórmulas de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado:
- Velocidad final:

$$v = \frac{2h}{t}$$

- Aceleración:

$$a = \frac{2h}{t^2}$$

Luego se comparan estos resultados con los obtenidos manualmente para verificar la precisión de las mediciones.

Verificación de Movimiento con Short Range Projectile Launcher PASCO ME-6800 y Kinovea

Materiales Necesarios:

- » Instrumento de movimiento parabólico (lanzador de proyectiles)
- » Cronómetro
- » Regla o cinta métrica
- » Celular con cámara
- » Software Kinovea (descargado e instalado en tu computadora)

Figura 7: Equipo de medición de movimiento parabólico



Procedimiento:

Preparación del Instrumento de Movimiento Parabólico:

- Se coloca el lanzador de proyectiles en una superficie estable y ajusta el ángulo de lanzamiento según lo requerido para el experimento.
- Se asegura el área de lanzamiento esté despejada y que el proyectil pueda moverse sin obstrucciones.

Medición de la Altura y Distancia:

- Se utiliza la regla o cinta métrica para medir la altura desde la que se lanzará el proyectil y la distancia horizontal que recorrerá.
- Se anota estas medidas, ya que serán necesarias para los cálculos posteriores.

Grabación del Video:

- Se coloca el celular en un trípode o en una superficie estable para evitar movimientos durante la grabación.
- Se asegura de que la cámara del celular esté enfocada en el área donde el proyectil se moverá.
- Iniciar la grabación de video antes de lanzar el proyectil.

Realización del Experimento:

- Se lanza el proyectil y utilizar el cronómetro para medir el tiempo de vuelo.
- Se repite el experimento varias veces para obtener un promedio más preciso.
- Se verifica con Software Kinovea

Importación del Video:

- Se transfiere el video grabado desde el celular a la computadora.
- Se abre el software Kinovea y carga el video.

Calibración del Video:

- Calibración por Línea: Si el movimiento está en un plano paralelo al plano de la imagen, se utiliza un objeto de longitud conocida visible en el video. Se agrega una línea en Kinovea sobre el objeto, haz clic derecho y selecciona "Calibrar". Se introduce la longitud real del objeto.
- Calibración por Plano: Si el movimiento está en un plano 2D arbitrario, se utiliza un rectángulo de dimensiones conocidas visible en el video. Se agrega una cuadrícula de perspectiva en Kinovea y se ajusta sus esquinas para que coincidan con el rectángulo. Se selecciona "Calibrar". Por último se introduce el ancho y la altura reales del rectángulo.

Análisis del Video:

- Se utiliza las herramientas de Kinovea para marcar el punto de lanzamiento y el punto de impacto del proyectil.
- Kinovea permite medir el tiempo exacto de vuelo y la trayectoria del proyectil cuadro por cuadro.

Cálculo de la Velocidad y Aceleración:

- Con la altura y distancia medidas, y el tiempo de vuelo obtenido, se puede calcular la velocidad inicial y la aceleración del proyectil utilizando las fórmulas de movimiento parabólico:
- Velocidad inicial horizontal:

$$v_x = \frac{d}{t}$$

- Velocidad inicial vertical:

$$v_y = \frac{2h}{t}$$

- Aceleración:

$$a = \frac{2h}{t^2}$$

Se comparan estos resultados con los obtenidos manualmente para verificar la precisión de las mediciones.

3. RESULTADOS

Aplicando la metodología planteada se han realizado primeramente para calibrar las mediciones de caída libre, movimiento, se han obtenido las mejores correlaciones que se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 6: Estimación de la aceleración gravitacional g con el equipo de caída libre para h = 0.40 m

Numero de Prueba	Altura (m)	Tiempo de Caída (ms)	g (m/s ²)
1	0.4	285	9.849
2	0.4	285	9.849
3	0.4	285	9.849
4	0.4	285	9.849
5	0.4	285	9.849

g (promedio) = 9.849
g (desviación estándar) = 0

Tabla 7: Estimación de la aceleración gravitacional g con el equipo de caída libre para h = 0.60 m

Numero de Prueba	Altura (m)	Tiempo de Caída (ms)	g (m/s ²)
1	0.6	349	9.852
2	0.6	349	9.852
3	0.6	349	9.852
4	0.6	349	9.852
5	0.6	349	9.852

g (promedio) = 9.852
g (desviación estándar) = 0

Se observa que la aceleración gravitacional tiene un valor elevado, que no concuerda con el valor esperado considerando una altura sobre el nivel del mar igual a 1866 msnm en el lugar de la medición, que debería estar en un valor de 9.804 m/s². Por tal mo-

tivo no se ha considerado esta prueba para la calibración de la cámara, además que con una resolución mínima de la cámara de video recomendada de 60 fps (sesenta fotogramas por segundo).

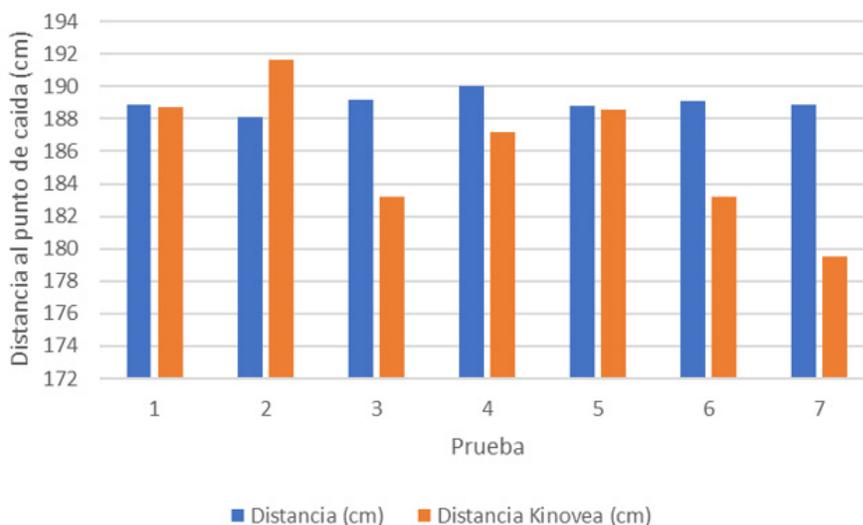
Tabla 8: Distancia horizontal hasta el punto de impacto medidos y estimados con el software Kinovea para el ensayo de movimiento parabólico

Número de Prueba	Altura (m)	Distancia (cm)	Distancia Kinovea (cm)	Diferencia Distancia Real / Distancia Kinovea (cm)	Variación Porcentual Diferencia Distancia Real / Distancia Kinovea (%)
1	0.6	188.9	188.699	0.201	0.11%
2	0.6	188.1	191.649	-3.549	-1.89%
3	0.6	189.2	183.164	6.036	3.19%
4	0.6	190	187.177	2.823	1.49%
5	0.6	188.8	188.546	0.254	0.13%
6	0.6	189.1	183.173	5.927	3.13%
7	0.6	188.9	179.484	9.416	4.98%

Se observa que los valores medidos de la distancia real y la distancia estimada con el software Kinovea sostienen una variación comprendida entre -1.89 %

a 4.98 %, una respecto de la otra, lo que sugiere un razonable ajuste a los valores medidos.

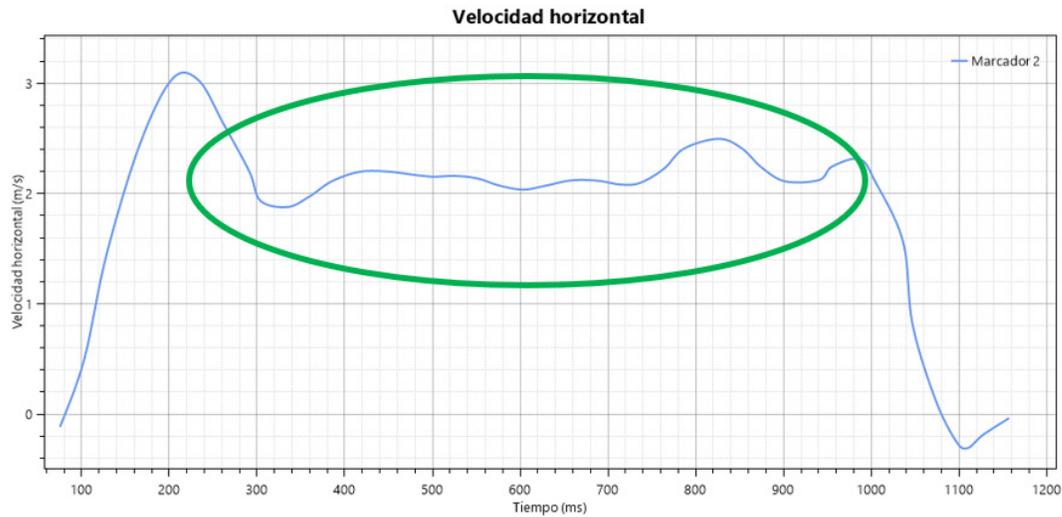
Figura 8: Distancia horizontal real y distancia horizontal kinovea del movimiento parabólico



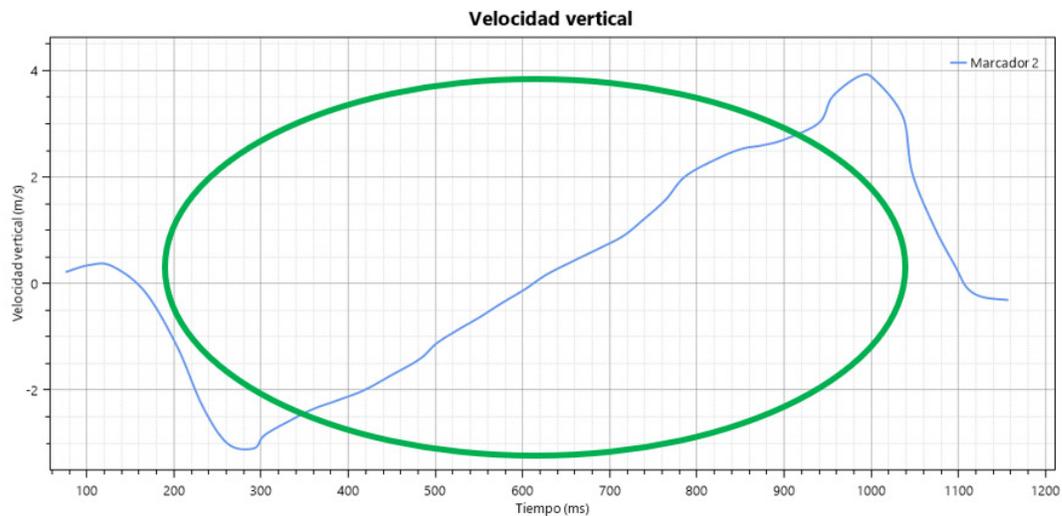
Asimismo, cuando se revisan los valores de la velocidad horizontal, velocidad vertical, aceleración horizontal, aceleración vertical, desplazamiento horizontal y desplazamiento vertical, estimados por

el software Kinovea se observa que son coherentes con el movimiento parabólico. Por tanto se valida el uso del software Kinovea con la cámara calibrada para tal efecto.

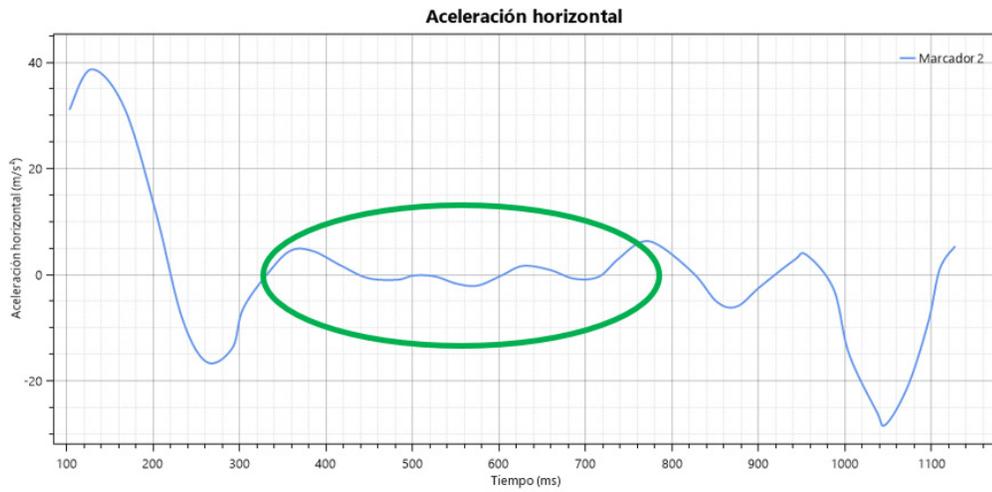
Figura 9: Procesamiento de imágenes de video con el software Kinovea del ensayo del movimiento parabólico



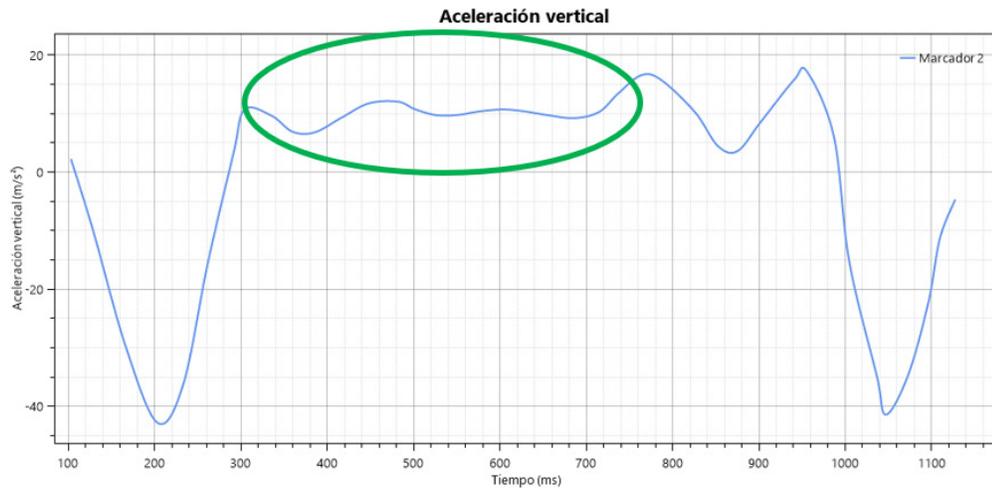
Velocidad Horizontal Movimiento Parabólico Experimento 1



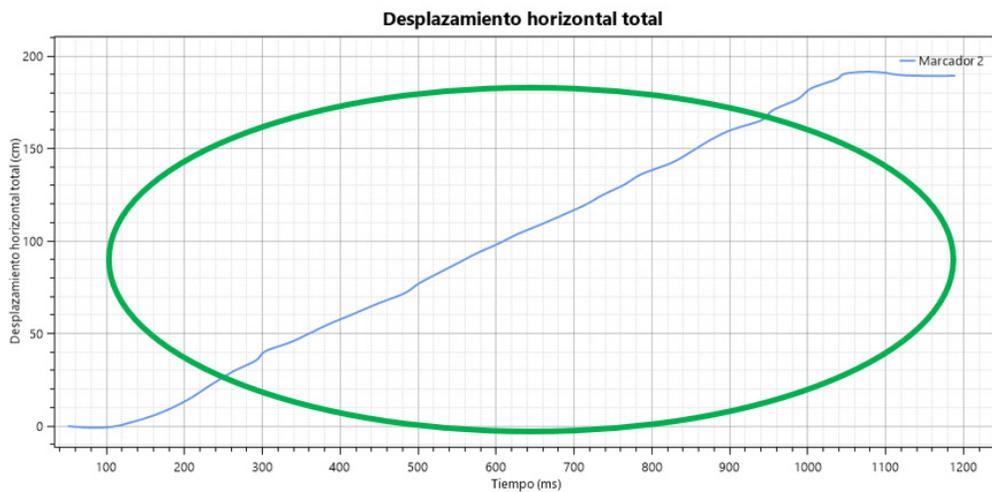
Velocidad Vertical Movimiento Parabólico Experimento 1



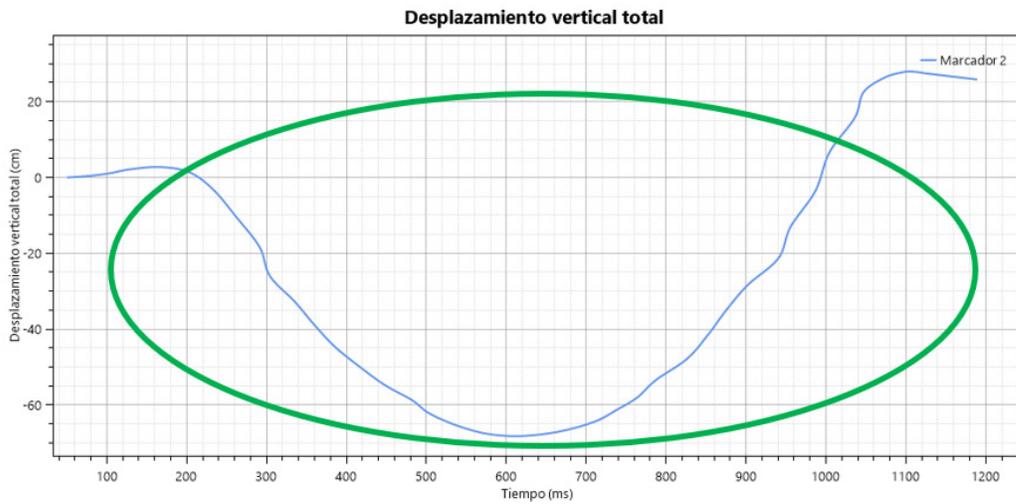
Aceleración Horizontal Movimiento Parabólico Experimento 1



Aceleración Vertical Movimiento Parabólico Experimento 1



Desplazamiento Horizontal Movimiento Parabólico Experimento 1



Desplazamiento Vertical Movimiento Parabólico Experimento 1

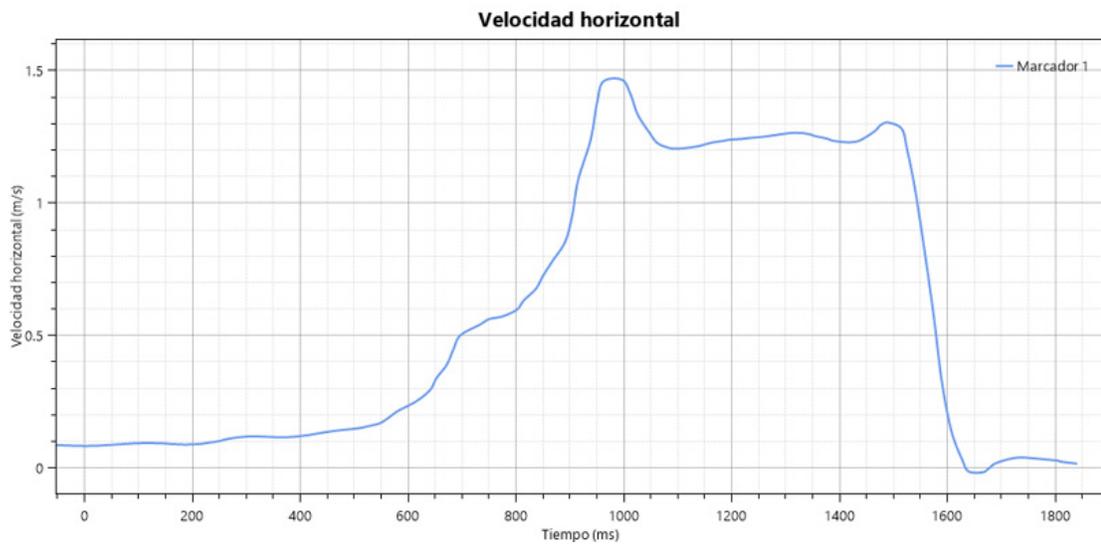


Captura de pantalla del software Kinovea Movimiento Parabólico experimento 1

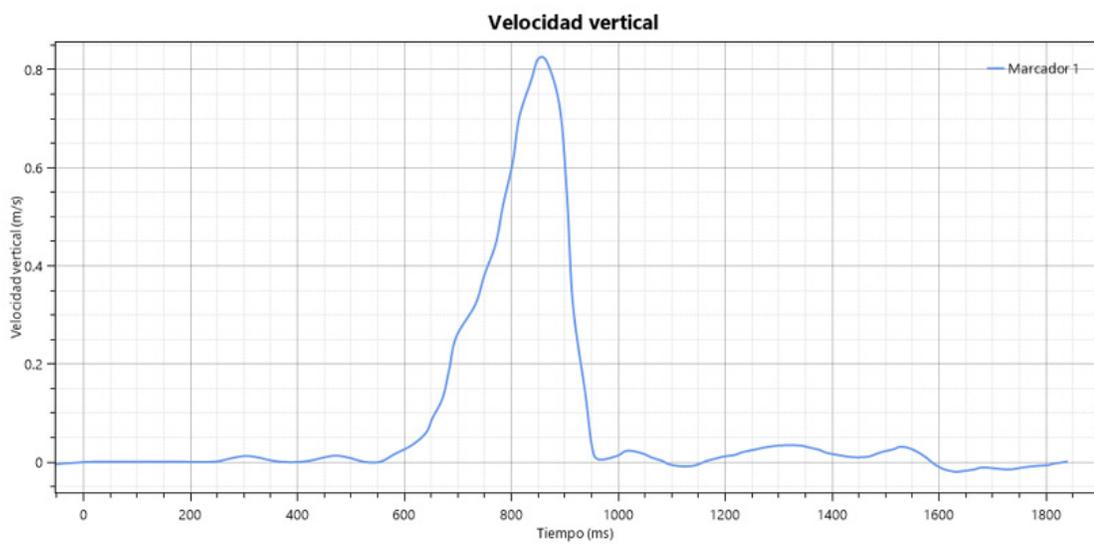
Una vez verificado el funcionamiento del software Kinovea para predecir distancias, velocidades y aceleraciones, se ha aplicado para evaluar el flujo su-

perficial, considerando flotadores sobre el flujo del perfil hidráulico del vertedero.

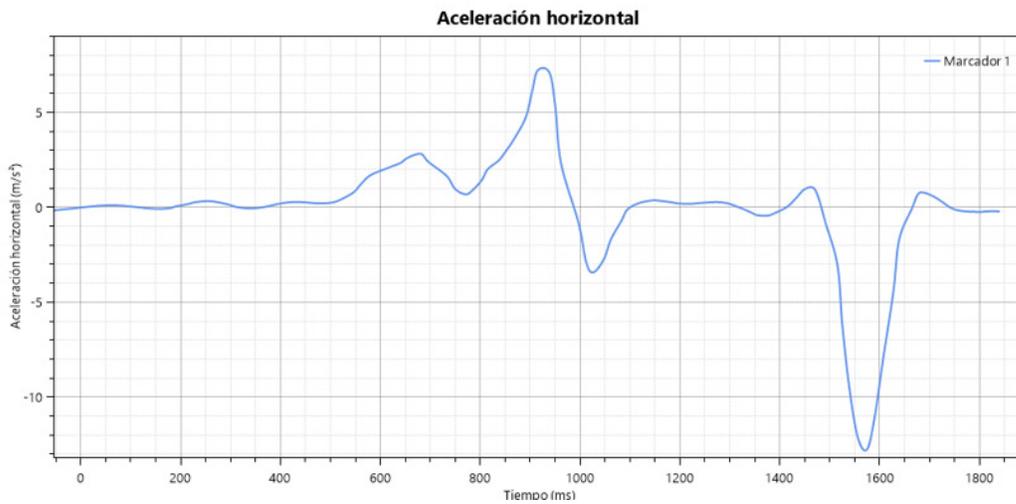
Figura 10: Procesamiento de imágenes de video con el software Kinovea del flujo hidráulico con el vertedero tipo Creager



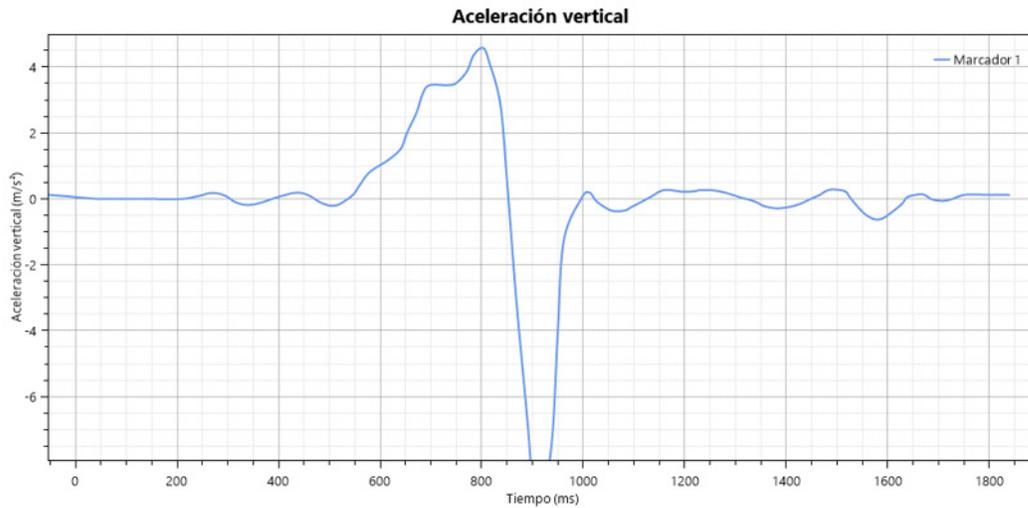
Velocidad Horizontal Perfil Hidráulico Experimento 1 Válvula Totalmente Abierta



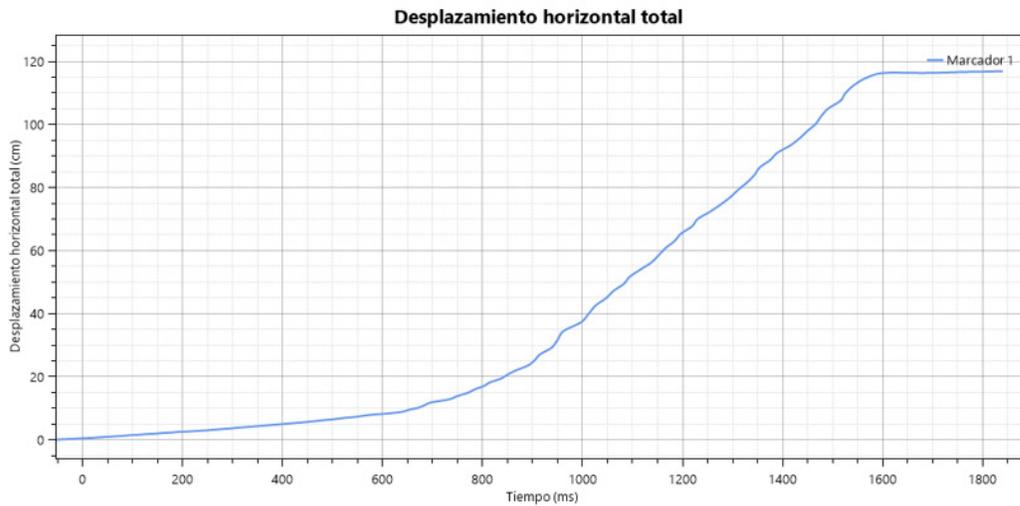
Velocidad Vertical Perfil Hidráulico Experimento 1 Válvula Totalmente Abierta



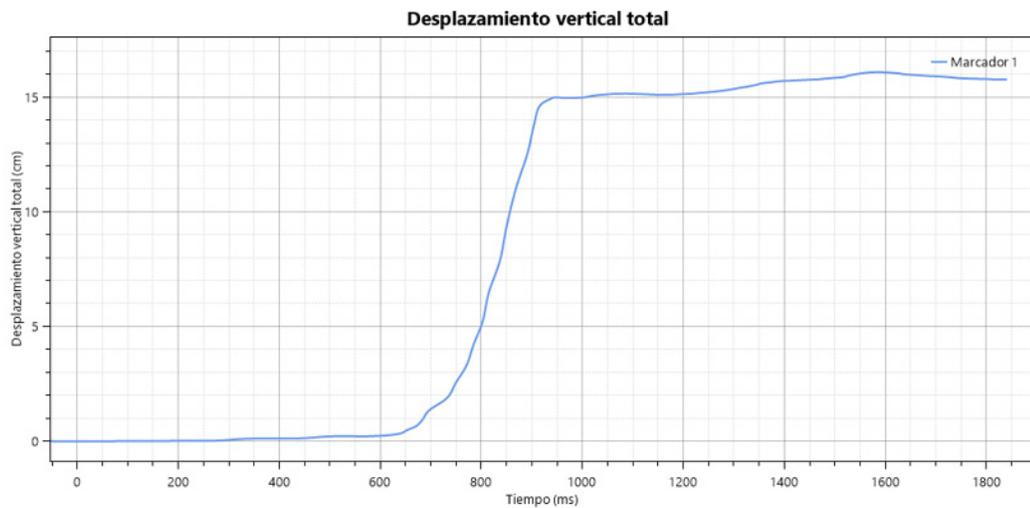
Aceleración Horizontal Perfil Hidráulico Experimento 1 Válvula Totalmente Abierta



Aceleración Vertical Perfil Hidráulico Experimento 1 Válvula Totalmente Abierta



Desplazamiento Horizontal Perfil Hidráulico Experimento 1 Válvula Totalmente Abierta



Desplazamiento Vertical Perfil Hidráulico Experimento 1 Válvula Totalmente Abierta



Captura de pantalla del software Kinovea Movimiento Parabólico Experimento 1 Válvula Totalmente Abierta

Los valores obtenidos mediante el procesamiento con el software Kinovea coinciden con los valores simulados con el software SolidWorks y su complemento FlowSimulation.

4. DISCUSIÓN

Con la aplicación de la metodología propuesta y desarrollada amerita exponer lo siguiente:

- El futuro de la humanidad reside claramente en la manufacturación aditiva, un proceso de fabricación de casi cualquier cosa mucho más preciso, rápido, económico y sostenible que los métodos tradicionales. El mundo de la investigación no es ajeno a ello, siendo casi innumerables las aplicaciones de esta técnica de utilidad para la ciencia. Por ejemplo, las impresoras 3D permiten ya que los laboratorios de países

pobres dispongan de herramientas para realizar sus investigaciones a coste muy inferiores a los habituales en el mercado. La posibilidad de compartir fácilmente los modelos 3D en forma de ficheros STL favorece la transferencia de conocimiento entre los distintos grupos de investigación, y ayuda también a visualizar y entender mejor los datos obtenidos en experimentos o exploraciones. En definitiva, las aplicaciones de la manufacturación aditiva en ciencia e ingeniería son innumerables, apareciendo nuevos ejemplos día a día.

- En cuanto a los softwares de modelado 3D utilizados en el sector de la construcción todos sirven para imprimir en 3D y últimamente se ha implementado con fuerza el uso de software BIM el cual posee información del edificio y modelos digitales 3D, del cual están a un solo paso de transformar el modelo digital a un modelo de prototipado 3D.
- La impresión 3D se puede utilizar para una amplia gama de tareas, como el diseño y prueba de prototipos y productos terminados, en un tiempo más corto. En ingeniería los diseños de prototipos se generan continuamente en actividades de clase académica y proyectos de cursos finales por parte de estudiantes y docentes. Sin embargo, los estudiantes muestran limitaciones en la comprensión de los conceptos abstractos representados por dichos diseños.
- Es necesario investigar con otras alternativas para la detección del flujo, y evaluar el rendimiento del kinovea, como asimismo otras resoluciones de la cámara en fotogramas por segundo. Entre los materiales a ser detectados o la metodología alternativa a emplear se pueden citar tintes solubles en agua para marcar las líneas de flujo para una visualización clara de la trayectoria del fluido, pequeñas partículas fluorescentes o reflectantes añadidas al fluido, por ejemplo aquellas partículas que puedan ser iluminadas con luz láser para seguir su movimiento y analizar la velocidad del flujo, también a través de interferometría como una técnica óptica que permite visualizar variaciones en la densidad del fluido, utilizada para estudiar patrones de flujo en líquidos, y por último marcadores visuales en puntos estratégicos del modelo físico para facilitar la calibración y el seguimiento del flujo con Kinovea.
- Uno de los principales retos en el uso de las tecnologías como apoyo a la educación es superar la resistencia al cambio por parte de los profesores de educación convencional, pero no se trata de refutar con las nuevas tecnologías antiguos programas educativos, sino de diseñar y aplicar modelos pedagógicos de innovación que orienten a los alumnos hacia las competencias que necesitarán para adaptarse en un mundo que ya es digital; con esta tecnología, el docente podrá crear nuevas herramientas didácticas de aprendizaje y el estudiante podrá comprender fácilmente muchos temas que quizás son abstractos o difíciles de comprender.
- La modelación hidráulica está permanentemente relacionada con problemas hidráulicos frecuentes en el saneamiento básico y en la ingeniería civil. Debe ser reconocida como una ciencia para el desarrollo de la infraestructura, fundamentalmente frente a problemas complejos para los cuales no puede existir una solución simple, a base de la aplicación de los conceptos básicos de la hidráulica unidireccional. Se requiere entonces de una solución óptima, debidamente aproximada, desarrollada con la ayuda del análisis dimensional y de los principios de similitud ampliamente conocidos, apoyada con pruebas de modelos físicos en el laboratorio.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Barrios Córdova, A., Vaquera Huerta, H., Romero Padilla, J. M., Crossa, J., & Burguete Hernández, E. (02 de Marzo de 2020). Estudio comparativo de técnicas de optimización multirespuesta en diseños experimentales. Obtenido de Ingeniería Investigación y Tecnología: <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v21n2/1405-7743-iit-21-02-e1713.pdf>
- Bautista Hernández, M., Palacios Vélez, O. L., Jiménez Magaña, M. R., & Arteaga Tovar, R. E. (20 de Septiembre de 2021). Causa de falla en la obra de excedencias, presa Endhó: modelación física. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología, Tecnología y ciencias del agua, ISSN 2007-2422: <https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/2943/2530>
- Brigido Morales, J. G., Carrillo García, M., Prado Hernández, J. V., & Flores Velázquez, J. (16 de Enero de 2024). Modelación hidráulica de tres aforadores para mínima sedimentación. Obtenido de Revista mexicana de ciencias agrícolas, ISSN: 2007-0934: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342024000100106
- Chartman, J., & Contributors. (2024). Website Kinovea Oficial. Obtenido de Kinovea Version 2023.1.2: <https://www.kinovea.org/>
- Cruz, F. (Noviembre de 2022). Modelación hidráulica: ¿Qué es y cuáles son sus beneficios? Obtenido de Kral Consultores: <https://www.kralconsultores.cl/insights/modelacion-hidraulica-que-es-y-cuales-son-sus-beneficios/>
- Flores, J. E., Servín, D., & Mendoza, M. (Junio de 2019). Modelos físicos en la ingeniería hidráulica. Obtenido de Instituto Mexicano del Transporte: <https://www.imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=485&IdBoletin=178>
- JBA Trust. (2022). Borrowing our interactive models. Obtenido de Information and Terms & Conditions 2023: <https://www.jbatrust.org/wp-content/uploads/2023/08/Borrowing-our-Physical-Models-TCs-2023.pdf>
- JBA Trust. (2022). Home Page JBA Trust. Obtenido de <https://www.jbatrust.org/>
- JBA Trust. (2022). Research JBA Trust. Obtenido de <https://www.jbatrust.org/research/>
- López Fernández, A. R., Ruiz Díaz Cardoso, A. M., de Dios, M., & Liscia, S. (15 de Diciembre de 2018). Interacción entre modelación física y numérica para el diseño de obras hidráulicas y validación de simulaciones CFD. Obtenido de Revista Sociedad Científica Paraguay: https://www.researchgate.net/publication/332345563_Interaccion_entre_modelacion_fisica_y_numerica_para_el_diseño_de_obras_hidraulicas_y_validacion_de_simulaciones_CFD#:~:text=El%20objetivo%20de%20este%20trabajo%20es%20demostrar%20la
- Mateos, C. (2000). La modelación física en las obras hidráulicas. Ingeniería del Agua - Volumen 7 - Nº 1, 55-70. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/119228/2837-8190-1-PB.pdf?sequence=1>
- Oertel, M., & Shen, X. (2022). 3D Printing Technique for Experimental Modeling of Hydraulic Structures: Exemplary Scaled Weir Models. Water 2022, 14(14), 2153; <https://doi.org/10.3390/w14142153>, 1-12.
- Rocha Felices, A. (Febrero de 2003). CICLO DE CONFERENCIAS. Obtenido de INVESTIGACIÓN EN MODELOS FÍSICOS Y MATEMÁTICOS DE OBRAS HIDRÁULICAS: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/modelos_hidraulicos_de_rocha.pdf

- Stefano, E., Prieto Fernández, A. P., & León Méndez, A. J. (Septiembre de 2021). Recomendaciones básicas para modelar obras hidráulicas empleando la dinámica de los fluidos computacional (CFD). Obtenido de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XLII, No. 4, Oct-Dic 2021, ISSN 2788-6050, RNPS 2066: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v42s1/1680-0338-riha-42-s1-33.pdf>
- USDA United States Department of Agriculture. (10 de Julio de 2024). Software WinFLume. Obtenido de Agricultural Research Service: <https://www.ars.usda.gov/research/software/?modeCode=20-20-05-15#:~:text=WinFlume%20is%20a%20software%20package%20for%20the%20hydraulic>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO



DICYT
Departamento de Investigación,
Ciencias y Tecnología - UAJMS

VENTANA CIENTÍFICA

Revista de **Divulgación Científica**

Tarija - Bolivia