



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MANUEL ROSALES



DICYT
Departamento de Investigación,
Ciencias y Tecnología - UAJMS

Revista

CIENCIA SUR

Facultad de Ciencias y Tecnología

ISSN: 2518-4792 (*Impreso*)

ISSN: 2789-4738 (*En línea*)

CS

REVISTA CIENTÍFICA

Secretaría de Investigación Científica y Extensión Universitaria
Departamento de Investigación, Ciencia y Tecnología

Diciembre 2025

Número

14

Vol. 10

REVISTA CIENTÍFICA CIENCIA SUR
VOL. 10 N° 14

ISSN: 2518-4792 (Impreso)

ISSN: 2789-2718 (En Línea)

CONSEJO EDITORIAL

Ph.D. Ing. Laura Karina Soto Salgado

Ph.D. Ing. Alberto Benítez Reynoso

M. Sc. Arq. Jessica Baldivieso Alarcón

M. Sc. Ing. Ignacio Edwin Velasquez Soza

M. Sc. Ing. Erick Ramírez Ruiz

Ing. Gabriela Gutierrez Molina

Ph.D. Ing. Laura Karina Soto Salgado

EDITORA

Facultad de Ciencias y Tecnología

PRESENTACIÓN

El volumen de la revista Ciencia Sur reúne una selección de investigaciones originales que reflejan la amplitud, el rigor metodológico y la pertinencia social de los avances científicos en el ámbito de la ingeniería, las ciencias aplicadas y la sostenibilidad. Cada contribución ofrece no solo resultados técnicos y experimentales de alto valor, sino también propuestas conceptuales que dialogan con los desafíos contemporáneos de nuestra región y del mundo.

Los artículos abordan la aproximación numérica de la capacidad en flexión compuesta de la sección circular de hormigón armado, un tema de vital importancia para la ingeniería estructural y geotécnica. El artículo presenta un conjunto de formulaciones y expresiones simplificadas que permiten calcular, cuya aplicación es recurrente en elementos verticales sometidos a cargas complejas.

De manera complementaria el análisis de esfuerzos en pavimentos rígidos mediante diferencias finitas. En él se aplica un método numérico clásico y robusto para resolver ecuaciones diferenciales parciales asociadas al comportamiento de losas de hormigón apoyadas sobre fundación.

El volumen también incorpora investigaciones orientadas a la sostenibilidad en la construcción. Destaca el estudio titulado "Biomimetismo en la construcción de suelos arcillosos de la ciudad de Tarija", en el cual se propone un enfoque innovador que integra principios biomiméticos con técnicas vernáculas y tecnologías emergentes para el aprovechamiento de suelos locales.

Asimismo, se presenta la investigación experimental sobre la obtención de harina de brócoli mediante el proceso de secado por aire caliente, un aporte significativo en el campo de la ingeniería de alimentos y la valorización de productos agroindustriales.

En el ámbito de la ingeniería geotécnica, se incluye el estudio experimental del efecto del tiempo de curado en la resistencia a la compresión no confinada de suelos limosos estabilizados con cemento. Mediante un enfoque cuasi-experimental, la investigación demuestra cómo el periodo de curado influye decisivamente en la evolución de la resistencia mecánica, aportando evidencias que refuerzan la necesidad de un control riguroso de las condiciones de curado en obras civiles.

Finalmente, en el área de la fisiología vegetal enfocado en la estimación del potencial hídrico osmótico en tejidos vegetales, empleando un método experimental basado en el intercambio osmótico en cilindros de patata.

En conjunto, las contribuciones reunidas en este volumen reflejan la investigación interdisciplinaria, rigurosa y contextualizada, que al mismo tiempo se proyecta hacia la innovación y la aplicación práctica. Se espera que los artículos aquí publicados fortalezcan el conocimiento científico en sus respectivas áreas y, a la vez, constituyan un punto de partida para futuras investigaciones que den respuesta a los retos sociales, ambientales y tecnológicos de nuestra región.

La editora

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

CIENCIA SUR

Revista de Divulgación Científica-UAJMS

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

M. Sc. Lic. Eduardo Cortez Baldiviezo
RECTOR

M. Sc. Lic. Jaime Condori Ávila
VICERRECTOR

Dr. Javier Blades Pacheco Ph.D.
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

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

AUTORIDADES FACULTATIVAS

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M. Sc. Ing. Fernando Cortez Michel
VICEDECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Ph.D. Ing. Laura Karina Soto Salgado
EDITORA

Samuel Sánchez Q.
Diseño y Diagramación

dicyt.uajms.edu.bo
Sitio web

dicyt.uajms.edu@gmail.com
Correo Electrónico

Publicación: "Departamento de Investigación, Ciencia y Tecnología"

CONTENIDO

| PRESENTACIÓN

EDITORA

01 | ESTIMACIÓN DE LA COMPRESIBILIDAD DE ARCILLAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN BASADA EN SUS PROPIEDADES PLÁSTICAS

Almendras Saravia Armando, Soto Salgado Laura Karina 1

02 | PRUEBAS DE APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D Y FRESADO CNC EN MICROFLUIDICA

Daroca Aparicio Adrian Waldemar. 11

03 | OBTENCIÓN DE HARINA DE BRÓCOLI MEDIANTE EL PROCESO DE SECADO POR AIRE CALIENTE

Ramírez Ruiz Erick, Fernández Estévez Lourdes 27

04 | EL DIBUJO TÉCNICO Y EL ANÁLISIS DE FORMAS EN RELACIÓN CON LA GEOMETRÍA DESCRIPTIVA: REFLEXIONES TEÓRICAS Y APLICACIONES EN PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS CONTEMPORÁNEOS

Ayarde Ponce Maria Teresa, Hernani Quinteros Aldo Nino 44

05 | DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PLUVIÓMETRO AUTOMÁTICO DE BAJO COSTO

Romero Miranda Aldo Ivan, Gamarra Mendoza Mario Carmelo
Perales Avilés Moisés. 50

06 | MEMORIA URBANA Y TURISMO SOSTENIBLE: HACIA UN ENFOQUE DE USOS MIXTOS Y RECORRIDOS URBANOS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE TARIJA

Baldivieso Alarcón Giovanna. 60

ESTIMACIÓN DE LA COMPRESIBILIDAD DE ARCILLAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COMPRESIÓN BASADA EN SUS PROPIEDADES PLÁSTICAS

ESTIMATION OF THE COMPRESSIBILITY OF CLAYS BY DETERMINING THE
COMPRESSION INDEX BASED ON THEIR PLASTIC PROPERTIES

Fecha de recepción: 01/08/2025 | Fecha de aceptación: 25/10/2025

Autores

Almendras Saravia Armando ¹

Soto Salgado Laura Karina ²

¹ Docente Investigador - Ingeniería Civil UAJMS

² Master, Ingeniería Vial, Docente Investigador - Ingeniería Civil UAJMS.

Correspondencia de los autores: almendrasmito@gmail.com¹, laraksosal@gmail.com²

Tarija - Bolivia

RESUMEN

Este estudio estima la compresibilidad de arcillas mediante la determinación del índice de compresión (C_c) basado en propiedades plásticas, con el objetivo de proporcionar un método rápido y confiable alternativo a los ensayos tradicionales de consolidación. Se recolectaron 30 muestras inalteradas de arcillas de baja plasticidad (clasificadas como CL según SUCS) de diversos barrios de Tarija - Bolivia, caracterizadas mediante ensayos de granulometría (ASTM D422) y límites de Atterberg (ASTM D4318), con valores de límite líquido (LL) entre 24% y 42%, límite plástico (LP) entre 18% y 32%, e índice de plasticidad (IP) entre 3% y 21%. Se realizaron pruebas de consolidación unidimensional (ASTM D2435) para obtener C_c (rango 0.123 - 0.145). Mediante análisis de regresión no lineal, se desarrollaron correlaciones empíricas: $C_c = 1 / (14.1148 - 1.89612 \times \ln(LL))$ con $R^2 = 0.7584$, $C_c = 1 / (5.28878 + 53.9707 / LP)$ con $R^2 = 0.7199$, y $C_c = \sqrt{(0.0129926 + 0.00223221 \times \ln(IP))}$ con $R^2 = 0.5744$, destacando LL como el predictor más preciso. Los resultados se comparan con correlaciones clásicas (e.g., Skempton, Terzaghi) y recientes (e.g., Habibbeygi et al., 2017; Shimobe & Spagnoli, 2021), mostrando mejor adaptación local, pero limitaciones en generalización debido al tamaño muestral y enfoque regional. Se concluye que estos modelos son aplicables para estimaciones preliminares en arcillas inorgánicas de baja plasticidad bajo cargas moderadas, con sugerencias para expandir base de datos e integrar aprendizaje automático en futuros trabajos.

ABSTRACT

This study estimates the compressibility of clays by determining the compression index (C_c) based on plastic properties, with the aim of providing a rapid and reliable alternative to traditional consolidation tests. Thirty undisturbed samples of low-plasticity clays (classified as CL according to SUCS) were collected from various neighbourhoods in Tarija - Bolivia, characterised by particle size analysis (ASTM D422) and Atterberg limit tests (ASTM D4318), with liquid limit (LL) values between 24% and 42%, plastic limit (PL) between 18% and 32%, and plasticity index (PI) between 3% and 21%. One-dimensional consolidation tests (ASTM D2435) were carried out to determine C_c (range 0.123–0.145). Using non-linear regression analysis, empirical correlations were developed: $C_c = 1 / (14.1148 - 1.89612 \times \ln(LL))$ with $R^2 = 0.7584$, $C_c = 1 / (5.28878 + 53.9707 / LP)$ with $R^2 = 0.7199$, and $C_c = \sqrt{(0.0129926 + 0.00223221 \times \ln(IP))}$ with $R^2 = 0.5744$, with LL standing out as the most accurate predictor. The results are compared with classical correlations (e.g., Skempton, Terzaghi) and recent ones (e.g., Habibbeygi et al., 2017; Shimobe & Spagnoli, 2021), showing better local fit but limitations in generalisation due to sample size and regional focus. It is concluded that these models are applicable for preliminary estimates in low-plasticity inorganic clays under moderate loads, with suggestions to expand the dataset and integrate machine learning in future work.

Palabras Clave: Compresibilidad - propiedades plásticas de arcillas - correlaciones empíricas.

Keywords: Compressibility – plastic properties of clays – empirical correlations.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería geotécnica, la determinación del índice de compresión (C_c) en suelos arcillosos representa un parámetro crítico para evaluar la compresibilidad y predecir asentamientos en estructuras civiles, como cimentaciones y obras de contención (Das, 2015). Tradicionalmente, este índice se obtiene mediante ensayos de consolidación en laboratorio, como el edómetro, que, aunque precisos, demandan tiempo, recursos y muestras inalteradas (Coduto et al., 2011). Esta limitación motiva la búsqueda de métodos alternativos que permitan estimaciones rápidas y confiables a partir de propiedades plásticas básicas, tales como el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP), las cuales son más accesibles mediante pruebas de Atterberg (Bowles, 1992). Sin embargo, la variabilidad inherente a los suelos arcillosos -influida por factores como el origen mineralógico, el contenido orgánico y el estado de consolidación- genera desafíos en la aplicación de correlaciones empíricas, lo que subraya la necesidad de enfoques que integren datos locales y modelos no lineales para mitigar errores en las predicciones (Holtz et al., 2011).

La literatura histórica ha establecido correlaciones fundamentales entre C_c y propiedades índice, como las propuestas por Skempton (1944) o Terzaghi y Peck (1967), que relacionan C_c con LL para arcillas normalmente consolidadas (Lambe & Whitman, 1979). No obstante, estos modelos clásicos exhiben limitaciones en suelos de alta plasticidad o con alto contenido orgánico, donde las desviaciones pueden superar el 30-50% en estimaciones de asentamientos, lo que compromete la seguridad estructural (Craig, 2004). Estudios recientes han avanzado hacia correlaciones más refinadas, incorporando variables como la relación de vacíos inicial (e_0) y el contenido de agua natural, demostrando coeficien-

tes de determinación (R^2) superiores a 0.8 en arcillas específicas de regiones como Colombia y Ecuador (Villarreal & Medina, 2019).

Ante esta problemática, la pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cómo se puede establecer una correlación precisa y rápida entre las propiedades plásticas (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) y el índice de compresión en arcillas locales para estimar su compresibilidad, superando las limitaciones de los métodos tradicionales de laboratorio?

El presente artículo aborda esta pregunta mediante una revisión bibliográfica y el desarrollo de correlaciones empíricas adaptadas, proponiendo un enfoque que combina propiedades plásticas con datos edométricos de laboratorio para estimar C_c en arcillas. Los objetivos específicos incluyen: (a) caracterizar las arcillas estudiadas, mediante ensayos de granulometría y límites de atterberg, para su posterior clasificación, (b) realizar pruebas de consolidación unidireccional de arcillas inalteradas para la determinación del índice de compresión, y (c) a partir de los resultados obtenidos de plasticidad e índice de compresión, establecer una manera rápida para obtener con precisión el índice de compresión en base a la plasticidad.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se fundamenta en un enfoque metodológico cuantitativo y de investigación básica, con un nivel de investigación correlacional.

La investigación adoptó un enfoque experimental cuantitativo, fundamentado en la hipótesis de que el índice de compresión (C_c) en arcillas puede correlacionarse con propiedades plásticas como el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP), permitiendo estimaciones rápidas que superen las limitaciones de los ensayos tradicionales de consolidación.

1.1. MATERIALES

Este diseño se basa en un muestreo intencional de arcillas extraídas de diferentes puntos de la ciudad de Tarija, seleccionadas para representar variabilidad en plasticidad y granulometría, con el fin de elaborar correlaciones empíricas adaptadas a contextos regionales, reconociendo que la generalización de modelos globales puede subestimar factores locales del suelo en estudio.

Se recolectaron 30 muestras de arcillas de diferentes barrios de la ciudad de Tarija, para realizar la caracterización de las muestras se procedió a extraer suelo perturbado, la cantidad de la muestra será de 3 kg por cada punto.

Por otra parte, para ejecutar los ensayos de consolidación unidimensional, se recolectaron muestras inalteradas representativas, mediante tubo Shelby para asegurar la integridad del muestreo, minimizando perturbaciones.

La extracción de muestras, consistió en lo siguiente:

- Se determinará si el suelo es plástico.
- En cada punto limpiar la cobertura vegetal.
- Efectuar excavación de 2 m de profundidad.
- Consignar todos los datos relevados a la muestra.
- Conservar la muestra en lugar fresco y enviar lo antes posible al laboratorio.

Para alcanzar el objetivo (a), la caracterización de las arcillas se realizó mediante ensayos de granulometría y límites de Atterberg, seguidos de clasificación, utilizando muestras inalteradas. El

análisis granulométrico siguió el procedimiento ASTM D422, que implica tamizado para partículas

mayores a 75 μm (retenidas en tamiz No. 200). Posteriormente, los límites de Atterberg se evaluaron conforme a ASTM D4318, dividiendo el proceso en preparación (secado al aire y tamizado), ejecución (determinación de LL mediante dispositivo Casagrande con 25 golpes para cierre de surco, y LP rodando rolltos de 3 mm) y análisis (cálculo de IP como $LL - LP$), con controles de precisión para evitar variabilidad operatoria (ASTM International, 2018).

La clasificación se efectuó bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, integrando porcentajes de finos (>50% para arcillas) y carta de plasticidad para asignar el símbolo correspondiente, en este caso CL.

El objetivo (b) se cumplió mediante pruebas de consolidación unidimensional en muestras inalteradas, utilizando el edómetro según ASTM D2435. El procedimiento incluyó preparación (corte de especímenes a diámetro de 63.5 mm y altura de 20 mm, saturación por inmersión), carga incremental (aplicando presiones de 12.5 a 800 kPa en duplicación geométrica, con duración de 24 horas por etapa para alcanzar consolidación primaria) y medición de deformaciones verticales con diales de precisión. C_c se calculó como la pendiente de la curva $e - \log \sigma'$ en la rama virgen, (recta de compresión) de la curva esfuerzo-relación de vacíos (e vs $\log \sigma'$) obtenida del ensayo. (Craig, 2004; ASTM International, 2020).

Finalmente, para el objetivo (c), se estableció una correlación entre plasticidad y C_c mediante análisis de regresión y correlación, procesando datos pareados de IP, LL y C_c . Se aplicaron modelos, evaluando bondad de ajuste, inspirado en enfoques que destacan la no linealidad en arcillas. La interpretación involucró comparación con correlaciones existentes, como la de Terzaghi (citada en Lambe & Whitman, 1979).

2. RESULTADOS

2.1. PLASTICIDAD Y COMPRESIBILIDAD DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Se llevó a cabo un programa de ensayos de laboratorio con 30 muestras de suelos arcillosos de ba-

rrios en crecimiento de la ciudad de Tarija. Se determinaron el contenido de humedad y la plasticidad. Además, se realizaron 30 pruebas de consolidación unidimensional aplicando incrementos de carga, variando los tiempos de aplicación de la carga según el programa de ensayos.

Tabla 3.1. Resultados de las pruebas de laboratorio realizadas.

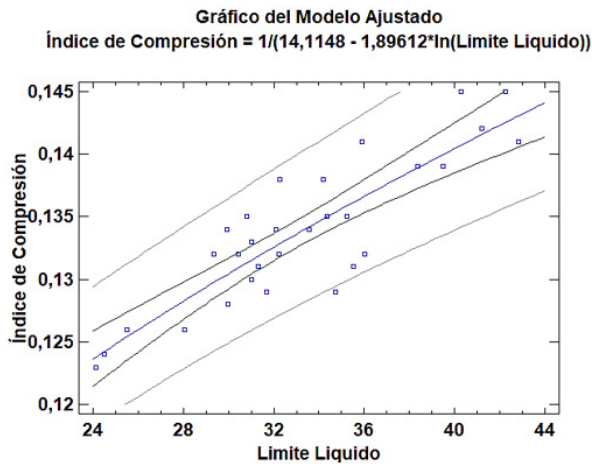
Nº	Lugar	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Cc	%W
1	Barrio Tabladita li	38,377	20,587	17,789	0,139	8,520
2	Barrio Tabladita l	39,485	18,172	21,313	0,139	17,767
3	Barrio Alto Senac	29,991	21,611	8,380	0,128	6,182
4	Barrio Catedral	31,030	21,256	9,774	0,133	10,453
5	Barrio Luis De Fuentes	41,184	23,808	17,376	0,142	10,878
6	Barrio San Antonio	31,680	25,646	6,034	0,129	12,451
7	Barrio German Busch	42,259	30,775	11,484	0,145	9,418
8	Barrio Los Chapacos	31,011	22,391	8,620	0,130	15,134
9	Barrio Panamericano	34,345	26,108	8,238	0,135	6,819
10	Barrio 3 De Mayo	32,213	23,956	8,257	0,132	8,519
11	Barrio Los Olivos	24,143	19,149	4,994	0,123	17,328
12	Barrio Defensores Del Chaco	25,492	21,399	4,093	0,126	12,589
13	Barrio Juan Pablo li	24,529	21,049	3,481	0,124	9,560
14	Barrio Libertad	28,065	21,324	6,741	0,126	16,036
15	Barrio San Pedro	29,347	22,274	7,073	0,132	11,489
16	Barrio San Jorge li	30,820	25,309	5,512	0,135	13,578
17	Barrio San Geronimo	29,937	23,277	6,660	0,134	9,583
18	Barrio Morros Blancos	32,109	26,046	6,063	0,134	12,609
19	Barrio Simon Bolivar	34,720	27,729	6,991	0,129	11,307
20	Barrio San Luis	36,024	29,038	6,987	0,132	15,278
21	Barrio San Jorge l	30,450	23,045	7,404	0,132	8,520
22	Barrio Bartolome Attar	31,317	23,761	7,555	0,131	13,690
23	Barrio Fabril	33,548	25,441	8,107	0,134	11,484
24	Barrio Lourdes	34,205	25,669	8,537	0,138	12,569
25	Barrio Andaluz	32,267	23,888	8,379	0,138	11,360
26	Barrio 2 de Mayo	35,515	26,868	8,647	0,131	12,512
27	Barrio Constructor	35,223	25,761	9,463	0,135	10,535
28	Barrio Pedro Antonio Flores	35,881	26,491	9,390	0,141	11,688
29	Barrio San Bernardo	40,295	30,194	10,102	0,145	8,654
30	Barrio La Florida	42,838	32,387	10,451	0,141	9,731

2.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Una vez determinados los valores de Cc y los límites de Atterberg, se establecieron correlaciones empíricas mediante análisis de regresión lineal y no lineal. Se evaluó la precisión de las correlaciones mediante coeficiente de determinación (R²), considerando la capacidad predictiva de la plasticidad para estimar la compresibilidad de las arcillas.

- Determinación de la ecuación de correlación entre el índice de compresibilidad y el límite líquido.

Figura 3.1. Grafico dispersión límite líquido e índice de compresibilidad.



De los modelos ajustados, el modelo "Inversa-Y Log-X" es el que arroja el valor más alto de R² con 75,84%. Éste es el modelo actualmente seleccionado.

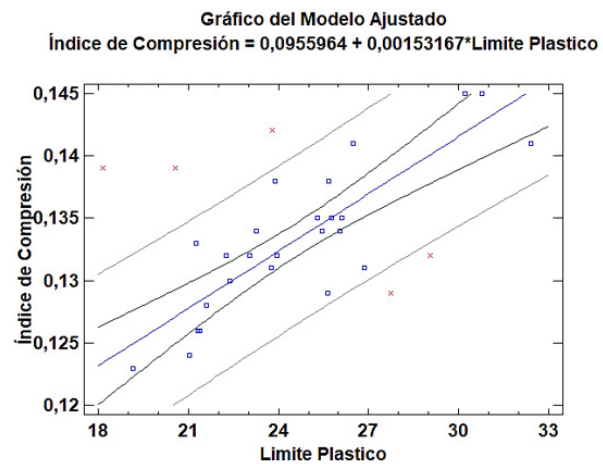
Inversa-Y Log-X:
$$Y = \frac{1}{a + b \cdot \ln(X)}$$

La ecuación al modelo ajustado es:

$$C.c. = \frac{1}{(14,1148 - 1,89612 \cdot \ln(L.L.))}$$

- Determinación de la ecuación de correlación entre el índice de compresibilidad y el límite plástico.

Figura 3.2. Grafico dispersión límite plástico e índice de compresibilidad.



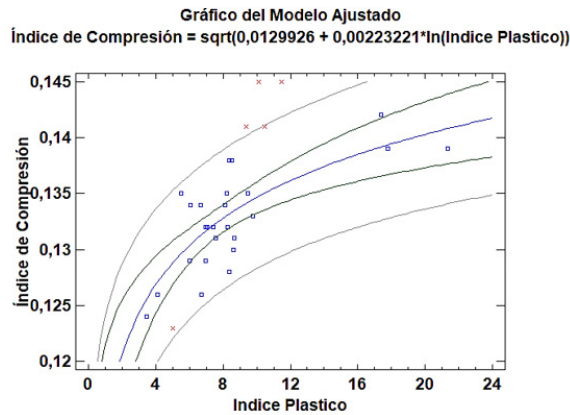
De los modelos ajustados, el Recíproco Doble es el que arroja el valor más alto de R² con 71,99%. Éste es el modelo actualmente seleccionado.

Recíproco Doble: $Y = 1/(a + b/X)$ La ecuación al modelo ajustado es:

$$C.c. = \frac{1}{5,28878 + \frac{53,9707}{LP}}$$

- Determinación de la ecuación de correlación entre índice de plasticidad - índice de compresibilidad.

Figura 3.3. Gráfico dispersión índice plástico e índice de compresibilidad.



De los modelos ajustados, el Cuadrado-Y Log-X es el que arroja el valor más alto de R2 con 57,44%. Éste es el modelo actualmente seleccionado.

Cuadrado-Y Log-X: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$ La ecuación al modelo ajustado es:

$$C_c = \sqrt{0,0129926 + 0,00223221 \cdot \ln(IP)}$$

3. DISCUSIÓN

Los principales hallazgos de este estudio radican en el desarrollo de correlaciones empíricas no lineales para estimar el índice de compresión (C_c) en arcillas de la ciudad de Tarija - Bolivia, a partir de propiedades plásticas obtenidas de 30 muestras inalteradas. Específicamente, se obtuvieron ecuaciones con coeficientes de determinación moderados a altos: $C_c = 1 / (14,1148 - 1,89612 \times \ln(LL))$ con $R^2 = 0,7584$ para el límite líquido (LL), $C_c = 1 / (5,28878 + 53,9707 / LP)$ con $R^2 = 0,7199$ para el límite plástico (LP), y $C_c = \sqrt{(0,0129926 + 0,00223221 \times \ln(IP))}$ con $R^2 = 0,5744$ para el índice de plasticidad (IP). Estos resultados, derivados de muestras con LL entre 24% y 42%, LP entre 18% y 32%, e IP entre 3% y 21%, indican que LL es el predictor más representativo, explicando aproximadamente el 76% de la variabilidad en C_c , lo que resalta su importancia para evaluaciones preliminares de compresibilidad en suelos arcillosos locales. La relevancia de estos hallazgos radica en

su capacidad para facilitar estimaciones rápidas y económicas, de asentamientos en anteproyectos civiles, como cimentaciones en áreas urbanas en expansión de Tarija.

En comparación con correlaciones empíricas clásicas, los modelos propuestos exhiben una mejor adaptación a los datos locales al incorporar formas no lineales, superando las limitaciones de ecuaciones lineales tradicionales. Por ejemplo, la correlación de Skempton (1944), $C_c \approx 0,007(LL - 10)$, y la de Terzaghi y Peck (1967), $C_c \approx 0,009(LL - 10)$, asumen una relación proporcional directa con LL para arcillas normalmente consolidadas. Estos contrastes subrayan la necesidad de calibraciones regionales, ya que los modelos clásicos, aunque fundamentales, no manejan adecuadamente no linealidades inherentes a variabilidades propias del suelo.

Respecto a investigaciones recientes, los resultados concuerdan con enfoques que enfatizan propiedades plásticas, pero revelan variaciones en precisión predictiva. Por instancia, Habibbeygi et al. (2017) propusieron $C_c \approx 0,830(eLL - eLP)$ para arcillas reconstituidas, logrando alta precisión en suelos por encima de la línea A de la carta de plasticidad, similar a las muestras en estudio, clasificadas como CL; sin embargo, la correlación con LL ofrece un R^2 comparable (0,76 vs. sus 0,8- 0,9), pero con énfasis en muestras inalteradas, lo que añade realismo práctico (MolaAbasi et al., 2016). Estudios como el de Saisubramanian y Murugaiyan (2021), que utilizan redes neuronales para arcillas marinas con $R^2 > 0,9$, superan la precisión alcanzada, esto sugiere que la integración de técnicas de aprendizaje automático podría elevar la precisión de los modelos, al incorporar variables adicionales como e_0 . En este contexto, Shimobe y Spagnoli (2021) proporcionan una revisión exhaustiva de correlaciones con propiedades índice, destacando que C_c se correlaciona fuertemente con LL (R^2 hasta 0,85), alineándose con los hallazgos presentados, pero critican la subestimación en arcillas orgánicas o expansivas,

un aspecto no explorado en Tarija, pero relevante para futuras investigaciones. Asimismo, Kaya et al. (2024), basados en una gran cantidad de datos de suelos finos, reportan correlaciones muy altas con w_n , e_o y densidad seca ($R^2 > 0.9$), y fuertes con LL e IP ($R^2 \approx 0.7-0.8$), lo que respalda la priorización de plasticidad. Esta comparación reflexiva indica que, aunque los modelos avanzan en contextos locales, integrarlos con bases de datos amplios, podría mitigar sesgos regionales.

No obstante, el estudio presenta limitaciones que podrían influir en la interpretación de los resultados, el muestreo se restringió a 30 muestras de Tarija, lo que limita la generalización a otras regiones con suelos arcillosos.

Aunque se usaron muestras inalteradas con tubos Shelby, perturbaciones mínimas durante extracción y transporte podrían alterar e_o , influyendo en correlaciones no lineales.

Estas restricciones, inherentes a un enfoque experimental local con recursos limitados, subrayan el hecho de que los valores obtenidos son aproximaciones de la compresibilidad del suelo, y su aplicación se limita a los anteproyectos y para realizar los proyectos es necesaria la ejecución del ensayo de laboratorio.

El reconocimiento de estas limitaciones abre vías para trabajos futuros, se sugiere expandir la base de datos >100 muestras, incorporando variables como e_o , w_n y densidad para modelos híbridos multivariable, posiblemente mediante aprendizaje automático para elevar $R^2 > 0.9$, como en Saisubramanian y Murugaiyan (2021).

4. CONCLUSIONES

El análisis técnico de los datos obtenidos de 30 muestras de arcillas inalteradas de Tarija revela que el índice de compresión (C_c) puede estimarse con precisión moderada a alta mediante propiedades plásticas, con correlaciones no lineales que explican entre el 57% y el 76% de la variabilidad. Específicamente, la ecuación $C_c = 1 / (14.1148 - 1.89612 \times \ln(LL))$ presenta un R^2 de 0.7584 para límites líquidos (LL) entre 24% y 42%, indicando una fuerte relación inversa logarítmica que minimiza errores medios cuadráticos en arcillas de baja plasticidad clasificadas como CL según SUCS. Para el límite plástico (LP, rango 18-32%), $C_c = 1 / (5.28878 + 53.9707 / LP)$ logra un R^2 de 0.7199, mientras que para el índice de plasticidad (IP, 3-21%), $C_c = \sqrt{(0.0129926 + 0.00223221 \times \ln(IP))}$ alcanza un R^2 de 0.5744, destacando que LL es el predictor más fiable debido a su correlación. Estos valores cuantitativos interpretan que las propiedades plásticas capturan efectivamente la compresibilidad primaria en suelos normalmente consolidados.

En balance, la investigación demuestra que estas correlaciones ofrecen una herramienta práctica para estimaciones preliminares de asentamientos en ingeniería geotécnica, reduciendo tiempos de laboratorio, comparado con ensayos edométricos tradicionales, y contribuyendo al conocimiento regional al validar modelos en arcillas con fracciones finas >50%.

Se aplican en casos de arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad (IP <20%, LL <40%) bajo cargas moderadas y condiciones saturadas, donde la predicción de C_c soporta diseños de cimentacio-

nes superficiales con factores de seguridad >1.5 . La aplicación es limitada en suelos de alta plasticidad (CH, IP $>20\%$) o con contenido orgánico $>5\%$, donde subestimaciones de C_c pueden exceder el 20-30% debido a no linealidades no capturadas, requiriendo validación con e_0 o w_n .

No se deben aplicar en estructuras como presas o puentes, ni en arcillas expansivas sometidas a ciclos de humedecimiento-secado, donde errores $>50\%$ comprometen la estabilidad, ni en suelos remodelados sin calibración específica.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva Hurtado, J. E. (2015). Cimentaciones superficiales. Editorial Ingeniería Civil.
- Benítez Reynoso, 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 Reynoso, 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 Reynoso, 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 Reynoso, A. (2017). Métodos de Investigación en Ingeniería Estructural. PRIMER CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 26-28 de octubre, Tarija (Bolivia).
- Benítez Reynoso, 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 Reynoso, 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 Reynoso, 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 Reynoso, 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 Reynoso, 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 Reynoso, 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.

- 🔖 Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- 🔖 Bowles, J. E. (1997). *Engineering properties of soils and their measurements* (4th ed.). McGraw-Hill.
- 🔖 Budhu, M. (2011). *Soil mechanics and foundations* (3rd ed.). Wiley.
- 🔖 Coduto, D. P., Yeung, M. R., & Kitch, W. A. (2011). *Geotechnical engineering: Principles and practices* (2nd ed.). Pearson.
- 🔖 Craig, R. F. (2004). *Soil mechanics* (7th ed.). Spon Press.
- 🔖 Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4.ª ed.). Cengage.
- 🔖 Das, B. M., & Sobhan, K. (2013). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- 🔖 Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Cengage.
- 🔖 Habibbeygi, T., Seral, S., & Tizpa, P. (2017). Determination of the compression index of reconstituted clays using intrinsic and normalization concepts. *International Journal of GEOMATE*, 13(39), 54–60.
- 🔖 Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. Prentice Hall.
- 🔖 Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An introduction to geotechnical engineering* (2nd ed.). Pearson.
- 🔖 Kaya, Z., Özsoy, A., ... (2024). Correlations between physical properties and compression index of fine-grained soils based on a large dataset. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1330, 012007.
- 🔖 Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1979). *Soil mechanics*. John Wiley & Sons.
- 🔖 MolaAbasi, H., Shooshpasha, I., & Ebrahimi, A. (2016). Prediction of the compression index of saturated clays (C_c) using polynomial models. *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 23(2), 500–507.
- 🔖 Nelson, J. R. (2012). *Geotecnia aplicada a la ingeniería civil*. Universidad Nacional del Nordeste.
- 🔖 Poliotti, M., & Sierra, P. (2010). *Geología y geotecnia*. Universidad Nacional de Rosario.
- 🔖 Saisubramanian, R., & Murugaiyan, V. (2021). Prediction of compression index of marine clay using artificial neural network and multilinear regression models. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 5(4), 114–124.
- 🔖 Shimobe, S., & Spagnoli, G. (2021). A general overview on the correlation of compression index of clays with some geotechnical index properties. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(7), 5079–5095.
- 🔖 Terzaghi, K. (1925). *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage*. Franz Deuticke.
- 🔖 Zhang, L., & Tang, W. H. (2020). *Soil parameters and correlations* (2nd ed.). Elsevier.
- 🔖 Villarroel, A., & Medina, C. (2019). *Consolidación y comportamiento mecánico de suelos finos en laboratorio*. Universidad Nacional de Ingeniería.

PRUEBAS DE APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D Y FRESADO CNC EN MICROFLUIDICA

TESTS ON THE APPLICABILITY OF 3D PRINTING AND CNC MILLING
TECHNOLOGIES IN MICROFLUIDICS

Fecha de recepción: 01/08/2025 | Fecha de aceptación: 25/10/2025

Autor

Daroca Aparicio Adrian Waldemar¹

¹ BlackHol Lab

Correspondencia del autor: .

París - Francia

RESUMEN

Este estudio analiza la aplicabilidad de tecnologías de prototipado rápido, como la impresión 3D y el fresado CNC, en el campo de los microfluidica. El objetivo fue seleccionar máquinas de escritorio y bajo costo que puedan ser implementadas en la fabricación de dispositivos microfluídicos dentro del catálogo de la start-up BlackHole Lab. Se realizó una revisión bibliográfica y una evaluación técnica de proveedores, considerando factores como resolución, materiales compatibles, tiempos de fabricación y costos. Se recibieron muestras de impresión 3D de dos proveedores (Formlabs y Miicraft), y se accedió físicamente a una máquina CNC de Bantam Tools. Los resultados mostraron que ambas tecnologías son prometedoras para la fabricación rápida de chips microfluídicos con buena calidad superficial, especialmente en canales de hasta 200–250 μm . Se concluye que tanto la impresión 3D como el fresado CNC presentan potencial para expandir las capacidades de fabricación en microfluidica a bajo costo.

ABSTRACT

Rapidly prototyping for microfabrication is growing interest for the advantages that it presents, which include easy to use, shorter manufacturing process and lower cost. BlackHole Lab, a microfluidic company that provides turnkey soft lithography stations, aims to design and adapt new solutions to make microfabrication simpler and more affordable. The aim of this study is to evaluate the applicability of rapidly prototyping, 3D printing and CNC machining, in the microfluidic field followed by the evaluation of providers which could fulfill the requirements of low-cost-desktop machine for their acquisition. Thus, a bibliographic review was performed focusing on the machines of the chosen suppliers. The actual work pretends to provide a guide for the continuation for the optimal choice for the fabrication of a new solution kit for BlackHole Lab using machines from both technologies.

Palabras Clave: microfluidica, fabricación de microchips, prototipado rápido, impresión 3D, fresado CNC.

Keywords: microfluidics, microfabrication, rapid prototyping, 3D Printing, CNC Machining.

1. INTRODUCCIÓN

La microfluídica se refiere a la tecnología de manipulación de fluidos en canales con dimensiones de decenas a cientos de micrómetros¹. En mecánica de fluidos, existen dos tipos generales de flujo: turbulento y laminar. El régimen turbulento se da cuando predominan las fuerzas de inercia, mientras que en el régimen laminar no se produce turbulencia, lo que permite transportar las moléculas de forma relativamente predecible². El número de Reynolds permite caracterizar el régimen de flujo de un fluido a través de un canal. Este parámetro se define como:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

Donde ρ es la densidad del fluido, v es la velocidad del fluido, L es la escala de longitud del canal y μ es la viscosidad dinámica.

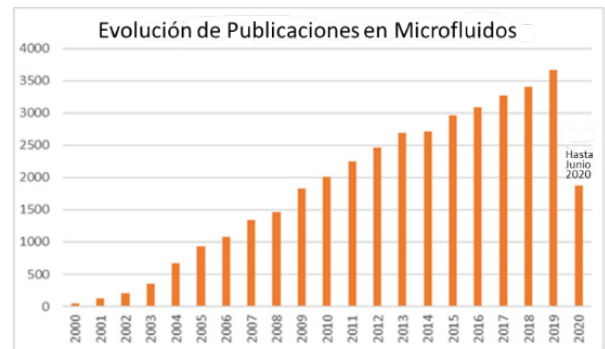
Cuando el número de Reynolds es mayor de 2000, se considera que el fluido se encuentra en régimen turbulento; por otro lado, cuando este valor es menor de 2000, el régimen de flujo es laminar.

Debido a las pequeñas dimensiones de los microcanales en microfluídica, el número de Reynolds es lo suficientemente bajo como para que el flujo se considere en régimen laminar³. Dado que la mayoría de los dispositivos microfluídicos operan con un número de Reynolds bajo, la ecuación de Navier-Stokes para el flujo de fluidos se vuelve lineal y el flujo es laminar. Este resultado tiene numerosas consecuencias prácticas para los esfuerzos por miniaturizar los ensayos biológicos y producir sistemas de laboratorio en un chip⁴. El pequeño tamaño de los canales de los dispositivos ofrece numerosas ventajas y beneficios, como un menor consumo de reactivos y disolventes, menor tiempo de análisis, la posibilidad de realizar varias pruebas en un solo dispositivo, la reducción de residuos químicos y la

posibilidad de lograr condiciones de reacción más uniformes y productos de mayor calidad modificando algunas propiedades químicas y físicas (temperatura, concentración, pH, etc.).

La microfluídica surgió a principios de la década de 1980 y se derivó inicialmente de la microelectrónica. Se aplicó en el desarrollo de la impresión de inyección de tinta, las tecnologías microtérmicas, los chips de ADN y las tecnologías prototipo de laboratorio en un chip (LOC siglas en inglés)³. Dado que supone una revolución prometedora en numerosos campos como la biología, la medicina, la industria farmacéutica, la química y el medio ambiente, ha ido despertando un interés creciente en los últimos años, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Evolución del número de publicaciones en el campo de la microfluídica entre 2000 y 2020. Datos extraídos de PubMed.



Los primeros chips microfluídicos se fabricaron en obleas de silicio, debido a su origen en la microelectrónica. Posteriormente, se introdujeron el vidrio y algunos polímeros para la fabricación de chips, incluyendo el polidimetilsiloxano (PDMS), el material más común en la actualidad. Tanto el silicio como el vidrio presentan ventajas en cuanto a propiedades mecánicas, como alta termoestabilidad, compatibilidad con disolventes y carga superficial estable. Sin embargo, fue a finales del siglo XX que el PDMS se convirtió en el material más popular para la fabricación de dispositivos microfluídicos debido a sus numerosas ventajas: Propiedades físicas: transpa-

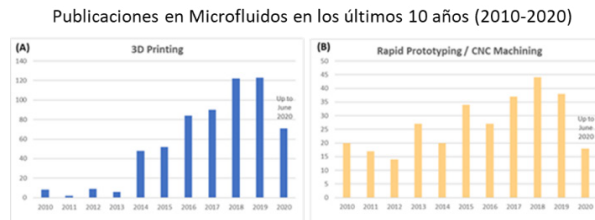
rente, blando, curado a baja temperatura, flexible, absorbe pequeñas moléculas hidrófobas, no tóxico, deformidad reversible, alta permeabilidad a los gases, ideal para cultivos celulares, absorción no específica y facilidad de fabricación. Se puede unir fácilmente a sí mismo o a otros materiales. Se puede unir irreversiblemente a otros materiales mediante tratamiento con plasma. Sin embargo, el PDMS también presenta algunas desventajas como la absorción de moléculas indeseables, su baja rigidez puede provocar la deformación de los microcanales⁵ y limitaciones con disolventes orgánicos, lo que restringe su uso en algunas aplicaciones^{5,6}.

1.1. TÉCNICAS DE MICROFABRICACIÓN

Existen diversos métodos para la fabricación de dispositivos microfluídicos; sin embargo, el enfoque de su fabricación está muy influenciado por el tipo y las propiedades del material utilizado, el equipo disponible, el costo, la velocidad y las capacidades de fabricación (por ejemplo, el tamaño y el perfil deseados). Entre las más comunes se puede mencionar Litografía Suave, Modelo por Inyección y Estampado en Caliente.

El prototipado rápido o escritura directa es relativamente una técnica de microfabricación que consiste en la fabricación de una estructura o conjunto mediante archivos de diseño asistido por computadora. Los estudios de microfluídica que utilizan este tipo de tecnología como alternativa a las técnicas convencionales son cada vez más comunes en la literatura científica debido a sus ventajas. Entre las tecnologías de prototipado rápido, dos han captado gran atención en el campo de la microfluídica: la impresión 3D y el mecanizado CNC. Las publicaciones sobre microfluídica con estas tecnologías han aumentado en los últimos 10 años, como se muestra en la Figura 2

Figura 2. Evolución del número de publicaciones en el campo de la microfluídica entre 2010 y 2020. La búsqueda general se realizó utilizando: tema "microfluídica" (A) palabra clave: impresión 3D (B) palabras clave: prototipado rápido / fresado CNC. Datos extraídos de PubMed.



2. BLACKHOLE LAB

Los chips microfluídicos suelen fabricarse en una sala blanca, también conocida como sala limpia, que consiste en un espacio diseñado para minimizar la presencia de partículas, contaminantes y microorganismos en el ambiente. Sin embargo, la compra, el equipo y el mantenimiento de una sala blanca resultan muy costosos para muchos laboratorios de investigación. Por ello, la posibilidad de fabricar los dispositivos fuera de una sala blanca ha despertado gran interés, conocidos como "makerspaces". Este término se refiere a espacios físicos accesibles, donde se puede acceder a herramientas para fabricar prácticamente cualquier cosa⁹. Asimismo, en los últimos años, ha crecido el movimiento de biología "Hazlo Tú Mismo" (Do It Yourself – DIY en inglés), que suele incluir herramientas e infraestructura básica para realizar proyectos de investigación en biología y microbiología⁷.

BlackHole Lab ofrece estaciones de litografía suave de llave en mano, brindando a cualquier laboratorio de investigación, sin importar su tamaño, la oportunidad de fabricar sus propios chips microfluídicos fuera de una sala limpia. Es una start-up de microfluidos fundada en 2014 y forma parte de "La Vallée Microfluidique", un consorcio de empresas francesas que trabajan en el campo de la microfluídica.

La idea general es proponer un conjunto de equipos que se puedan utilizar fuera de una sala limpia con la misma eficiencia. Tras varios años de investigación y pruebas, encontraron un conjunto de dispositivos bien pensados que trabajan juntos para ofrecer la mejor solución para la fabricación microfluídica.

La empresa vende estaciones de kit que contienen todo lo esencial y necesario para el objetivo mencionado anteriormente. Esto incluye todo el equipo, además de documentación escrita, capacitación y extras (materias primas, productos químicos, consumibles), por lo que no es necesario adquirir nada adicional.

Sin embargo, en procesos de fabricación manual o no estandarizados aún persisten altos tiempos de producción por dispositivo, especialmente durante las etapas de diseño, preparación del molde y curado. Además, la variabilidad en la manipulación y las condiciones de entorno pueden generar rechazos y piezas no conformes, lo que incrementa los retrabajos y la pérdida de material. Esta situación no solo afecta la eficiencia, sino que también incrementa los costos operativos y prolonga el tiempo total hasta obtener un dispositivo funcional.

Durante el año 2019, el área de producción registró un índice promedio de rechazo del 12,8% en piezas pertenecientes a la línea de ensamblaje final, lo que equivale a aproximadamente 3.200 unidades no conformes. Además, se identificó que el 67% de estos rechazos se originaron por errores dimensionales en componentes fabricados de manera manual.

OBJETIVO DEL TRABAJO

Desde su creación, BlackHole Lab ha ampliado su oferta incorporando kits de laminación con películas fotográficas secas y soluciones de xurografía

para fabricar dispositivos en papel o adhesivos. No obstante, su objetivo es proporcionar la gama más amplia posible de soluciones de microfabricación, considerando factores como el costo, los materiales y la resolución alcanzable.

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar métodos y tecnologías de microfabricación alternativos a los actualmente ofrecidos, con el propósito de identificar nuevas opciones para sus clientes. Se busca un proceso de fabricación accesible, autónomo, de bajo costo, con buena precisión dimensional y capacidad de replicación. La investigación se enfoca en analizar cómo la impresión 3D y el fresado CNC pueden mejorar la producción de microchips funcionales, su compatibilidad con aplicaciones biológicas y la identificación de proveedores que cumplan con los requisitos técnicos necesarios.

3. ESTADO DEL ARTE

Aunque la impresión 3D y el fresado CNC no fueron creados específicamente para propósitos de microfabricación, actualmente han encontrado aplicaciones en este campo debido a su capacidad para fabricar estructuras complejas con alta definición mediante un proceso de un solo paso. Este proceso implica la creación directa de dispositivos a partir de datos digitales hasta la estructura final con una única máquina. Además, el tiempo requerido para la fabricación se reduce considerablemente. En Tabla 1 se tiene una comparativa de CNC e Impresión 3D vs la Manufactura convencional

Tabla 1. Comparación de tecnologías de fabricación de prototipos: Manufactura Convencional, CNC e Impresión 3D

Criterio	Manufactura Manual/ Convencional	Mecanizado CNC	Impresión 3D (Fabricación Aditiva)
Precisión y repetibilidad	Baja a media. Depende de la destreza del operario. Alta variabilidad.	Alta precisión y repetibilidad constante ± 0.01 mm.	Alta precisión en geometrías complejas, especialmente en prototipos y piezas pequeñas.
Complejidad de piezas	Limitada. Geometrías simples.	Alta capacidad para geometrías complejas, pero con limitaciones en cavidades internas.	Excelente para geometrías muy complejas, piezas huecas, estructuras livianas y orgánicas.
Velocidad de producción	Lenta. Cíclica y manual.	Rápida y consistente, permite producción en serie.	Media. Puede ser más lenta por capas, pero acelera el desarrollo de prototipos.
Costo por pieza	Alto en volumen bajo, bajo en volumen muy alto.	Eficiente en series pequeñas y medianas con costo unitario estable.	Muy bajo para prototipos y pequeñas series. Aumenta si se requiere producción masiva.
Desperdicio de material	Alto por operaciones de corte.	Medio. Se optimiza, pero sigue siendo sustractivo.	Muy bajo (0-5%), ya que solo se usa el material necesario.
Flexibilidad de diseño	Muy baja. Requiere ajustes manuales y herramientas.	Media-Alta. Modificar diseños requiere ajustes en programación.	Muy alta. Se modifica directamente desde el modelo digital sin requerir herramientas adicionales.
Inversión inicial	Baja, pero costos altos de mano de obra y errores.	Media-Alta. Implica adquirir tecnología y capacitación, pero se recupera con productividad.	Media. Equipos accesibles para prototipado y medianos para producción.
Dependencia del operador	Muy alta, riesgo de variabilidad y error humano.	Media. Requiere capacitación, pero el proceso es estandarizado.	Baja. El operador configura, pero el proceso es prácticamente autónomo.

Con el fin de determinar si la impresión 3D y el fresado CNC serían tecnologías adecuadas para una nueva oferta alineada con la filosofía de BlackHole Lab, es necesario tener en cuenta ciertos factores como el costo, la resolución, el tiempo de producción y los materiales. Estos factores están directamente relacionados con la selección de proveedores.

También se consideraron revisiones de artículos científicos como parte de la preselección, las cuales se estudian más adelante en las secciones 4.2 Impresión 3D y 4.3 Fresado CNC.

4.1 SELECCIÓN DE PROVEEDORES

Seleccionar al proveedor adecuado es una de las tareas más desafiantes en el proceso de configuración de un nuevo kit de fabricación, ya que se deben tener en cuenta múltiples consideraciones. Los criterios utilizados para la selección de proveedores fueron:

Experiencia en el sector y en el mercado, Confiabilidad, Flexibilidad, Capacidad de respuesta ante cambios, Calidad del producto y del servicio, Consistencia y Enfoque colaborativo (Partnership).

Después de una investigación, se estableció contacto con proveedores capaces de ofrecer impresoras 3D y máquinas CNC orientadas al objetivo planteado. En ambos casos, la oferta del mercado es extensa; sin embargo, dos factores fueron clave en la selección: que las máquinas debían ser de tipo escritorio (desktop) y de bajo costo.

Se recibieron numerosas propuestas tentativas de diversos proveedores; no obstante, algunas no cumplían con los requisitos. Por ejemplo, en el caso del fresado CNC, el proveedor MDA Precision ofrecía máquinas con alta resolución, pero debido a su tamaño y peso, no podían ser consideradas de escritorio. Además, su precio rondaba los USD 45.000. Algo similar ocurrió con impresoras 3D ofrecidas por proveedores como Stratasys y 3D Systems, cuyos productos superaban ampliamente el presupuesto establecido.

Con el objetivo de mantener una oferta accesible dentro del catálogo de BlackHole Lab, se definió un presupuesto máximo de €10.000. Tras varias reuniones y consultas, se seleccionaron dos proveedores por cada tecnología para una evaluación más profunda. Todos ellos cumplían con el requisito de ser máquinas de escritorio y bajo costo, además de los criterios mencionados anteriormente.

La información resumida sobre los proveedores seleccionados y las máquinas propuestas se presenta en la Tabla 2 Impresora 3D y Tabla 3 Fresado CNC.

Tabla 2. Nombre del proveedor, tipo de máquina, precio y país de origen seleccionados para impresora 3D.

IMPRESORA 3D			
Proveedor	Máquina	Precio (€)	País
FormLabs	Form 2	2399	Francia
	Form 3	3299	
Miicraft	Prime 150	~ 3500	Alemania

Tabla 3. Nombre del proveedor, tipo de máquina, precio y país de origen seleccionados para fresado CNC.

FRESADO CNC			
Proveedor	Máquina	Precio (USD)	País
Bantam Tools	Basic PCB	2499	Estados Unidos
	Advanced Bundle PCB	3299	
Carbide 3D	Nomad 833 Pro	2499	Estados Unidos

4.2 IMPRESIÓN 3D

Una de las tecnologías más universales en los makerspaces es la impresión 3D, la cual ha sido considerada como el inicio de una revolución también en el campo de la microfluídica^{8,9}. Se trata de una tecnología de fabricación por capas, en la que el proceso consiste en depositar una capa base, seguida del material de impresión; y en las zonas donde existen estructuras colgantes, se deposita un material de soporte para mantener la forma de la pieza.

Algunas de las ventajas que presenta la impresión 3D incluyen: Reducción del proceso de fabricación de dispositivos a un solo paso y de forma sencilla,

Disminución del tiempo de fabricación, ya que el proceso puede realizarse con una sola máquina, Fácil replicación, ya que el proceso es completamente automatizado, Alta resolución y estructura de poros definida en el dispositivo, Amplia gama de materiales disponibles, Posibilidad de fabricar componentes microfluídicos complementarios, como discos giratorios (spinners) para dispositivos centrífugos, anillos de alineación e incluso equipos comunes de laboratorio.

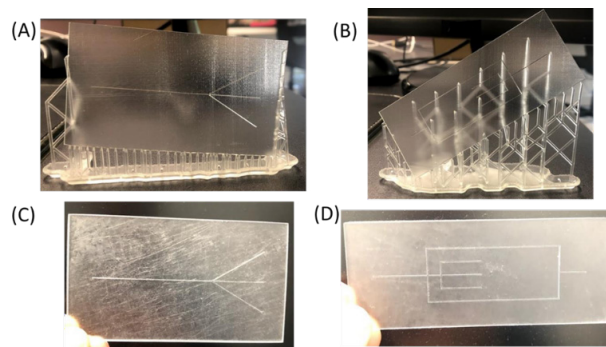
Además, los archivos de diseño en 3D suelen compartirse de manera abierta en la web, lo que permite un fácil acceso para descargar e imprimir dispositivos microfluídicos. En la actualidad, existe un número creciente de impresoras 3D comerciales capaces de producir estructuras que van desde unos pocos micrómetros hasta varios centímetros, a medida que el desarrollo de prototipos se aproxima cada vez más a la microfabricación.

Como se mencionó en la sección 4.1 Selección de Proveedores, FormLabs y Miicraft fueron los proveedores elegidos para la impresión 3D. Se recibieron dos muestras de cada proveedor, las cuales se describen brevemente en la Tabla 4 y se pueden ver en la Figura 3. Se realizarán pruebas para evaluar la calidad de los chips, tales como mediciones de tamaño, grosor, peso, rugosidad, ensayos de microscopía, reacción con PDMS y con solventes de limpieza.

Tabla 4. Información general de las muestras recibidas.

Proveedor	Máquina	Material	Chip de Enfoque de Flujo	Chip Basado en Gotas
FormLabs	Form 2	Clear Resin	X	X
Miicraft	Prime 150	3DM Tough Resin	X	X

Figura 3. Muestras de chips: (A) Enfoque de flujo de Formlabs, (B) Basado en gotas de Formlabs, (C) Enfoque de flujo de Miicraft, (D) Basado en gotas de Miicraft.



4.2.1. FormLabs

Willian G. et al demostraron el ensamblaje Golden Gate en dispositivos microfluídicos impresos en 3D; además, se diseñó y fabricó una bomba de jeringa impresa en 3D para operar dichos dispositivos.

La máquina utilizada fue la impresora Form 1+ de FormLabs, una impresora de escritorio de estereolitografía (SLA). Los dispositivos fueron diseñados y fabricados con un canal de sección cuadrada de 650 μm como el más pequeño, y un canal circular de 900 μm como el más pequeño de ese tipo. Como se mencionó anteriormente, la bomba de jeringa también fue impresa en 3D; sin embargo, la máquina utilizada para ello fue una impresora 3D de modelado por deposición fundida (FDM) de MakerBot Industries.

La fabricación de los dispositivos se realizó utilizando la resina fotoactiva "Clear" (formulación: FLGPCL02), un material de FormLabs. Los dispositivos microfluídicos fueron diseñados en SolidWorks como archivos STL y luego abiertos en el software Preform de FormLabs.

Se probaron canales con geometría circular y cuadrada para evaluar la resolución de la impresora 3D. Los dispositivos con canales internos presentaron una desviación estándar de 0,12 mm (el canal fue diseñado para 1,5 mm y se midió en 1,30 mm). La rugosidad superficial fue analizada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), donde se observó cierta deformación y mayor rugosidad superficial en comparación con otras impresoras.

El uso de esta impresora 3D junto con la resina mencionada permitió interacciones de diseño rápidas y de bajo costo, además de una claridad óptica cercana.

También se fabricaron dispositivos para investigar si el material de resina impreso en 3D inhibía la acción de muestras biológicas. Se demostró una buena compatibilidad con reacciones enzimáticas de interés para la biología sintética; sin embargo, se aplicó un pretratamiento, que consistió en curar los dispositivos bajo una lámpara UV fluorescente de 15 watts durante 24 horas. Los dispositivos también fueron sometidos a un proceso de limpieza sencilla con alcohol isopropílico al 91 % durante 5 minutos, finalizando con una inyección de aire comprimido.

El tiempo necesario para imprimir los dispositivos fue de entre 3 a 4 horas, y el costo del material por dispositivo fue de aproximadamente menos de USD 6.

Heidt et al. caracterizaron la calidad de impresión de la Form 2 de FormLabs en aplicaciones microfluídicas, centrándose en la precisión, características ópticas y exactitud de canales embebidos y abiertos. Las resinas utilizadas en el estudio fueron: Clear resin V4 (FLGPCL04), Tough resin V5 (FLTOTL05) y High Temperature resin V2 (FLHTAM02). Todos los objetos de prueba fueron diseñados en Fusion 360.

Respecto a la precisión, se evaluó la influencia del tipo de resina y de la inclinación del objeto durante la impresión. Para la exactitud embebida, se imprimieron objetos de prueba con un canal cuadra-

do embebido orientado en cinco ángulos distintos (entre 0° y 90°). Para la evaluación de la exactitud externa, se imprimieron diferentes geometrías (canales abiertos, formas circulares y cuadradas). La evaluación óptica se realizó midiendo el espectro visible completo de 380 a 740 nm.

Se fabricaron canales abiertos y cerrados con distintas orientaciones, tamaños y tipos de resina. Los canales abiertos resultaron ser menos difíciles de fabricar que los cerrados. En los canales internos, la resina Clear mostró el peor desempeño entre las tres resinas, mientras que en los canales abiertos se obtuvo mejor precisión y sin mucha diferencia entre los tres tipos de resinas, aunque la resina Tough tuvo el rendimiento más bajo, posiblemente debido a sus propiedades particulares de curado.

En cuanto a características abiertas, todas las muestras alcanzaron una precisión superior al 89 %, siendo la más alta lograda por la resina Clear en la característica más pequeña (0,5 mm); sin embargo, cuanto más pequeña la muestra, mayor fue la tendencia a perder la forma cuadrada perfecta. En general, con un tamaño promedio de 1,5 mm, todos los dispositivos con las distintas resinas mostraron la mayor precisión.

Los canales cerrados ofrecieron un mejor rendimiento con canales de mayor tamaño y ángulos más pronunciados, demostrando que algunos objetos no pudieron ser impresos en absoluto o presentaron muy baja precisión al trabajar con canales y ángulos más pequeños, siendo nuevamente la Clear resin la de peor rendimiento entre las tres.

4.2.2. Miicraft

Shallan et al. fabricaron dispositivos microfluídicos transparentes en 3D utilizando una impresora del proveedor Miicraft, con el fin de demostrar su potencial para una fabricación rápida de dispositivos lab-on-a-chip. El material empleado fue una resina llamada Transparent Resin, también adquirida del mismo proveedor. La impresora es un equipo de es-

critorio basado en DMD (Dispositivo Digital de Micromirrors) con proyección desde abajo. Los objetos fueron creados en software CAD y luego convertidos en archivos STL.

Se estudió el rendimiento en la dirección Z, concluyendo que está gobernado por el movimiento ascendente del escenario, el cual depende del número de giros del eje que lo soporta.

La sección transversal mínima alcanzada fue de 250 μm para canales cerrados y 200 μm para canales abiertos (estos últimos usados como plantillas para litografía blanda).

Se demostró su aplicabilidad en microfluídica con la fabricación de dispositivos como mezcladores, generadores de gradientes, extractores de gotas e isotacoforesis. Estas aplicaciones se beneficiaron de la geometría tridimensional, que facilitó la conexión con otras unidades, así como la modificación rápida y flexible de las dimensiones de los canales. También se observó una distribución homogénea de los fluidos. Además, se demostró la compatibilidad y resistencia de los dispositivos frente a disolventes orgánicos.

En general, la fabricación de dispositivos tomaba entre 3 a 4 horas para su ensamblaje completo, y el costo por dispositivo variaba entre USD 5 a 20, dependiendo de la aplicación y su complejidad. El tiempo más corto registrado para la impresión de un dispositivo microfluídico simple fue de 12 minutos.

Macdonald et al. realizaron una comparación entre tres tecnologías de impresión 3D: modelado por deposición fundida (FDM), PolyJet y estereolitografía por procesamiento de luz digital (DLP-SLA), optimizando un dispositivo microfluídico con forma de unión en Y para cada tipo de impresora.

La impresora Miicraft+, del tipo DLP-SLA de escritorio, fue utilizada con la resina transparente BV-007. Los diseños fueron segmentados (sliced) usando

Creation Workshop y editados con Photoshop Elements.

En comparación con las otras dos tecnologías, la impresora Miicraft produjo canales con paredes laterales rectas, muy similares a las obtenidas por métodos tradicionales de microfabricación, logrando una replicación casi exacta del diseño CAD original. Los dispositivos obtenidos ofrecieron los mejores resultados en términos de rugosidad superficial, presentando las superficies más suaves entre las impresoras analizadas. Otra gran ventaja es que fue capaz de imprimir canales sin necesidad de soportes.

El postprocesado consistió en unir el dispositivo a un portaobjetos de vidrio con resina y exponerlo a luz UV.

El costo por dispositivo fabricado fue de USD 2. Los dispositivos realizados con la impresora Miicraft+ demostraron ser los más adecuados para aplicaciones microfluídicas que requieren flujo laminar y mínima mezcla, en comparación con las otras impresoras.

4.2.3. Conclusión sobre las impresoras 3D seleccionadas

La literatura muestra la aplicación de impresoras 3D en el ámbito de la microfabricación. Las impresoras analizadas en este estudio fueron adquiridas de Formlabs y Miicraft.

Con la impresora de Formlabs, se lograron canales impresos de sección cuadrada con un diámetro tan pequeño como 650 μm , y canales circulares de 900 μm , con una desviación estándar de 0,12 mm en los canales internos. No obstante, se observó una mayor rugosidad superficial y deformación en los dispositivos en comparación con otras impresoras.

También se demostró una buena compatibilidad de estos dispositivos con investigaciones biológicas,

siempre que se realizara un pretratamiento adecuado.

En cuanto al rendimiento de la impresora de Mii-craft, se alcanzó una sección transversal mínima de 250 μm para canales cerrados y de 200 μm para canales abiertos. Esta impresora presentó los mejores resultados en cuanto a rugosidad superficial en comparación con otras impresoras 3D. Además, se demostró claramente su aplicabilidad en microfluídica.

4.3. FRESADO CNC

Se trata de un método de manufactura eficiente en tiempo y de bajo costo, con la capacidad de fabricar microestructuras complejas y multinivel en comparación con las técnicas clásicas de microfabricación. Por lo tanto, el fresado mediante máquinas CNC ofrece flexibilidad en el diseño, ahorro de tiempo experimental y permite el uso de una amplia gama de materiales.

Existen estudios que demuestran cómo la modificación de la geometría de un dispositivo microfluídico puede alterar los resultados, por ejemplo, el tamaño de las gotas, la tasa de generación y el régimen de flujo; en consecuencia, las máquinas de fresado son una excelente opción debido a su óptimo rendimiento en términos de fabricación rápida y económica de dispositivos.

El uso de máquinas de micromecanizado en el campo de la microfluídica representa una gran ventaja; se pueden aplicar dos enfoques: utilizar la máquina para la producción de un molde, o emplearla para fabricar microcanales directamente sobre los sustratos.

La idea del micromecanizado se basa en la remoción mecánica del material del sustrato, donde la calidad final de la superficie depende de los parámetros de operación como la velocidad del husillo (spindle speed), profundidad de corte, velocidad de avance y condiciones de trabajo.

Las máquinas CNC están completamente automatizadas; solo necesitan un archivo digital con las instrucciones sobre las trayectorias de corte y las herramientas a utilizar. Los movimientos en los ejes x, y y z se ejecutan y controlan mediante comandos. Todas las operaciones, como la velocidad, el avance, la profundidad de corte, se llevan a cabo mediante códigos.

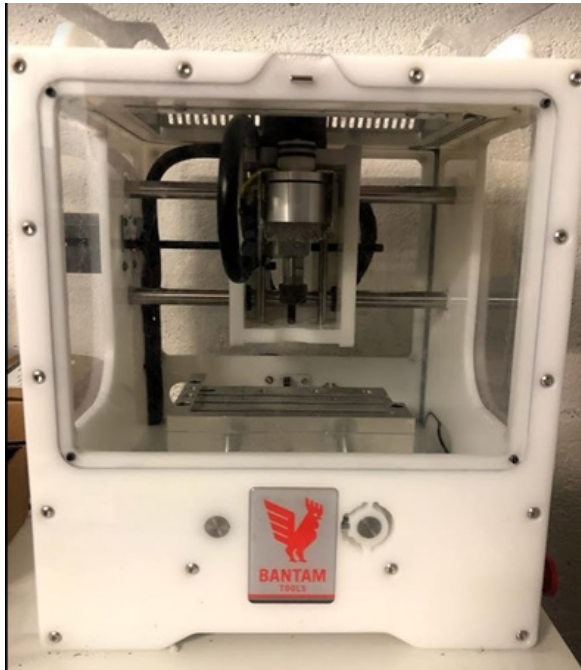
El proceso básico de una máquina CNC se puede dividir en tres pasos: 1. El modelo es diseñado (usualmente en software CAD). 2. El archivo se convierte del formato CAD a un programa CNC, conocido como G-code. 3. El sistema CNC ejecuta todas las operaciones de mecanizado con mínima supervisión, eliminando material y creando el modelo.

Las máquinas modernas multiproceso no solo proporcionan capacidades de fresado o torneado, sino que también permiten realizar operaciones de perforado, fresado, torneado, endurecimiento por láser y rectificado, todo en una misma máquina y con una sola configuración de pieza.

En general, las máquinas CNC son más seguras que las herramientas manuales, ya que suelen estar completamente cerradas, lo cual reduce el riesgo de proyección de partículas, escombros de herramientas rotas o contacto accidental con herramientas giratorias.

Como se mencionó en la sección 4.1 Selección de Proveedores, Bantam Tools y Carbide 3D fueron los proveedores seleccionados para el fresado CNC. A diferencia de los proveedores de impresión 3D, no fue posible adquirir muestras de estos proveedores. Sin embargo, se tuvo acceso físico a la máquina Advanced Bundle PCB (Othermill Pro) de Bantam Tools (Figura 4), la cual fue adquirida por Elvesys, una empresa asociada que trabaja directamente con BlackHole Lab en el mismo edificio de oficinas.

Figura 4. Máquina CNC Advanced Bundle PCB de Bantam Tools.



4.3.1. Bantam Tools y Carbide 3D

Lashkaripour et al. fabricaron chips micromecanizados de bajo costo utilizando la máquina Othermill Pro (Advanced Bundle PCB) de Bantam Tools. Los modelos fueron primero diseñados en SolidWorks y luego convertidos en comandos G-code mediante Fusion 360. Los chips se fabricaron en policarbonato y se produjeron en menos de una hora, con un costo aproximado de USD 10. La máquina ofreció una precisión de 25 μm . Los canales fueron fresados utilizando herramientas con el mismo diámetro que el ancho del canal; se emplearon herramientas de 75, 100, 125, 150 y 175 μm de diámetro.

Los dispositivos fabricados consistían en cinco capas: una de flujo, una de control y una capa elástica intercalada entre ellas para sellar el dispositivo. Para mejorar el sellado, se fresaron dos capas adicionales como distribuidores de presión, las cuales se unieron mediante abrazaderas. Se demostró una mejora significativa en los dispositivos con esta presión de sellado, en comparación con aquellos sin

ella, los cuales presentaban mayor propensión a fugas de fluido desde los microcanales.

En un estudio posterior, Lashkaripour et al. exploraron la aplicabilidad de máquinas de micromecanizado de escritorio de bajo costo en la fabricación de dispositivos microfluídicos. El material utilizado para la fabricación fue también policarbonato, y los diseños fueron realizados en OpenSCAD, luego transferidos a Fusion 360 para generar los comandos de mecanizado.

Se consideró como "máquina de bajo costo" a aquellas con un precio inferior a USD 3500. Las máquinas evaluadas fueron: 1. Othermill Pro (Bantam Tools) 2. Othermill V2 (Bantam Tools) 3. Nomad 833 (Carbide 3D)

En general, los dispositivos se fabricaron como características positivas (creando moldes) y características negativas (fresando directamente sobre el sustrato).

Se tomaron en cuenta los parámetros de velocidad de avance (velocidad con la que la herramienta de corte se mueve sobre la superficie del sustrato) y velocidad del husillo (velocidad de rotación de la herramienta de corte al hacer contacto con el sustrato).

Para el fresado de características positivas, el tamaño varió entre 1000 y 100 μm , utilizando una herramienta de corte con un diámetro de 793,7 μm . Se observó que las características en el plano x-y se deformaban o no conservaban forma cuadrada cuando las dimensiones eran menores a 250 μm , con una desviación estándar de 8,5 (14,0), 25,7 (11,9) y 25,8 (53,9) μm para Carbide 3D, Othermill Pro y Othermill V2, respectivamente en los ejes X (Y).

En el caso de las características negativas, el ancho de los canales se varió en $1 \times D$, $1,5 \times D$ y $2 \times D$, donde D = diámetro de la herramienta de corte. Se utilizaron herramientas de corte con diámetros de 793,7; 396,8; 254; 200; 150; 100; 75; 50 y 25 μm . Se logró

fresar características tan pequeñas como 75 μm , por lo que el fresado de características negativas resultó en tolerancias más ajustadas en comparación con las positivas.

En ambos casos, el eje X representaba los canales con orientación vertical y el eje Y los canales con orientación horizontal.




Para la caracterización en el eje Z, se fresaron canales con ancho constante y profundidad decreciente desde 1000 hasta 40 μm . La desviación promedio más alta respecto a la profundidad diseñada fue de 5,9; 10,4 y 9,7 μm para Carbide 3D, Othermill Pro y Othermill V2, respectivamente.

La calidad superficial se evaluó midiendo la rugosidad, ya que puede afectar la biocompatibilidad, la transparencia y la viscosidad aparente. Se replicó el experimento de Chen et al. utilizando un solapamiento (stepover) del 20 %, como el que se usa en fresadoras de alta gama. Además, se varió el solapamiento entre 5 % y 30 % para estudiar su efecto sobre la calidad superficial.

La calidad de superficie con un solapamiento del 20 % resultó peor que la de una fresadora de alta gama, lo cual es razonable ya que las micromáquinas de escritorio son más propensas a vibraciones debido a su menor tamaño. Sin embargo, con un solapamiento del 5 %, la rugosidad fue significativamente más suave.

En general, no hubo grandes diferencias entre las tres máquinas utilizadas en el estudio, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de las tres máquinas diferentes utilizadas.

Prueba Estándar	Máquina	Característica Positiva			Característica Negativa	
		Tamaño Evaluado μm	Tamaño más pequeño alcanzado μm	Desviación Estándar más baja μm	Tamaño probado μm	Tamaño más pequeño alcanzado μm
 Plano X	Carbide 3D	1000 - 100	250	8.5	1587.4 - 25	75
	Othermill Pro	1000 - 100	250	25.7	1587.4 - 25	75
	Othermill V2	1000 - 100	250	25.8	1587.4 - 25	75
 Plano Y	Carbide 3D	1000 - 100	250	14.0	1587.4 - 25	75
	Othermill Pro	1000 - 100	250	11.9	1587.4 - 25	75
	Othermill V2	1000 - 100	250	53.9	1587.4 - 25	75
 Eje Z	Carbide 3D	1000 - 40	40	5.9	1000 - 40	40
	Othermill Pro	1000 - 40	40	10.4	1000 - 40	40
	Othermill V2	1000 - 40	40	9.7	1000 - 40	40

4.3.2. Conclusión sobre las máquinas CNC seleccionadas

Las revisiones bibliográficas muestran el buen desempeño de las máquinas CNC evaluadas para la fabricación de dispositivos microfluídicos, caracterizando adecuadamente características positivas como cubos tan pequeños como 250 μm para la fabricación de moldes. Asimismo, el fresado de características negativas obtuvo muy buenos resultados, alcanzando tamaños mínimos de 75 μm , logrando tolerancias más ajustadas cuando el ancho del canal era igual al diámetro de corte de la herramienta.

Además, se lograron resultados óptimos en cuanto a rugosidad superficial, siendo el parámetro stepover el factor más determinante para la calidad de superficie de los dispositivos.

Todos estos resultados se obtuvieron utilizando las máquinas de los proveedores Bantam Tools y Carbide 3D, sin diferencias significativas entre ellas, como se observa en la Tabla 5.

5. CONCLUSIÓN

El campo de la microfluídica ha evolucionado desde su introducción, con aplicaciones en diversas áreas y disciplinas. El uso de tecnologías de prototipado rápido como la impresión 3D y el fresado CNC presenta enormes ventajas para la fabricación de dispositivos microfluídicos. Además, estas tecnologías están mejorando rápidamente debido al creciente interés académico y comercial.

El proyecto demostró cómo el uso de impresoras 3D y máquinas CNC permite un diseño abierto, colaborativo y ágil en el ámbito de la microfabricación. Se realizó tanto una búsqueda de proveedores como una revisión bibliográfica para estudiar la aplicabilidad y relación costo-beneficio que estas tecnologías pueden ofrecer.

Se consideraron diversos parámetros para la selección de proveedores, enfocándose en la relación calidad-precio y en el hecho de que las máquinas debían ser de tipo escritorio. Además, se realizó una investigación bibliográfica para evaluar el rendimiento de las máquinas en el campo de la microfluídica, obteniendo resultados favorables. Se seleccionaron dos proveedores para cada tecnología: Formlabs y Miicraft para impresión 3D, y Carbide 3D y Bantam Tools para fresado CNC.

Shallan et al. lograron una sección transversal mínima de 250 μm para canales cerrados y 200 μm para canales abiertos mediante impresión 3D. También se obtuvo un acabado superficial suave y buena aplicabilidad en microfluídica.

Lashkaripour et al. estudiaron el uso del fresado CNC para la fabricación de moldes de chips, así como el fresado directo de canales sobre policarbonato, logrando un tamaño mínimo de 250 μm para moldes y 75 μm para fresado directo. Asimismo, se alcanzó buena calidad superficial con estas máquinas.

La literatura muestra resultados buenos y reproducibles en relación con las máquinas ofrecidas por los proveedores seleccionados tanto para impresión 3D como para fresado CNC; por lo tanto, presentan un gran interés para BlackHole Lab en la fabricación de un nuevo kit a ser incluido en su catálogo de ofertas.

6. PERSPECTIVAS FUTURAS

Aunque la bibliografía muestra resultados prometedores respecto al uso de tecnologías de impresión 3D y fresado CNC de los proveedores seleccionados, aún no se ha tomado una decisión definitiva sobre la selección de uno de ellos.

Se llevarán a cabo investigaciones complementarias en relación con ambas tecnologías, con énfasis en el rendimiento de las máquinas propuestas por los proveedores.

En el caso de la impresión 3D, Formlabs y Miicraft enviaron muestras, por lo que se realizarán pruebas para tener una comparación directa entre ambas impresoras. Esto representa una gran ventaja, ya que se podrían solicitar más muestras para estudios posteriores.

Para el caso del fresado CNC, los proveedores seleccionados fueron Bantam Tools y Carbide 3D. A diferencia de las impresoras 3D, no fue posible recibir muestras. No obstante, la máquina Othermill Pro de Bantam Tools fue adquirida por Elvsys, una empresa asociada a BlackHole Lab que opera en el mismo edificio. Por tanto, se llevarán a cabo diferentes pruebas junto con Elvsys, para estudiar el rendimiento de la máquina en relación con los objetivos de la empresa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- 📖 Bragheri, F., Martinez Vazquez, R., & Osellame, R. (2016). Three-dimensional microfabrication using two-photon polymerization. *Micro and Nano Technologies*, 310–334.

- Faculty of the University of Washington. (2020, May 7). Basic microfluidic concepts. <https://faculty.washington.edu/yagerp/microfluidicstutorial/basicconcepts/basicconcepts.htm>
- Elveflow. (2020, March 20). Microfluidics: A general overview of microfluidics. <https://www.elveflow.com/microfluidic-tutorials/microfluidic-reviews-and-tutorials/microfluidics/>
- Thorsen, T., Roberts, R., Arnold, F., & Quake, S. (2001). Dynamic pattern formation in a vesicle-generating microfluidic device. *Physical Review Letters*, 86(18), 4163–4166. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.86.4163>
- Panchal, J., Kent, N., Knox, A., & Harris, L. (2020). Microfluidics in haemostasis: A review. *Molecules*, 25(4), 833. <https://doi.org/10.3390/molecules25040833>
- Ren, K., Zhou, J., & Wu, H. (2013). Materials for microfluidic chip fabrication. *Accounts of Chemical Research*, 46(11), 2396–2406. <https://doi.org/10.1021/ar300314s>
- Walsh, D., Kong, D., Murthy, S., & Carr, P. (2017). Enabling microfluidics: From clean rooms to makerspaces. *Trends in Biotechnology*, 35(5), 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.01.003>
- Xometry. (2015, abril 9). 3D Printing vs CNC: Key Differences & Costs. Recuperado de <https://www.xometry.com/resources/3d-printing-vs-cnc-comparing-additive-and-subtractive-manufacturing/>
- Gershenfeld, N. (2012). How to make almost anything: The digital fabrication revolution. *Foreign Affairs*, 91, 43–57.
- O'Connor, J., Punch, J., Jeffers, N., & Stafford, J. (2014). A dimensional comparison between embedded 3D-printed and silicon microchannels. *Journal of Physics: Conference Series*, 525. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/525/1/012001>
- Baden, T., Chagas, A. M., Gage, G. J., Marzullo, T. C., Prieto-Godino, L. L., & Euler, T. (2015). Correction: Open labware: 3-D printing your own lab equipment. *PLoS Biology*, 13(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002175>
- Waheed, S., Cabot, J. M., Macdonald, N. P., Lewis, T., Guijt, R. M., Paull, B., & Breadmore, M. C. (2016). 3D printed microfluidic devices: Enablers and barriers. *Lab on a Chip*, 16(11), 1993–2013. <https://doi.org/10.1039/C6LC00284F>
- Patrick, W. G., Nielsen, A. A., Keating, S. J., Levy, T. J., Wang, C., Rivera, J. J., & Kong, D. S. (2015). DNA assembly in 3D printed fluidics. *PLoS ONE*, 10(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143636>
- Formlabs. (n. d.). Clear resin. <https://formlabs.com/store/clear-resin/>
- Heidt, B., Rogosic, R., Bonni, S., Passariello-Jansen, J., Dimech, D., Lowdon, J. W., & Cleij, T. J. (2020). The liberalization of microfluidics: Form 2 benchtop 3D printing as an affordable alternative to established manufacturing methods. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*. <https://doi.org/10.1002/pssa.201900869>
- Shallan, A. I., Smejkal, P., Corban, M., Guijt, R. M., & Breadmore, M. C. (2014). Cost-effective three-dimensional printing of visibly transparent microchips within minutes. *Analytical Chemistry*, 86(6), 3124–3130. <https://doi.org/10.1021/ac404150e>

- 🔖 Miicraft. (n. d.). Resins. <https://miicraft.com/product/resins/>
- 🔖 Macdonald, N. P., Cabot, J. M., Smejkal, P., Guijt, R. M., Paull, B., & Breadmore, M. C. (2017). Comparing microfluidic performance of three-dimensional (3D) printing platforms. *Analytical Chemistry*, 89(7), 3858–3866. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b04697>
- 🔖 Chen, P., Pan, C., Lee, W., & Li, K. (2014). Optimization of micromilling microchannels on a polycarbonate substrate. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15(1), 149–154. <https://doi.org/10.1007/s12541-014-0178-5>
- 🔖 Hossain, M. M., & Rahman, T. (2018). Low cost micro milling machine for prototyping plastic microfluidic devices. *Proceedings*, 2(13), 707. <https://doi.org/10.3390/proceedings2130707>
- 🔖 Autodesk CAM. (2014). *Fundamentals of CNC machining: A practical guide for beginners*. Autodesk Inc.
- 🔖 Lashkaripour, A., Rodriguez, C., Ortiz, L., & Densmore, D. (2019). Performance tuning of microfluidic flow-focusing droplet generators. *Lab on a Chip*, 19(6), 1041–1053. <https://doi.org/10.1039/C8LC01056A>
- 🔖 Varotsis, A. B. (2018). Digital manufacturing & 3D printing. Quora. <https://www.quora.com/What-is-a-CNC-machine-and-what-is-its-workingprinciple>
- 🔖 Newman, S., Nassehi, A., Xu, X., Rosso, R., Wang, L., Yusof, D., & Dhokia, V. (2008). Strategic advantages of interoperability for global manufacturing using CNC technology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(6), 699–708. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2008.03.002>
- 🔖 Lashkaripour, A., Silva, R., & Densmore, D. (2018). Desktop micromilled microfluidics. *Microfluidics and Nanofluidics*, 22(3). <https://doi.org/10.1007/s10404-018-2057-3>

OBTENCIÓN DE HARINA DE BRÓCOLI MEDIANTE EL PROCESO DE SECADO POR AIRE CALIENTE

OBTAINING BROCCOLI FLOUR THROUGH HOT AIR DRYING PROCESS

Fecha de recepción: 01/08/2025 | Fecha de aceptación: 25/10/2025

Autores

Ramírez Ruiz Erick ¹
Fernández Estévez Lourdes ²

¹ Docente Carrera Ingeniería de Alimentos

² Estudiante de la Carrera de Ingeniería de Alimentos

Correspondencia de los autores: erickramirezruiz@yahoo.com.ar ¹

Tarija - Bolivia

RESUMEN

El presente trabajo de investigación de obtención de harina de brócoli mediante el proceso de secado por aire caliente fue desarrollado en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Para tal efecto y se utilizó brócoli obtenido en el mercado local procedente de la comunidad Sella Méndez. Se aplicó el proceso de obtención de harina que consiste en: cortado, selección, lavado, laminado, pretratamiento, escurrido, secado, preenvasado, molienda, tamizado y envasado.

Los resultados del análisis fisicoquímico del brócoli fueron: Cenizas 1,29%; Fibra 1,35%; Grasa 0,13%; Hidratos de carbono 7,61%; Proteína total 3,02%; Humedad 87,95%; y Valor energético 43,64 Kcal/100 g; Calcio 32,0 mg/100 g y Potasio 290 mg/100 g;

Experimentalmente, se realizaron tres ensayos iniciales sin tratamiento (natural), con solución de ácido cítrico al 0,01%, con solución de ácido ascórbico al 0,01%, para establecer la muestra preliminar ideal. Procediéndose a una evaluación sensorial en escala hedónica de cinco puntos donde la muestra K02 (ácido cítrico) presentada con mayor aceptabilidad en atributo color y apariencia para un nivel de significancia de 0,05 %. El diseño factorial 2^3 se realizó con solución de ácido cítrico y sin tratamiento variando tres factores: (A) Temperatura, (B) velocidad del aire y (C) corte, donde la muestra RC1 presentó mayor significancia $P > 0,05$.

El análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina de brócoli presentó: Cenizas 7,60%; Fibra 19,20%; Grasa 4,48%; Hidratos de carbono 45,12%; Proteína total ($N \times 6,25$) 35,57%; Humedad 7,23% y Valor energético 363 Kcal/100 g; Calcio 362 mg/100 g; potasio 4,0 mg/100 g; Coliformes totales $< 1 \times 10^1$ UFC/g (*); Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*) y Salmonella, Ausencia P/A/25 g.

Palabras Clave: Brocoli, harina, secado aire caliente.

Keywords: Broccoli, flour, hot air drying.

ABSTRACT

The present research work on obtaining broccoli flour through the hot air drying process was developed in the Academic Laboratory of the Food Engineering Degree dependent on the Faculty of Science and Technology. For this purpose, broccoli obtained in the local market from the Sella Méndez community was used. The flour obtaining process was applied, which consists of: cutting, selection, washing, rolling, pretreatment, draining, drying, prepackaging, milling, sifting and packaging.

The results of the physicochemical analysis of broccoli are: Ash 1.29%; Fiber 1.35%; Fat 0.13%; Carbohydrates 7.61%; Total protein 3.02%; Humidity 87.95%; and Energy value 43.64 Kcal/100 g; Calcium 32.0 mg/100 g and Potassium 290 mg/100 g;

Experimentally, three initial tests were carried out without treatment (natural) with 0.01% citric acid solution, with 0.01% ascorbic acid solution to establish the ideal preliminary sample. Proceeding to a sensory evaluation on a five-point hedonic scale where sample K02 (Citric acid) presented with greater acceptability in color and appearance attribute for a significance level of 0.05%. Factorial design 2^3 was carried out with citric acid solution and without treatment varying three factors: (A) Temperature, (B) air speed and (C) cutting, where sample RC1 presented greater significance $P > 0.05$.

The physicochemical and microbiological analysis of broccoli flour presented: Ash 7.60%; Fiber 19.20%; Fat 4.48%; Carbohydrates 45.12%; Total protein ($N \times 6.25$) 35.57%; Humidity 7.23% and Energy value 363 Kcal/100 g; Calcium 362 mg/100 g; Potassium 4.0 mg/100 g; Total coliforms $< 1 \times 10^1$ CFU/g (*); Escherichia coli $< 1.0 \times 10^1$ CFU/g (*) and Salmonella, Absence P/A/25 g.


1. INTRODUCCIÓN

La utilización y el consumo de harinas de vegetales en la industria alimentaria se ha expandido debido al aumento de población que requiere seguir una dieta estricta por temas de salud o que buscan dietas más sanas, por lo que se espera que esta tendencia continúe en el futuro (Woomer y Adedeji, 2020).

De acuerdo a (Andrade, 2021) "la harina de vegetal es aquella que se obtiene de la molienda de tubérculos secos, frutas y leguminosas; limpias, deshidratadas o a la remoción total o parcial del aceite y cuya granulometría es ajustable" (p. 9).

La harina de brócoli tiene una dieta rica en fibra nos protege contra la ECC (Enfermedades Cardiovasculares y Diabetes), también da un efecto de saciedad, lo cual ayuda a controlar el peso). Además, una dieta baja en grasa puede contribuir a prevenir el aumento de peso y reducir el riesgo de obesidad, un factor importante e independiente de las enfermedades no transmisibles (Delgado, 2020). En la Figura 1, se exponen las diferentes variedades de brócoli producidas en el departamento de Tarija.

Figura 1 Variedades de brócoli

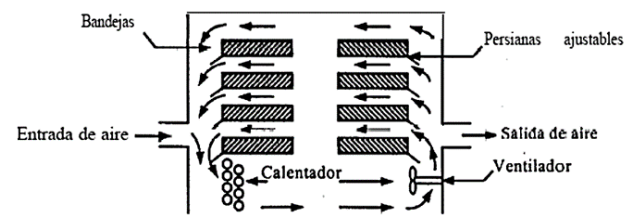
Variedades de brócoli	<p>Avenger : Esta variedad tiene mejores resultados de obtenidos en la comunidad de Erquiz Norte del departamento de Tarija con un dato 12,33 ton/ha siendo la mejor variedad en rendimiento (Zenteno, 2020. p. 78).</p> 
	<p>Di cicco : Plantas con una buena producción de brotes laterales (Gutiérrez, 2005. p. 29).</p> 
	<p>Chau Clovo : comportamiento positivo en condiciones de campo abierto mostrando buenos resultados en rendimiento de pella 9676.7 kg/ha (Canqui, 2018. p. 45).</p> 
	<p>Pirate mejorado: Esta variedad supera a las variedades que existen en el departamento de Tarija debido a que obtuvo un mejor comportamiento superando en promedios la altura en comparación de otras variedades (Zenteno, 2020. p. 78).</p> 

Fuente: Zenteno, 2020

El secado es una operación que se encuentra en casi todos los sectores industriales, desde los agrícolas a los farmacéuticos. Es seguramente la operación unitaria más antigua, común, diversa e intensiva energéticamente (Espinoza et al, 2011).

El secado es un proceso de conservación de alimentos que impide la actividad microbiana o enzimática al eliminar gran cantidad de agua. Surgió a partir de la necesidad de consumir, fuera de su época de cosecha o producción, alimentos susceptibles a pudrirse debido a su composición química (Pájaro et al, 2017). En la Figura 2, se muestra detalladamente un secador de bandejas.

Figura 2 Secador de bandejas

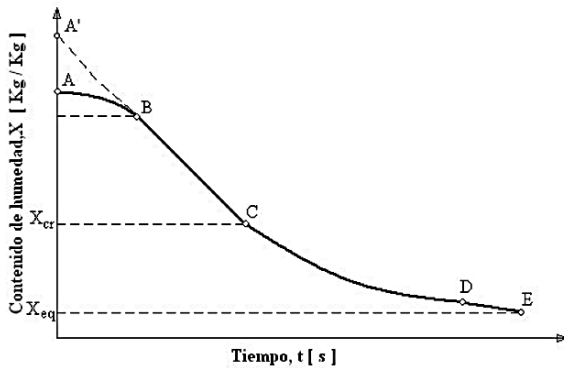


Fuente: Condori, 2016

La cinética de secado de un material relaciona la variación del contenido de agua del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo. Son varios los factores que influyen sobre la cinética, entre los cuales se encuentran; la humedad del aire de secado, el mismo contenido de agua del producto por secar, como también las dimensiones y diseño del equipo de secado (Velázquez, 2007).

Según (Villar, 2017), "Las curvas de secado se calcula en base al registro de pérdida de peso de las muestras durante el tiempo que tomó el proceso" (p. 11). En la Figura 3, se muestra la curva de secado.

Figura 3 Curva de secado



Fuente: Nava, 2004

2. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología que se utilizó en el presente trabajo es:

paradigma investigativo

Para (Palella & Martins, 2012), "la investigación paradigmática es un procedimiento ordenado, controlado y riguroso, mediante el cual manejamos objetos, hechos o ideas, con el fin de extender, corregir o verificar el conocimiento sobre el objeto" (P. 38). También (Ricoy, 2006), indica que "paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico" (p. 14).

Tipo de investigación

Según (Palella & Martins, 2012), menciona que "el enfoque cuantitativo se fundamenta en el positivismo, el cual percibe la uniformidad de los fenómenos, aplica la concepción hipotética-deductiva" (p. 40). Así mismo (Hernández et al, 2004), "el enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis, y confía en medición numérica, conteo y frecuentemente en el uso de la estadística" (p. 10).

Métodos - técnicas e instrumentos

Método científico según (Palella & Martins, 2012), "es objetivo y tiene capacidad de predicción, control y generalización. Su misión principal es la de contribuir al desarrollo y validación de los conocimientos" (p. 26). Según (Ñaupas et al, 2014), "las técnicas e instrumentos de investigación se refieren a los procedimientos y herramientas mediante los cuales vamos a recoger los datos e informaciones necesarias para probar o contrastar nuestras hipótesis de investigación" (p. 201).

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales del brócoli

En la Figura 4, se muestra los métodos y normas para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales del brócoli.

Figura 4. Métodos y técnicas de análisis fisicoquímicos microbiológicos y minerales del brócoli

Microbiológicos		Fisicoquímicos	
Placa fluida	Gravimetría	Cálculo	
Recuento de placa (UFC/g)	Calónación en mufla	Cálculo indirecto	
Escherichia coli NB 32005:02	Cenizas (%) NB 39034:10	Hidratos de carbono Cálculo (%)	
Salmonella NB/ISO 6579:08	Digestión Ácida-Base	Cálculo indirecto	
Coliformes totales NB 32005:02	Fibra (%) Gravimétrico	Valor energético Cálculo (Kcal/100 g)	
	Secado en estufa	Kjeldahl	
	Humedad (%) NB 313010:05	Digestión Destilación Valoración	
	Soxhlet	Proteína (%) NB/ISO 8968-1:08	
	Grasa (%) NB 313019:06		
		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Método </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #a4c6ff; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Técnica </div>	
Minerales			
Espectro fotometría de Absorción atómica			
Potasio (mg/100g)			
Calcio (mg/100g)			

Fuente: CEANID, 2023

Análisis de fisicoquímicos, microbiológicos y minerales de harina de brócoli

En la Figura 5, se muestra los métodos y normas para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y minerales en la harina de brócoli.

Figura 5: Métodos y técnicas de análisis fisicoquímicos microbiológicos y minerales de harina de brócoli

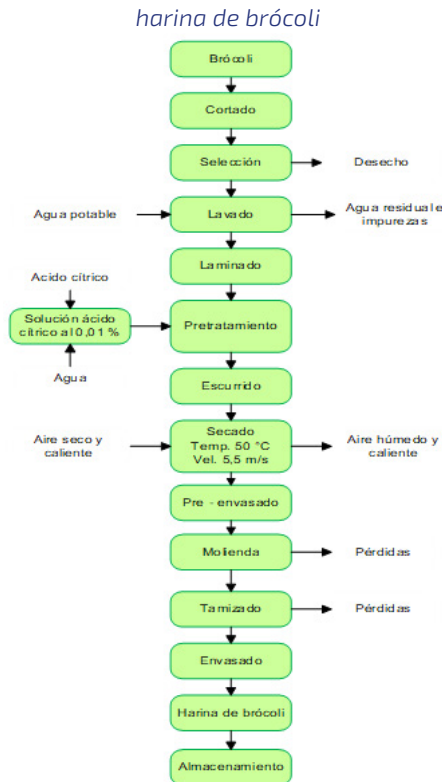
Microbiológicos		Fisicoquímicos	
Placa fluida		Gravimetría	Cálculo
Recuento de placa (UFC/g)	Escherichia coli NB 32005:02	Calcnación en mufla	Cálculo indirecto
Salmonella NB/ISO 6579:08	Coliformes totales NB 32005:02	Cenizas (%) NB 39034:10	Hidratos de carbono Cálculo (%)
Minerales		Digestión Ácida-Base	Cálculo indirecto
		Fibra (%) Gravimétrico	Valor energético Calculo (Kcal/100 g)
Espectro fotometría de Absorción atómica		Secado en estufa	Kjeldahl
		Humedad (%) NB 313010:05	
Potasio (mg/100g)	Calcio (mg/100g)	Soxhlet	Proteína (%) NB/ISO 8968-1:08
		Grasa (%) NB 313019:06	
		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Método </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: #a4c6ff; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Técnica </div>	

Fuente: CEANID, 2023

Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de brócoli

En la Figura 6, se presenta el proceso de secado por aire caliente para obtener harina de brócoli.

Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de brócoli



Fuente: Elaboración propia

Brócoli

El brócoli fue obtenido en el Mercado Campesino de la provincia Cercado del departamento de Tarija, procedente de la comunidad Sella Méndez.

Cortado

En el proceso de cortado, se separaron los floretes del tallo del brócoli para facilitar y optimizar el proceso de lavado.

Selección

En la selección de floretes de brócoli, se clasificaron según su coloración, separando aquellos que no son aptos para el proceso de secado, como las pellas amarillas.

Lavado

El lavado del brócoli se llevó a cabo con DG6 y agua potable en una proporción de 0,01% con el objetivo de eliminar residuos en su superficie, como insectos.

Escurre

En el proceso de escurre, los floretes de brócoli se colocaron en un colador de acero inoxidable durante 8 minutos para eliminar el agua excedente del lavado.

Laminado

Para realizar el laminado, se utilizó la mandolina para hacer los cortes laminares 0,1 cm a la inflorescencia y asegurando cortes uniformes que incluyan una pequeña parte del tallo para facilitar el proceso.

Pretratamiento

El proceso consistió en preparar una solución de ácido cítrico 0,01% y sumergir las láminas de brócoli durante de 1 min.

Escurrido

Durante el escurrido, las láminas de brócoli se colocaron en un colador de acero inoxidable para eliminar el exceso de solución de ácido cítrico residual.

Secado

En el proceso de secado, se realizaron ajustes iniciales en el secador para calentar hasta 50°C durante 20 minutos. Luego, se activó el generador de aire a 5,5 m/s para introducir aire seco caliente y eliminar el aire húmedo del equipo. Posteriormente, se colocaron las bandejas con las láminas de brócoli en el secador, controlando la pérdida de peso cada 10 minutos hasta alcanzar un peso constante, lo que tomó 190 minutos. Este control fue crucial para asegurar la efectividad del secado y la calidad del producto final.

Preenvasado

Se retiraron las bandejas del secador y se dejaron enfriar para evitar la condensación. Luego, las muestras secas se colocaron en bolsas de polipropileno para prevenir el contacto con la humedad del ambiente.

Molienda

El proceso de molienda consistió en introducir las muestras secas al molino eléctrico analítico con la finalidad de reducir el tamaño de las muestras secas de brócoli.

Tamizado

Se realizó el proceso de tamizado de la muestra de harina de brócoli con aberturas de malla 0,25 m/m para conseguir la granulometría del producto, el cual se realizó con un tamizador vibratorio eléctrico

Almacenamiento

Una vez finalizado el proceso tamizado, se procedió a almacenar la harina de brócoli para preservar su

calidad nutricional, prolongar su vida útil y garantizar su disponibilidad.

Evaluación sensorial

Según (Lawless & Heyman, 2010), define "la disciplina científica utilizada para evocar, medir analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos (p. 596).

Diseño experimental

Un diseño experimental es un esquema de cómo realizar un experimento y el objetivo fundamental de los diseños experimentales radica en el determinar si existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos del experimento y en caso de que la respuesta es afirmativa, cuál sería la magnitud de esta diferencia. (Baddi et al, 2007)

Se utilizó el diseño factorial 2^3 en el proceso de secado con solución ácido cítrico y sin tratamiento haciendo variar tres factores temperatura (°C), velocidad del aire (B) y corte (cm), controlando la variable respuesta contenido de humedad en base seca del brócoli seco.

3. RESULTADOS

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

Propiedades físicas del brócoli

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos de las propiedades físicas del brócoli. El peso total (PT), diámetro ecuatorial (DE), diámetro longitudinal (DL), porción comestible (PC), porción no comestible (PNC), laminas útiles (LU) y laminas no útiles (LNU).

Tabla 1 Propiedades físicas de brócoli

Muestra	PT (g)	DE (cm)	DL (cm)	PC (%)	PNC (%)	LU (%)	LNU (%)
M1	588,51	17,42	24,38	35,61	64,39	91,83	8,17
M2	663,24	19,72	19,86	42,06	57,94	92,72	7,28
M3	925,81	26,86	18,50	49,64	50,36	93,40	6,60
M4	612,85	15,56	18,63	42,54	57,46	84,36	15,64
M5	791,09	19,31	20,42	40,55	59,45	90,79	9,21
M6	588,91	14,89	20,81	34,19	65,81	93,71	6,29
M7	663,49	15,93	20,53	44,64	55,36	92,11	7,89
M8	819,89	25,53	17,03	50,62	49,38	92,81	7,19
M9	646,58	20,64	19,83	50,55	49,45	90,80	9,20
M10	654,57	19,27	20,23	49,06	50,94	91,61	8,39
M11	637,03	19,54	20,48	52,03	47,97	88,37	11,63
M12	454,57	14,35	19,92	44,77	55,23	94,11	5,89
M13	512,32	15,20	20,93	45,05	54,95	89,44	10,56
M14	681,16	19,6	20,62	49,04	50,96	89,31	10,69
M15	794,24	18,34	20,84	42,76	57,24	91,01	8,99
Promedio	668,95	18,81	20,20	44,87	55,13	91,09	8,91

Fuente: Elaboración propia

Análisis fisicoquímico del brócoli

En la Tabla 2, se muestran los resultados de análisis fisicoquímico del brócoli.

Tabla 2 Análisis fisicoquímico del brócoli

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	1,29
Fibra	%	1,35
Grasa	%	0,13
Hidratos de carbono	%	7,61
Proteína total (N*6,25)	%	3,02
Humedad	%	87,95
Valor energético	Kcal/100 g	43,64

Fuente: CEANID, 2023

Análisis de minerales del brócoli

En la Tabla 3, se presentan los resultados de análisis de minerales del brócoli.

Tabla 3 Análisis de minerales del brócoli

Minerales	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100 g	32,0
Potasio	mg/100 g	290,0

Fuente: CEANID, 2023

Análisis microbiológico del brócoli

En la Tabla 4, se muestran los resultados de análisis microbiológicos del brócoli.

Tabla 4 Análisis microbiológicos del brócoli

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	9,0 x101
Escherichia coli	UFC/g	<1,0 x101(*)
Salmonella	P/A/25 g	Ausencia
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2023

Caracterización de las variables del proceso de secado para la obtención de harina de brócoli

Para la caracterización de las variables del proceso de secado con aire caliente para la obtención de harina de brócoli, se tomaron en cuenta pruebas iniciales para la selección del pretratamiento, seguido de las pruebas preliminares con el fin de obtener un producto final.

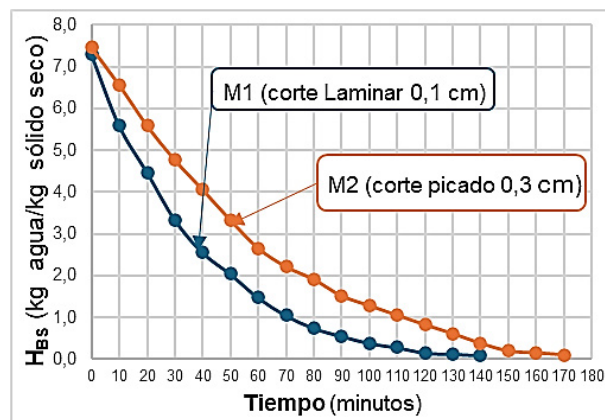
Pruebas iniciales

En el presente trabajo de investigación, se procedió a realizar pruebas iniciales: ensayo 1 (sin tratamiento), ensayo 2 (ácido cítrico) y ensayo 3 (ácido ascórbico).

Secado de brócoli sin tratamiento para el tipo de corte del ensayo 1

A nivel experimental, se procedió a realizar el ensayo 1 (M1 y M2) para determinar el tipo de corte adecuado para el proceso de secado como se observa en la Figura 7:

Figura 7 Variación del contenido de humedad en base seca para el tipo de corte del ensayo 1



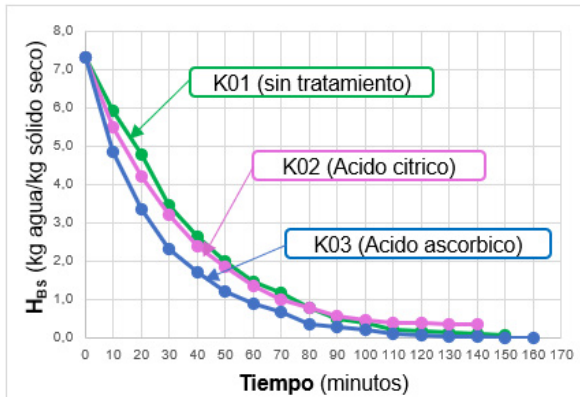
Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 7, se eligió la muestra M01 con tipo de corte laminar; ya que presentó menor contenido de humedad en base seca de 0,095 kg agua/kg sólido seco menor tiempo de secado 140 minutos. Para el ensayo 2 se utilizó el método de (Maldonado & Pacheco, 2003) que consiste en secar el brócoli con pretratamiento ácido cítrico 0,01 % por un minuto. Así mismo, para el ensayo 3 se utilizó el método (Rejón, 2022), que consiste en secar la muestra de brócoli con pretratamiento ácido ascórbico 0,01% sumergido por un minuto.

Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento a ser aplicado en la muestra de brócoli

Las pruebas preliminares que se realizaron son: sin tratamiento, con solución ácido cítrico 0,01% y ácido ascórbico 0,01% por un tiempo de inmersión de 1min, grosor de corte 0,1 cm, temperatura de secado 60 °C y velocidad de aire de 5 m/s. En la Figura 8, se muestra la variación del contenido de humedad obtenido en base seca en función del tiempo

Figura 8: Variación del contenido de humedad en función del tiempo de secado.



Fuente: Elaboración propia

La Figura 8, muestra que la elegida fue K02, ya que se destacó por haber alcanzado un contenido de humedad en base seca de 0,362 kg agua/kg sólido seco en 140 minutos de secado con menor tiempo de secado en comparación con K01 y K03.

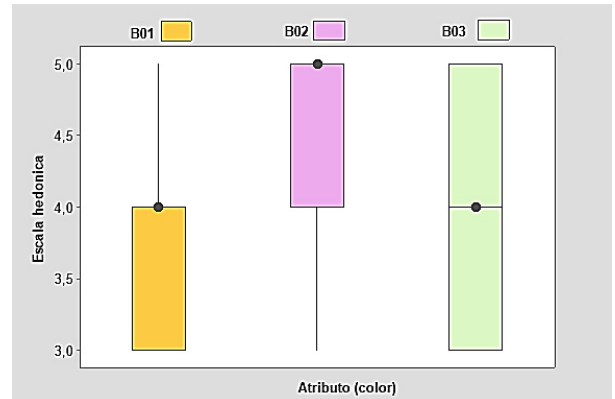
Evaluación sensorial de muestras preliminares para elegir el pretratamiento

En base a las muestras (K01, K02 y K03), se procedió a la molienda y la evaluación sensorial de las muestras de harina de brócoli para los atributos: color, apariencia. utilizando 20 jueces no entrenados en escala hedónica de cinco puntos.

Estadístico caja y bigote del atributo color de muestras preliminares

En la Figura 9, se muestran los resultados de caja y bigote del atributo color para elegir el pretratamiento para la obtención de harina de brócoli.

Figura 9 Caja y bigote del atributo color de las muestras preliminares para elegir el pretratamiento



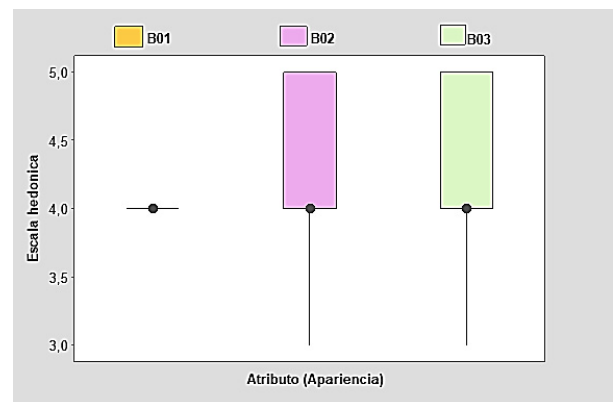
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9, se observa que la muestra B02 tuvo mayor aceptación con mediana de (5,0) en escala hedónica de cinco puntos. Así mismo, realizado el análisis estadístico de Tukey, se puede evidenciar que existe evidencia significativa entre muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Estadístico caja y bigote del atributo apariencia de muestras preliminares

En la Figura 10, se muestran los resultados de caja y bigote del atributo apariencia de las muestras preliminares para elegir el pretratamiento.

Figura 10: Caja y bigote del atributo apariencia de la muestra preliminares para elegir el pretratamiento



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10, se puede observar que las muestras B02 y B03 presentaron mayor aceptación para atributo apariencia en escala hedónica de cinco puntos. Así mismo, realizando el análisis estadístico Tukey, se puede evidenciar que existe diferencia significativa para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En base al tiempo de secado y según la evaluación sensorial del atributo color y apariencia, se procedió a elegir las muestras K02 tratada con solución ácido cítrico como pretratamiento previo para las muestras de brócoli para la obtención de harina; ya que presentó menor tiempo de secado en comparación con las otras muestras. Así mismo, se procedió a tomar en cuenta la muestra K01 sin tratamiento con la finalidad de determinar si existe diferencias durante el proceso de secado.

Diseño factorial 2³ en el proceso de secado de muestras en brócoli sin tratamiento

En base a la muestra (K01) sin tratamiento, se procedió a aplicar el diseño factorial 2³ en el proceso de secado, donde se tomaron en cuenta las variables: temperatura entre (50 – 60) °C, velocidad del aire entre (5,0 – 5,5) m/s y corte (0,1 – 0,2) cm. Así mismo, se tomaron como variable respuesta al contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco).

Contenido de humedad en base seca en el proceso de secado de brócoli sin tratamiento

En la Tabla 5, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial 2³ aplicado en el proceso de secado en función de la variable respuesta de contenido de humedad en base seca.

Tabla 5: Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de humedad en base seca

Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcal	Ftab
Factor A	0,00039	1	0,00039	5,67*	5,32
Factor B	0,00052	1	0,00052	7,52*	5,32
Factor C	0,00001	1	0,00001	0,15	5,32
Interacción AB	0,00022	1	0,00022	3,16	5,32
Interacción AC	0,00022	1	0,00022	3,16	5,32
Interacción BC	0,00015	1	0,00015	2,18	5,32
Interacción ABC	0,00011	1	0,00011	1,53	5,32
Error total	0,00055	8	0,00007	-	-
Total	0,00216	15	-	-	-

*Significativo

Fuente: Elaboración propia

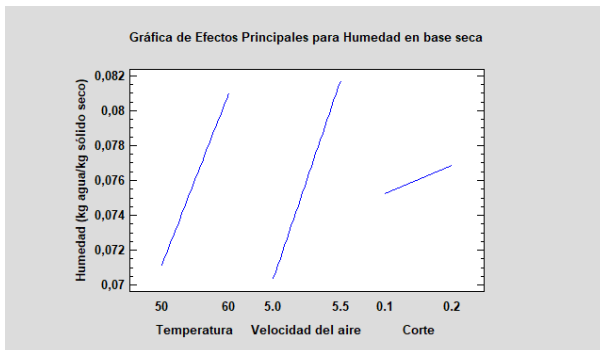
En la Tabla 5, se observa que el factor C e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no son estadísticamente significativas ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se aceptó la hipótesis planteada. Sin embargo, en los factores A y B si existe diferencia significativa en el proceso

de secado; ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechazó la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Figura 6, se muestra los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad del

aire) y C (corte) en relación con la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco)

Figura 11: Efectos principales para el contenido de humedad en base seca

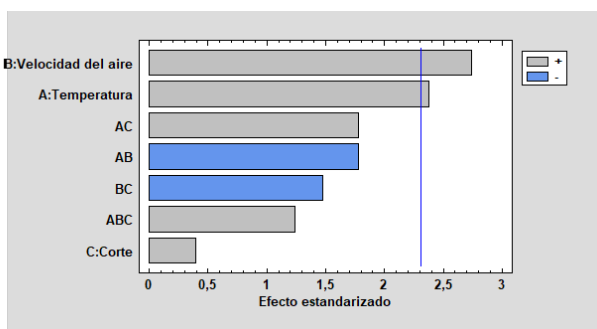


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11, se observa que los factores B (velocidad del aire) y factor A (temperatura); influyen significativamente en la variable respuesta del contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en niveles altos y bajos. Sin embargo, el factor B (corte) no influyó significativamente en su nivel alto y bajo; debido que la variación del contenido de humedad en base seca fue mínima.

En la Figura 12, se muestra el diagrama Pareto estandarizado para los factores analizados. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinó con la línea vertical de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 12, se puede observar que los factores B (velocidad del aire) y A (temperatura) excedieron la línea de referencia, por lo tanto, son estadísticamente significativo para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Tabla 6, se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de brócoli sin tratamiento.

Tabla 6: Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores		Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	(A)	50	60	50
Velocidad del aire	(B)	5,0	5,5	5,5
Corte	(C)	0,1	0,2	0,1

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 6, se observa que los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en las muestras de brócoli fueron: temperatura (50°C), velocidad del aire (5,5 m/s) y corte (0,1 cm). Por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra R03 con la finalidad de minimizar el contenido de humedad en base seca.

En base al valor óptimo del contenido de humedad en base seca de 0,089 (kg agua/kg sólido seco) entre los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca se optó por elegir R03, la misma fue obtenida con una temperatura (50°C), velocidad del aire (5,5 m/s), corte (0,1cm) y un contenido de humedad en base seca de 0,022 (kg agua/kg sólido seco).

Diseño factorial 2³ en el proceso de secado de muestras en brócoli con solución de ácido cítrico

En base a la muestra ideal (K02), se procedió a aplicar el diseño factorial 2³ en el proceso de secado, donde se tomaron en cuenta las variables: Temperatura entre (50 – 60) °C, velocidad del aire entre

(5,0 – 5,5) m/s y corte (0,1 – 0,2) cm. Así mismo, se tomaron como variable respuesta al contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco).

Contenido de humedad en base seca en el proceso de secado de brócoli con solución de ácido cítrico

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño factorial 2^3 aplicado en el proceso de secado en función de la variable respuesta de contenido de humedad en base seca.

Tabla 7: Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de humedad en base seca

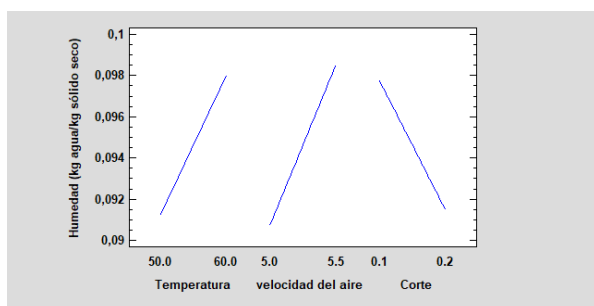
Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcal	Ftab
Factor A	0,00018	1	0,00018	1,78	5,32
Factor B	0,00024	1	0,00024	2,34	5,32
Factor C	0,00016	1	0,00016	1,52	5,32
Interacción AB	0,00000	1	0,00000	0,00	5,32
Interacción AC	0,00011	1	0,00011	1,08	5,32
Interacción BC	0,00003	1	0,00003	0,30	5,32
Interacción ABC	0,00034	1	0,00034	3,34	5,32
Error total	0,00082	8	0,00010	-	-
Total	0,00188	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se observa que los factores (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existió diferencia significativa; debido que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se aceptó la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Figura 13, se muestra los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad del aire) y C (corte) en relación con la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco).

Figura 13: Efectos principales para el contenido de humedad en base seca

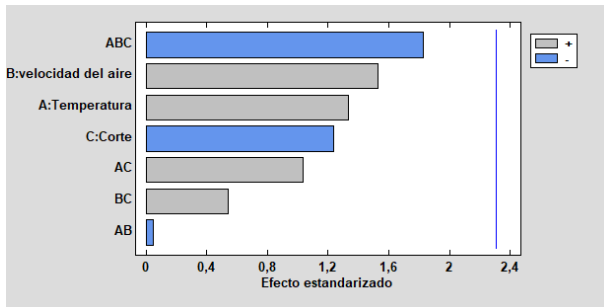


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13, se puede observar que el factor A (temperatura) y el factor B (velocidad del aire) y el factor C (corte), no incidieron significativamente en sus niveles alto y bajo; debido a que el efecto de los factores en la variación del contenido de humedad en base seca es mínimo.

En la Figura 14, se muestra el diagrama Pareto estandarizado para los factores analizados. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinó con la línea vertical de referencia indican que fueron significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Figura 14: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: A (temperatura), B (velocidad del aire), C (corte) e interacciones AB (temperatura – velocidad del aire), AC (temperatura – corte), ABC (temperatura – velocidad del aire – corte), BC (velocidad del aire – corte); no fueron estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Tabla 8, se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de brócoli con solución de ácido cítrico.

Tabla 8: Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores		Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	(A)	50	60	60
Velocidad del aire	(B)	5,0	5,5	5,5
Corte	(C)	0,1	0,2	0,1

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 8, se observa que los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en las muestras de brócoli con solución de ácido cítrico fueron: temperatura (60°C), velocidad del aire (5,5 m/s) y corte (0,1 cm), Por tanto, se tomó en cuenta la muestra RC5 con la finalidad de minimizar el contenido de humedad en base seca.

En conclusión, en base al valor óptimo 0,1055 (kg agua/kg sólido seco). Entre los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca se optó por elegir la muestra RC1 la misma obtenida a temperatura (50°C), velocidad del aire (5,0 m/s), corte (0,1cm) y un contenido de humedad en base seca en variable respuesta de 0,005 (kg agua/kg sólido seco).

Caracterización de la harina de brócoli

Para la caracterización de harina de brócoli se tomaron en cuenta los siguientes análisis: fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes los cuales se detallan a continuación.

Análisis fisicoquímico de la harina de brócoli

En la Tabla 9, se muestran los resultados de análisis fisicoquímico de harina de brócoli.

Tabla 9: Análisis fisicoquímicos de harina de brócoli

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	7,60
Fibra	%	19,20
Grasa	%	4,48
Hidratos de carbono	%	45,12
Proteína total (N*6,25)	%	35,57
Humedad	%	7,23
Valor energético	Kcal/100 g	363,00

Fuente: CEANID, 2024

Análisis de minerales de la harina de brócoli

En la Tabla10, se presentan los resultados de análisis de minerales de harina de brócoli.

Tabla 10: Análisis de minerales de harina de brócoli

Minerales	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100 g	362,0
Potasio	mg/100 g	4,0

Fuente: CEANID,2024

Análisis microbiológico de harina de brócoli

En la Tabla 11, se muestran los resultados de análisis microbiológicos de harina de brócoli.

Tabla 11: Análisis microbiológicos de harina de brócoli

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	<1 x10 ¹ (*)
Escherichia coli	UFC/g	<1,0 x10 ¹ (*)
Salmonella	P/A/25 g	Ausencia
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2024

4. DISCUSIONES

Al realizar el proceso de secado del brócoli se tuvieron valores del contenido de proteína del 35,57%, siendo valor superior según lo reportado por el National Institutes of Health, (2021), con valores del 30% en la flor del brócoli. Al igual que lo citado por Valenzuela, 2010 del 32% en la flor y del 20% en tallo de brócoli.

La combinación de la harina vegetal de brócoli puede favorecer la combinación con la harina de trigo para la elaboración de panes y derivados para fortificar la composición fisicoquímica, especialmente en el contenido de proteínas y calcio. Permitiendo mejorar la dosificación en función de las necesidades nutricionales para los niños en etapa de crecimiento. Según Mendoza et al, 2003), se podría utilizar la harina del tallo para la dieta en pollos con la mejora de la ración.

5. CONCLUSIONES

El brócoli que se utilizó como materia prima presenta en promedio las siguientes propiedades físicas: peso total 668,95 g; diámetro ecuatorial 18,81 cm; diámetro longitudinal 20,20 cm; porción comestible 44,87%; porción no comestible 55,13%; laminas útiles 91,09 % y laminas no útiles 8,91%.

Según el análisis fisicoquímicas del brócoli muestra que contiene: Cenizas 1,29%; Fibra 1,35%; Grasa 0,13%; Hidratos de carbono 7,61%; Proteína total 3,02%; Humedad 87,95%; y Valor energético 43,64 Kcal/100 g. Así mismo, las características de los minerales son: Calcio 32,0 mg/100 g y potasio 290 mg/100 g.

Los análisis microbiológicos del brócoli indican que: Coliformes totales 9,0 x10¹ UFC/g; Escherichia coli <1,0 x10¹ UFC/g (*) y Salmonella, Ausencia P/A/25 g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

Se seleccionó la muestra (K02) tratada con solución de ácido cítrico para las muestras de brócoli, ya que terminó su secado en 140 minutos y alcanzó una humedad de 0,362 kg de agua por kg de sólido seco. También se eligió la muestra sin tratamiento (K01) para comparar las diferencias en el proceso de secado.

Se realizaron pruebas con un diseño factorial 2³ usando solución de ácido cítrico y sin tratamiento. La muestra R03, con 210 minutos de secado, presentó 0,022 kg de agua por kg de sólido seco, mientras que la muestra RC1, con 190 minutos de secado, mostró 0,005 kg de agua por kg de sólido seco. Por lo tanto, se eligió la muestra RC1 con solución de ácido cítrico para obtener harina de brócoli.


Según el análisis fisicoquímicas de harina de brócoli muestra presenta: Cenizas 7,60%; Fibra 19,20%; Grasa 4,48%; Hidratos de carbono 45,12%; Proteína total (N*6,25) 35,57%; Humedad 7,23% y Valor energético 363 Kcal/100 g. Así mismo, en minerales contiene: Calcio 362 mg/100 g y potasio 4,0 mg/100 g.

En base a los análisis microbiológicos de la harina de brócoli esta contiene: Coliformes totales <1 x10¹ UFC/g (*); Escherichia coli <1,0 x10¹ UFC/g (*) y Salmonella, Ausencia P/A/25 g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, E. (2021), Desarrollo de tortilla con sustitución parcial de harina de trigo por harinas de jícama (*Smallanthus sonchifolius*) y cáscara de haba (*Vicia faba*). (Tesis de grado) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador.: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/16137/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-75.pdf>
- Badii, M.H, J. Castillo, M. Rodríguez, A. Wong & P. Villalpando. (2007) UANL, San Nicolás, N.L. 66450, México. Diseños experimentales e investigación.científica. <http://eprints.uanl.mx/12482/1/A5.pdf>
- Canqui, V. (2018). Comportamiento agronómico de tres variedades de brócoli (*Brassica Oleracea L.*) en la comunidad Achocara Alta Del Municipio De Luribay, (tesis de grado). Universidad mayor de San Andrés. La,PazBolivia <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/20475/TS2627.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Condori, C. (2016). Comportamiento agronómico de tres variedades de nabo (*Brassica oleracea L.*) bajo abonado orgánico en carpa solar en la localidad de Sapahaqui. (Tesis de grado). UMSA, La Paz-Bolivia. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6839/T2185.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Delgado, J., (2020). "Elaboración De Pasta Alimenticia Con Sustitución Parcial De Harina De Brócoli (*Brassica oleraceae var. italica*). (Tesis de grado). Universidad Nacional De Chimborazo, Riobamba-Ecuador. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6504/1/ELABORACION%20DE%20PASTA%20ALIMENTICIA%20CON%20SUSTITUCION%20PARCIAL%20DE%20HARINA%20DE%20BR%20COLI%20%28Brassica%20oleraceae%20var.%20italica%29.pdf>
- Espinoza, JL., Puente, D., Castro, E., (2011). Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtilla (*Ugni molinae Turcz.*). Universidad de Chile. Santiago, Chile. De: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qfespinoza_jl/pdfAmont/qf-espinoza_jl.pdf
- Gutiérrez, C, Z, (2005). Cultivares de brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) en diferentes distancias de trasplante en época de invierno bajo ambiente atemperado, UMSA, La Paz, BO, Pag. 54-80
- Hernández, R., Fernández C. & Baptista P., (2004). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de: <https://nodo.ugto.mx/wp-content/uploads/2017/03/Metodologia-de-la-Investigacion.pdf>
- Lawless, J. T., & Heyman, H. (2010). Sensory Evaluation of Food-Principles and practices. Ithaca, Nueva York:Food science text series,second edición. Obtenido de: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Maldonado, R. J. & Pacheco, D. E. (2003). Curvas de deshidratación del brócoli (*Brassica oleraceae L var. Italica Plenck*) y coliflor (*Brassica oleraceae L var. Botrytis L*). Revista de la Facultad de Agronomía, 20(3), 306-319. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=50378-78182003000300005&lng=es&tln-g=es.
- Mendoza, X. Q., Deley, Lucía Silva, Chacón Marcheco, Edilberto, Toro Molina, Blanca, & Jarrin, R. G. (2023). Empleo de la harina de Brassica oleracea en la alimentación de pollos de ceiba. Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU), 10(2), 1-10. <https://doi.org/10.26423/rctu.v10i2.723>

- 🔖 National Institutes of Health, (2021). Polvos vegetales densos en nutrientes y snacks extruidos de larga duración elaborados con zanahorias y brócoli. https://pmc-ncbi-nlm-nih-gov.translate.google/articles/PMC8535146/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge
- 🔖 Nava, D. (2004). Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire. (Tesis de grado), Licenciatura en Ingeniería Mecánica...Departamento de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas. Puebla Cholula, Puebla, México. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/
- 🔖 Ñaupas, H., Mejía E., Novoa E. & Villagómez A. (2014). Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/metodologia_investigaci%C3%B3n.pdf
- 🔖 Pájaro, N., Torrenegra M., Granados C., Leon G., Pajaro E., Osorio M. (2017) Microencapsulation of pulp of Mangifera indica L. by spray drying and antioxidant activity. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 9(12): 181- 185. Obtenido 15 de noviembre.2023. de: https://www.researchgate.net/publication/321702505_MICROENCAPSULATION_OF_PULP_OF_MANGIFERA_INDICA_L_BY_SPRAY_DRYING_AND_ANTIOXIDANT_ACTIVITY
- 🔖 Palella, S. & Martins, F. (2012). Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas, Venezuela: Unidad Pedagógica Experimental Libertador FEDUPEL). file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20(2).pdf
- 🔖 Rejón, S. S. (2022). Efecto de las condiciones de procesado sobre la cinética de secado y las propiedades antioxidantes de tallos de brócoli. Tesis de Maestría. Universitat politècnica de valència. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/5fef34bc-da8e-4837-9e60-3ee-8c88ef748/content>
- 🔖 Ricoy, Lorenzo, C., (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. Educação, 31 (1),11-22. ISSN:.01019031.. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=117117257002>
- 🔖 Valenzuela, A. M. (2010). Composición química, valor nutricional y desarrollo de productos de harinas de flor, tallo y tronco de brócoli. Tesis de pregrado en Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle de Guatemala. <https://repositorio.uvg.edu.gt/entities/publication/f8d45452-3f9e-428d-9e1f-d21a291301ce>
- 🔖 Velásquez, V. (2007). Estandarización del proceso de secado de carragenina en la empresa Extractos Naturales Gelymar S.A. (Tesis de grado). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de ingeniería.en.Alimentos..Valdivia..Chile..Obtenido.de:.<http://cyber-tesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fav434e/doc/fav434e.pdf>
- 🔖 Villar, E. J. (2017). Deshidratación-secado. Universidad Agraria La Molina. <https://es.scribd.com/document/366663465/SECADO>
- 🔖 Woomer, J. S., & Adedeji, A. A. (2020). Current applications of gluten-free grains—a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 0(0), 1-11. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1713724>

-  Zenteno, M. (2020), Comportamiento de dos variedades híbridas de brócoli (*Brassica Oleraceae* L. var. Plenck) con dos niveles de fertilización inorgánica y dos densidades de plantación en la Comunidad de Erquis Norte. (Tesis de grado). UAJMS, Tarija-Bolivia:https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/donum.php?expl-num_id=17269

EL DIBUJO TÉCNICO Y EL ANÁLISIS DE FORMAS EN RELACIÓN CON LA GEOMETRÍA DESCRIPTIVA: REFLEXIONES TEÓRICAS Y APLICACIONES EN PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS CONTEMPORÁNEOS

TECHNICAL DRAWING AND THE ANALYSIS OF SHAPES IN RELATION TO
DESCRIPTIVE GEOMETRY: THEORETICAL REFLECTIONS AND APPLICATIONS IN
CONTEMPORARY ARCHITECTURAL PROJECTS

Fecha de recepción: 01/08/2025 | Fecha de aceptación: 25/10/2025

Autores

Ayarde Ponce Maria Teresa¹
Hernani Quinteros Aldo Nino²

^{1y2}Docentes de la Carrera de Arquitectura y Urbanismo de la UAJMS

Correspondencia de los autores: mayteayardepo@gmail.com¹, aldohernani22@gmail.com²

Tarija - Bolivia

RESUMEN

Objetivo: Analizar el rol del Dibujo Técnico, el Análisis de Formas y la Geometría Descriptiva como herramientas fundamentales en la enseñanza del diseño y en la producción arquitectónica contemporánea, mediante la integración de un marco teórico y la revisión de dos casos emblemáticos.

Métodos: Se desarrolló una investigación cualitativa-descriptiva basada en revisión documental, análisis comparativo y estudio de casos. Se seleccionaron dos proyectos contemporáneos —One Museum Place (Atlanta, EE. UU.) y Kivik Art Centre Pavilion (Suecia)— evaluando la aplicación de herramientas gráficas, principios geométricos y estrategias compositivas.

Resultados: Los casos muestran que las herramientas gráficas tradicionales mantienen vigencia en procesos proyectuales contemporáneos. Se identifican altos niveles de coherencia formal, precisión geométrica e integración creatividad-técnica (85–95%). La representación gráfica actúa como medio de exploración conceptual y soporte crítico para la toma de decisiones proyectuales.

Conclusiones: El Dibujo Técnico, articulado con la Geometría Descriptiva y el Análisis de Formas, constituye un sistema integral de pensamiento visual indispensable para la formación profesional arquitectónica, incluso en entornos digitales CAD y BIM. Su enseñanza debe reforzarse como base metodológica y cognitiva en el diseño contemporáneo.

ABSTRACT

Objective: To analyze the role of Technical Drawing, Form Analysis, and Descriptive Geometry as fundamental tools in the teaching of design and in contemporary architectural production, through the integration of a theoretical framework and the review of two emblematic cases.

Methods: A qualitative-descriptive research approach was developed based on document review, comparative analysis, and case studies. Two contemporary projects were selected—One Museum Place (Atlanta, USA) and Kivik Art Centre Pavilion (Sweden)—evaluating the application of graphic tools, geometric principles, and compositional strategies.

Results: The cases show that traditional graphic tools remain relevant in contemporary design processes. High levels of formal coherence, geometric precision, and creative-technical integration (85–95%) are identified. Graphic representation acts as a means of conceptual exploration and as critical support for project decision-making.

Conclusions: Technical Drawing, articulated with Descriptive Geometry and Form Analysis, constitutes an integral system of visual thinking that is essential for professional architectural education, even in digital CAD and BIM environments. Its teaching should be reinforced as a methodological and cognitive foundation in contemporary design.

Palabras Clave: Dibujo Técnico, Geometría Descriptiva, Análisis de Formas, Arquitectura, Representación gráfica.

Keywords: Technical Drawing, Descriptive Geometry, Form Analysis, Architecture, Graphic Representation

1. INTRODUCCIÓN

El Dibujo Técnico ha sido históricamente concebido como una herramienta instrumental para representar elementos arquitectónicos con precisión. No obstante, en la práctica proyectual actual su función trasciende esta dimensión, constituyéndose en un lenguaje que articula ideas conceptuales, análisis formal y decisiones constructivas. En este contexto, el Análisis de Formas y la Geometría Descriptiva se integran como disciplinas complementarias que permiten comprender la tridimensionalidad, proporción, ritmo, jerarquía y materialidad de los proyectos.

La relevancia de estas herramientas aumenta en la contemporaneidad arquitectónica debido a la complejidad de los procesos creativos y la incorporación de tecnologías digitales como CAD, BIM y modelado paramétrico. Comprender cómo estas disciplinas contribuyen al pensamiento espacial, a la coherencia formal y a la resolución técnica resulta esencial para el desarrollo profesional del arquitecto.

El presente artículo examina la interrelación entre Dibujo Técnico, Análisis de Formas y Geometría Descriptiva y su aplicación en la producción arquitectónica actual, apoyándose en el análisis de dos proyectos contemporáneos de referencia internacional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se adoptó un enfoque cualitativo-descriptivo, de tipo exploratorio y analítico, orientado a evaluar el papel de herramientas gráficas en los procesos proyectuales contemporáneos.

2.2 MATERIALES DOCUMENTALES

- Literatura académica (2015–2025) sobre representación gráfica, procesos proyectuales y geometría.

- Manuales clásicos de referencia (Ching, Polster).
- Planos, croquis, fotografías y diagramas oficiales de los proyectos estudiados.

2.3 SELECCIÓN DE CASOS

Se eligieron dos obras por su reconocida integración entre geometría, forma y representación gráfica:



1. One Museum Place (Atlanta, 2006–2007)

One Museum Place es la colección definitiva de 45 elegantes residencias en el Distrito Artístico de Midtown, justo enfrente del High Museum of Art. Construidas alrededor de un patio central, las 45 casas se dividen en dos edificios de cinco plantas. Las zonas comunes, como el gimnasio, la sala de estar, la cocina y la bodega, se encuentran en la planta baja, con acceso peatonal directo a la calle Peachtree. John Wieland seleccionó una combinación de materiales de alta calidad para revestir los exteriores del edificio. Paneles de fachada compuestos Swiss Pearl, ladrillo y pizarra, junto con ventanas Kolbe, adoquines de granito fundido y hermosos jardines, realzan el exquisito diseño arquitectónico. Un único nivel de aparcamiento subterráneo, junto con la fachada de Peachtree, alberga garajes individuales y trasteros. Todas las unidades tienen acceso directo al ascensor y algunas unidades del quinto piso cuentan con

terrazas en la azotea. Todas las casas cuentan con terrazas revestidas de cedro con parrillas y fregaderos, además de vistas espectaculares.



2. Kivik Art Centre Pavilion (Suecia, 2007–2008)

Arte y Arquitectura; Una buena combinación, no? El caso del Kivik Pavillion de David Chipperfield y el artista Antony Gormley manifiesta en toda su expresión la potencialidad que puede alcanzar un proyecto desde una mirada interdisciplinaria. El pabellón para el Kivik Art Center está ubicado en Österlen, Suecia, y será inaugurado esta semana. Un dato para quienes vivan en ese país nórdico.

El pabellón construido en tan sólo 2 meses, es entendido como una escultura completa de concreto. Formado en base a 3 volúmenes de 100 m³ de hormigón, "La cueva", "La escena" y "La Torre", el pabe-

llón ofrece tres diferentes formas para experimentar la naturaleza y los paisajes de los alrededores de Kivik. "La Cueva", un espacio cobijado en la base de la escultura donde es posible descansar en una xxx, busca dialogar con la sensación de estar en la oscuridad de un bosque. Las escaleras llevan al visitante al primer nivel, "La escena", un volumen horizontal abierto al paisaje, donde es posible mirar pero a la vez ser mirado. El tercer volumen, "La Torre", lleva al visitante a través de una escalera en espiral hacia la plataforma de 18 metros de altura sobre el nivel natural del terreno, donde es posible apreciar y contemplar la magnífica vista sobre las copas de los árboles hacia el Mar Báltico.

2.4 PROCEDIMIENTOS

1. Revisión documental

Identificación de principios teóricos en Dibujo Técnico, Geometría Descriptiva y Análisis de Formas.

2. Análisis arquitectónico-comparativo

Evaluación de volumetría, secuencias espaciales, precisión geométrica, relación con contexto y estrategias de representación.

3. Triangulación

Integración de evidencia teórica, gráfica y proyectual para obtener conclusiones consistentes.

3. RESULTADOS

3.1 RESULTADOS CUALITATIVOS

One Museum Place

- Uso sistemático de geometrías moduladas para organizar volúmenes escalonados.
- Representación gráfica precisa que articula relación con entorno urbano.
- Materialidad coherente basada en pizarra natural y líneas de fuerza horizontales.

- Kivik Art Centre Pavilion
- Secuencias espaciales expresivas que integran arte y arquitectura.
- Geometría precisa en volúmenes de hormigón: cueva, torre y plataforma.
- Relación directa entre recorrido, percepción visual y forma construida.

3.2 RESULTADOS CUANTITATIVOS

Indicador	One Museum Place	Kivik Art Centre Pavilion
Uso de Geometría Descriptiva	85%	90%
Aplicación de Análisis de Formas	80%	95%
Precisión técnica	Alta	Muy alta
Integración creatividad-técnica	Media-alta	Muy alta
Coherencia formal	Alta	Muy alta
Relación con contexto	Alta	Muy alta

3.3 Síntesis de hallazgos

- Las herramientas gráficas tradicionales continúan actuando como lenguaje proyectual.
- Aportan rigor geométrico, claridad conceptual y coherencia espacial.
- Son fundamentales para interpretar y producir arquitectura de alta calidad.
- Complementan, y no sustituyen, la práctica digital contemporánea

4. DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que el Dibujo Técnico, la Geometría Descriptiva y el Análisis de Formas siguen siendo pilares metodológicos fundamentales en la arquitectura actual.

En One Museum Place, la geometría modula la relación entre volumen y contexto, mientras que en el Kivik Pavilion se observa una integración interdisciplinaria que combina arte, escultura y diseño.

A pesar del avance de herramientas digitales, la representación gráfica manual y teórica continúa actuando como una estructura cognitiva para el pensamiento espacial. La formación arquitectónica debe fortalecer estos fundamentos para que los futuros profesionales sean capaces de integrar creatividad, precisión técnica y sensibilidad contextual.

5. CONCLUSIONES

1. El Dibujo Técnico constituye un lenguaje proyectual esencial que articula idea, forma y construcción.
2. La Geometría Descriptiva aporta rigor en la representación tridimensional, facilitando la comprensión y manipulación del espacio.
3. El Análisis de Formas permite interpretar composición, proporción y jerarquía espacial.
4. Las herramientas gráficas tradicionales mantienen vigencia y se complementan con CAD, BIM y modelado paramétrico.
5. Se recomienda fortalecer su enseñanza integrada para desarrollar pensamiento crítico, creatividad y competencia técnica en estudiantes de arquitectura.

6. REFERENCIAS

- 📖 Ayarde Ponce, M. T., & Hernani Quinteros, A. N. (2025). El Dibujo Técnico y el Análisis de Formas en Relación con la Geometría Descriptiva: Reflexiones Teóricas y Aplicaciones en Proyectos Arquitectónicos Contemporáneos. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), Carrera de Arquitectura y Urbanismo, Tarija, Bolivia.

Ching, D. K. (2015). Dibujo arquitectónico: Una introducción a la representación gráfica en arquitectura (2.ª ed.). Editorial Gustavo Gili.

Polster, A., & Polster, M. (2016). Geometría descriptiva para arquitectos: Fundamentos y aplicaciones prácticas. Editorial Reverté.

Díaz González, E. M., Belaroussi, R., Soto-Martín, O., Acosta, M., & Martín-Gutierrez, J. (2025). Efecto de la realidad virtual interactiva en la enseñanza del diseño conceptual en ingeniería y arquitectura. *Applied Sciences*, 15(8), 4205. <https://doi.org/10.3390/app15084205>

Tan, L., Tanaka, T., & Liu, J. (2025). Análisis del dibujo arquitectónico en las obras de cuatro arquitectos contemporáneos chinos y japoneses: Un enfoque multidimensional. *Architecture*, 5(2), 23. <https://doi.org/10.3390/architecture5020023>

Schmid-Kirsch, A. (2023). Enseñanza de la geometría descriptiva en la Facultad de Arquitectura. *Journal for Geometry and Graphics*, 27(1), 75–82. <https://doi.org/10.3934/jgg.2023.27.75>

Chipperfield, D., & Gormley, A. (2008). Kivik Art Centre Pavilion. En *Arquitectura y paisaje: Proyectos contemporáneos* (pp. 45–59). Editorial Gustavo Gili.

Arquitectos Asociados. (2007). One Museum Place. En *Arquitectura urbana: Proyectos destacados* (pp. 112–125). Editorial Arquitectura Viva.

Artículos académicos recientes:

Díaz González, E. M., Belaroussi, R., Soto-Martín, O., Acosta, M., & Martín-Gutierrez, J. (2025). Efecto de la realidad virtual interactiva en la enseñanza del diseño conceptual en ingeniería y arquitectura. *Applied Sciences*, 15(8), 4205. <https://doi.org/10.3390/app15084205>

Tan, L., Tanaka, T., & Liu, J. (2025). Análisis del dibujo arquitectónico en las obras de cuatro arquitectos contemporáneos chinos y japoneses: Un enfoque multidimensional. *Architecture*, 5(2), 23. <https://doi.org/10.3390/architecture5020023>

Schmid-Kirsch, A. (2023). Enseñanza de la geometría descriptiva en la Facultad de Arquitectura. *Journal for Geometry and Graphics*, 27(1), 75–82. <https://doi.org/10.3934/jgg.2023.27.75>

Libros y manuales especializados:

Ching, D. K. (2015). Dibujo arquitectónico: Una introducción a la representación gráfica en arquitectura (2.ª ed.). Editorial Gustavo Gili.

Polster, A., & Polster, M. (2016). Geometría descriptiva para arquitectos: Fundamentos y aplicaciones prácticas. Editorial Reverté.

Estudios de caso relevantes:

Chipperfield, D., & Gormley, A. (2008). Kivik Art Centre Pavilion. En *Arquitectura y paisaje: Proyectos contemporáneos* (pp. 45–59). Editorial GG.

Arquitectos asociados. (2007). One Museum Place. En *Arquitectura urbana: Proyectos destacados* (pp. 112–125). Editorial Arquitectura Viva.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PLUVIÓMETRO AUTOMÁTICO DE BAJO COSTO

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOW-COST AUTOMATIC RAIN GAUGE

Fecha de recepción: 01/08/2025 | Fecha de aceptación: 25/10/2025

Autores

Romero Miranda Aldo Ivan¹
Gamarra Mendoza Mario Carmelo²
Perales Avilés Moisés³

¹Ingeniero Civil, Investigador Junior Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), Carrera de Ingeniería Civil Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

²Ingeniero Civil, M.Sc. Investigador Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), Carrera de Ingeniería Civil Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

³Ingeniero Civil, Ph.D. Director Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), Carrera de Ingeniería Civil Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia de los autores: alivromi@gmail.com¹, mcgamarramendoza@gmail.com²,
moisesperalesaviles@gmail.com³

Tarija - Bolivia

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad desarrollar un prototipo funcional de pluviógrafo de bajo costo, mediante el uso de tecnologías de impresión 3D y microcontroladores, orientado a ampliar la cobertura del monitoreo de precipitaciones en Bolivia.

Se diseñó un modelo tridimensional del pluviógrafo utilizando SolidWorks, que fue materializado mediante impresión 3D y ensamblado con componentes electrónicos basados en el ESP32, sensores y módulos electrónicos. La programación del sistema se efectuó en Arduino IDE, permitiendo la adquisición y transmisión de datos hacia la plataforma ThingSpeak. La validación prueba en campo, siguiendo se realizó criterios técnicos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y comparando los resultados con equipos de referencia instalados en estaciones existentes.

El prototipo alcanzó un comportamiento operativo estable, con una precisión de medición comparable a la de pluviómetros convencionales en condiciones reales. El análisis técnico y económico demostró que el dispositivo puede construirse a menor precio que el costo de equipos comerciales, manteniendo estándares aceptables de confiabilidad. Además, se identificó que el departamento de Tarija dispone su mayoría de pluviómetros convencionales y aun así no cubre de manera efectiva vacíos en la red de estaciones meteorológicas. El uso de tecnologías abiertas y fabricación aditiva permite el desarrollo de instrumentos pluviométricos precisos, accesibles y adaptables a contextos con restricciones presupuestarias. Este tipo de soluciones no solo contribuyen a fortalecer los sistemas de monitoreo hidrometeorológico, sino que también fomentan la innovación tecnológica local, la formación profesional en ingeniería civil y la resiliencia ante eventos climáticos extremos.

Palabras Clave: Arduino, impresión 3D, monitoreo hidrométrico, red de estaciones meteorológicas, Tarija.

Keywords: .

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop a functional, low-cost rain gauge prototype using 3D printing technologies and microcontrollers, aimed at expanding precipitation monitoring coverage in Bolivia.

A three-dimensional model of the rain gauge was designed using SolidWorks, manufactured through 3D printing, and assembled with electronic components based on the ESP32, sensors, and electronic modules. The system was programmed using the Arduino IDE, enabling data acquisition and transmission to the ThingSpeak platform. Validation and field testing was carried out, following the technical criteria of the World Meteorological Organization (WMO) and comparing the results with reference equipment installed at existing stations.

The prototype achieved stable operational performance, with measurement accuracy comparable to that of conventional rain gauges under real-world conditions. The technical and economic analysis showed that the device can be built at a lower cost than commercial equipment while maintaining acceptable reliability standards. Furthermore, it was identified that the department of Tarija relies mostly on conventional rain gauges, yet still fails to effectively cover gaps in the meteorological station network.

The use of open-source technologies and additive manufacturing enables the development of precise, accessible, and adaptable rain gauge instruments in budget-constrained contexts. These types of solutions not only help strengthen hydrometeorological monitoring systems, but also promote local technological innovation, professional training in civil engineering, and resilience to extreme weather events.

1. INTRODUCCIÓN

La recolección precisa de datos de precipitación es esencial para la planificación de sistemas de drenaje, obras hidráulicas y gestión del riesgo ante inundaciones. Sin embargo, Bolivia enfrenta serias limitaciones en su infraestructura de monitoreo meteorológico: es insuficiente, fragmentada y en muchos casos obsoleta. Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2022), de las 1527 estaciones instaladas en las últimas cinco décadas, solo el 27% sigue operativa, y apenas 15 de los 235 pluviómetros convencionales están plenamente funcionales. Esta situación compromete la calidad de las bases de datos usadas en ingeniería y ciencia.

Frente a este escenario, en América Latina han surgido soluciones tecnológicas de bajo costo y alta adaptabilidad. En Argentina, se diseñó un pluviómetro autónomo con sensores ultrasónicos e infrarrojos sobre una estructura económica, probado con éxito en zonas rurales (de Rosas et al., 2020). En Colombia, estudiantes de ingeniería desarrollaron una estación meteorológica con Arduino, capaz de registrar variables como temperatura, humedad y precipitación, con buenos resultados en proyectos reales (Medina Molina & Ramírez Galvis, 2019). Asimismo, estudios recientes han validado la precisión de sensores de bajo costo frente a estaciones profesionales (Parth Saxena et al., 2024).

Estas experiencias demuestran el potencial de sistemas accesibles para ampliar la cobertura, modernizar redes existentes y fortalecer capacidades locales. La implementación de tecnologías abiertas puede transformar la gestión hidrometeorológica, apoyar decisiones en ingeniería civil y fomentar innovación académica y comunitaria

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se fundamenta en principios interdisciplinarios de la hidrología, ingeniería ambiental y fabricación digital, orientados al desarrollo de

un pluviómetro de bajo costo utilizando tecnologías accesibles. Su diseño busca validar teorías sobre el estudio de precipitaciones, comportamiento hidrológico de microcuencas y procesamiento de datos en tiempo real, alineándose con los criterios técnicos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Metodológicamente, se propone un modelo replicable y de código abierto que integra impresión 3D, diseño paramétrico, sensores digitales y programación, optimizando la relación costo-beneficio en la creación de instrumentos científicos. La calibración del prototipo se basa en la comparación con pluviómetros estándar, ofreciendo una base adaptable para futuras investigaciones o contextos educativos.

En el plano práctico, responde a la necesidad de ampliar la cobertura del monitoreo pluviométrico en regiones con infraestructura limitada, brindando una herramienta de fácil mantenimiento y operación. Su aplicación abarca desde universidades hasta gobiernos locales y organizaciones comunitarias, fortaleciendo la resiliencia climática, la gestión de riesgos y la formación técnica mediante el uso pedagógico en áreas como ciencias ambientales, electrónica y tecnología aplicada.

HIPOTESIS

Es probable que un pluviómetro automático desarrollado con impresión 3D y microcontroladores de bajo costo presente un desempeño aceptable en la medición de precipitación cuando se compare con instrumentos estándar, demostrando su potencial como tecnología accesible para ampliar el monitoreo pluviométrico en contextos con infraestructura limitada.

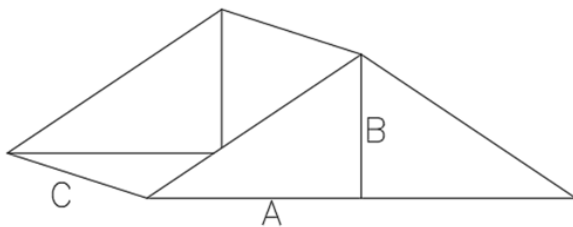
2. MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO

El diseño del pluviómetro se centra en la optimización de sus componentes para garantizar medicio-

nes precisas y confiables de la precipitación. La superficie de captación se calcula a partir del diámetro del embudo (26,7 cm), resultando en un área de 559,90 cm², lo que asegura una recolección efectiva del agua. El volumen de basculación del instrumento se establece en 5,6 ml, lo que genera una fuerza suficiente para activar el mecanismo de basculación cuando el balde se llena con agua. Este diseño cumple con las especificaciones estándar de la OMM para la medición de precipitación.

Figura 1. Esquema inicial de la propuesta.

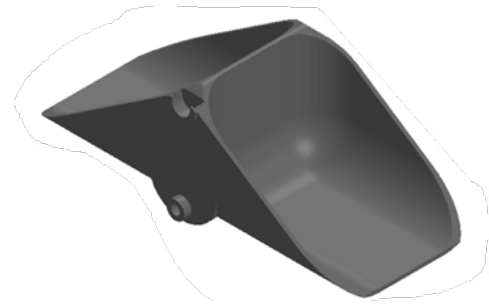


Elaboración propia

El análisis estático de las dimensiones del pluviómetro determina que las medidas óptimas para su funcionamiento son: $A = 0,045$ m, $B = 0,030$ m y $C = 0,040$ m, con un ángulo de inclinación de 30°. Estas dimensiones fueron obtenidas mediante el cálculo de la fuerza generada por el agua y el peso de los componentes, asegurando la precisión del mecanismo de basculación.

Para el modelado, se utilizó SolidWorks, con un enfoque en la geometría que minimiza el rozamiento y evita interferencias en el movimiento del balancín. Se incluyó un imán de neodimio que genera una fuerza magnética significativa para garantizar un funcionamiento estable y controlado del sistema.

Figura 2 Diseño final.

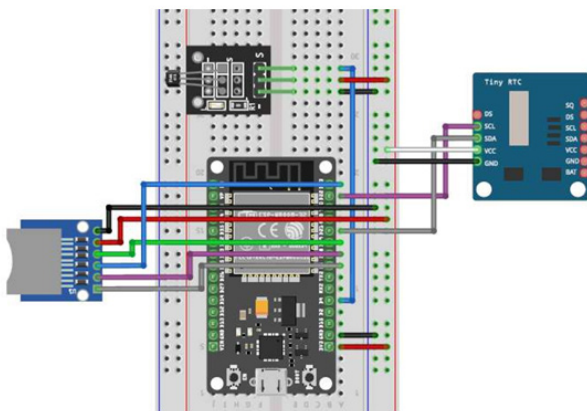


Elaboración propia

PROGRAMACIÓN

En términos de programación, el sistema se basa en un microcontrolador ESP32, con la capacidad de contar los pulsos generados por el mecanismo de basculación, registrar la información en una tarjeta SD y transmitir los datos a la plataforma ThingSpeak para su visualización remota en tiempo real. Cada pulso detectado corresponde a 0,1 mm de precipitación, lo que permite realizar un seguimiento detallado de la cantidad de lluvia caída en un periodo determinado.

Figura 4. Esquema de conexiones

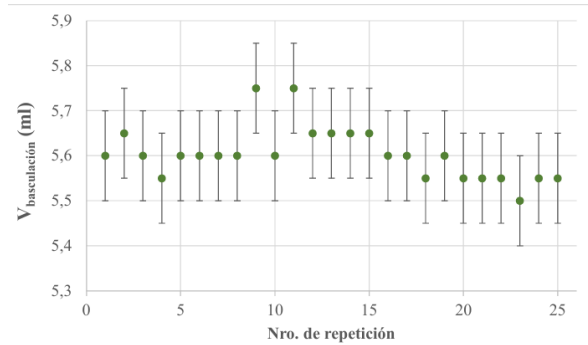


Elaboración propia

CALIBRACIÓN

La calibración del pluviómetro se realizó de manera estática y dinámica, utilizando un volumen conocido de agua para verificar la precisión del instrumento, se realizaron un total de 25 mediciones por cubeta. Los resultados mostraron que el pluviómetro es capaz de registrar cantidades de lluvia con un margen de error aceptable, cumpliendo con los estándares internacionales para la medición de precipitación.

Figura 5. Calibración de balancín.



Elaboración propia

Además, se simuló la lluvia con intensidades variadas, validando la respuesta del instrumento en diferentes condiciones operativas, se determinó que el rango de calibración debe extenderse hasta 300 mm/h para cubrir eventos meteorológicos extremos.

3. RESULTADO

MEDICIONES EN CAMPO

Tras la calibración en laboratorio, el pluviómetro fue instalado el 15 de diciembre de 2024 en el campus universitario, en un sitio libre de obstrucciones y con fácil acceso para mantenimiento. La ubicación elegida presenta una ventaja adicional: se encuentra junto a una estación meteorológica equipada con un pluviómetro automático, lo que permite análisis comparativos de alta resolución (nivel horario) para evaluar fenómenos como lluvias breves e intensas y la respuesta dinámica del sensor.

Durante la instalación, se verificaron la nivelación, el anclaje y la conexión de los componentes del equipo. También se colocó un pluviómetro convencional cercano, cuya lectura manual acumulada a nivel diario sirvió como referencia para validar el nuevo dispositivo.

Figura 6. Puesta final de pluviómetro CIAGUA-UAJMS y convencional.



Elaboración propia

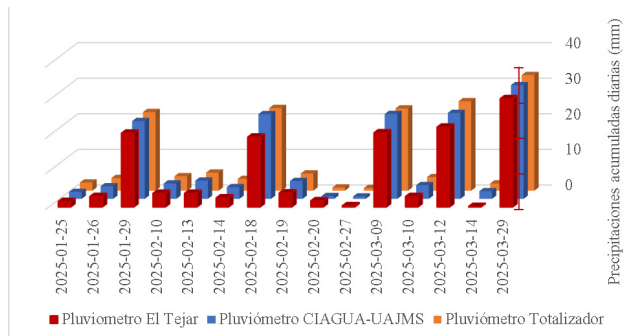
1. Comparación a Nivel Diario: Entre el 19 de diciembre de 2024 y el 29 de marzo de 2025, se recopilaron datos diarios del pluviómetro automático EL Tejar, CIAGUA-UAJMS y del tipo convencional. Las lecturas, con diferencias mínimas, revelaron alta concordancia, permitiendo identificar posibles sesgos como salpicaduras u obturaciones.

Tabla 1. Comparación general a nivel diario

Fecha (aaaa-mm-dd)	Pluviómetro CIAGUA-UAJMS (mm)	Pluviómetro convencional (mm)	Pluviómetro El Tejar (mm)
2025-01-25	1,96	2,29	1,60
2025-01-26	3,53	3,56	3,00
2025-01-29	21,89	22,10	20,80
2025-02-10	4,45	4,06	3,90
2025-02-13	5,13	5,08	3,90
2025-02-14	3,31	3,30	2,60
2025-02-18	23,83	23,24	19,70
2025-02-19	5,02	4,83	4,00
2025-02-20	0,80	0,89	1,80
2025-02-27	0,68	0,76	0,40
2025-03-09	23,86	23,11	20,90
2025-03-10	3,88	3,81	3,00
2025-03-12	24,17	25,15	22,50
2025-03-14	2,17	2,03	0,20
2025-03-29	31,98	32,51	30,50

Elaboración propia

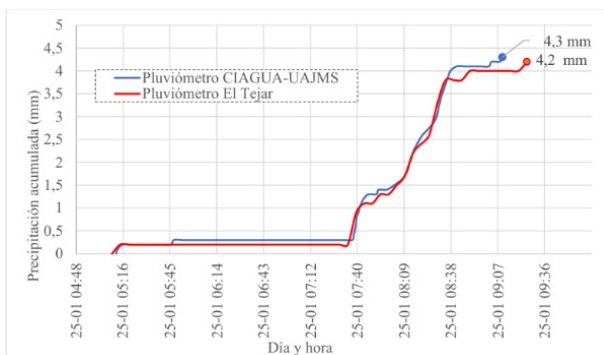
Figura 7. Comparación general a nivel diario.



Elaboración propia

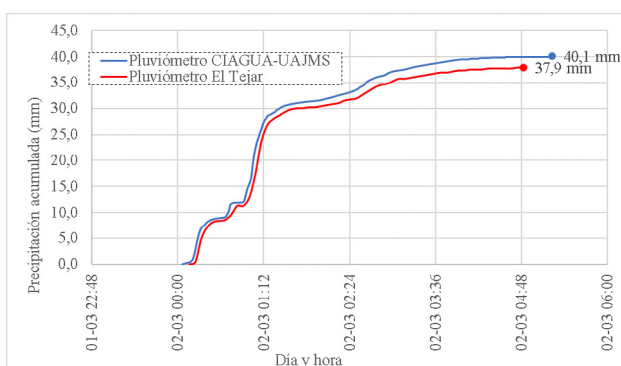
2. Comparación por evento: e realizó una comparación con la estación automática de la cuenca, que registra datos cada 5 minutos. Esto permitió evaluar la precisión y sincronía del nuevo pluviómetro frente a eventos intensos de corta duración, fundamentales para modelaciones hidrológicas de alta frecuencia.

Figura 8. Comparación evento 25-01-2025



Elaboración propia

Figura 9. Comparación evento 02-03-2025



Elaboración propia

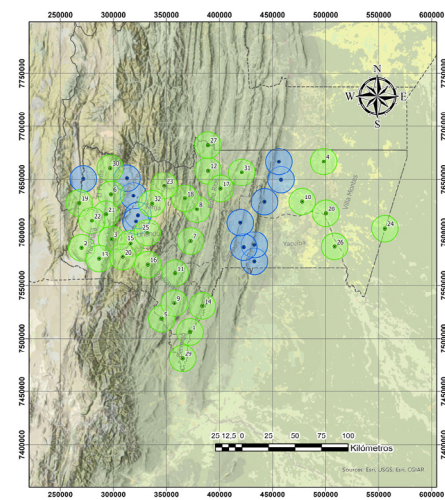
PROPUESTA DE REACTIVACIÓN DE LA RED

Se elaboró un diagnóstico técnico de la red pluviométrica del departamento de Tarija, utilizando datos del SENAMHI y análisis geoespacial con un radio de cobertura ideal de 12,5 km por estación. Se identificaron 46 pluviómetros convencionales activos, que cubren el 35% del territorio, y 13 automáticos, con solo un 15% de cobertura. Mientras los convencionales requieren lectura manual, los automáticos ofrecen datos en tiempo real y mayor frecuencia.

Mediante un análisis multicriterio con SIG, se evaluaron cinco factores clave: acceso vial, cercanía a comunidades, pluviómetros inactivos, pluviómetros existentes y zonas con estaciones automáticas. El mayor peso se otorgó a la reactivación de estaciones fuera de servicio.

Resultado de este se definieron 32 nuevas ubicaciones estratégicas para mejora y reactivar la red automática. Esta propuesta incrementaría la cobertura total al 50%, mejorando significativamente la calidad, continuidad y representatividad de los datos. La reactivación y expansión planteadas fortalecerán la capacidad de monitoreo climático, planificación territorial y gestión del riesgo hidrometeorológico en Tarija

Figura 10. Propuesta reactivación de EMA's



Elaboración propia

ANALISIS ECONOMICO

El diseño contempla además una unidad electrónica común para procesamiento, almacenamiento y transmisión de datos.

Su costo estimado fue de 157,68 \$us, sin incluir mano de obra. Representa una alternativa local, accesible y escalable frente a modelos comerciales importados más costosos,

Tabla 2. Precio de pluviómetro propuesto.

Componente	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (Bs)	Precio (Bs)
ESP32 Wifi Bluetooth 30pines	1	Pza.	85,00	85,00
Sensor Magnético Efecto Hall KY003	1	Pza.	15,00	15,00
Módulo Micro SD	1	Pza.	14,00	14,00
Módulo Clock DS3231	1	Pza.	30,00	30,00
Alimentación (Panel solar)	1	Pza.	271,00	271,00
Cable 22-26 AWG	1	Pza.	24,00	24,00
Colector de polipropileno	1	Pza.	35,00	35,00
Tubo de PVC	1	Pza.	25,00	25,00
Tornillo M5 x 15 mm	3	Pza.	1,50	4,50
Tornillo M3 x 40 mm	2	Pza.	3,50	7,00
Varilla 3 mm	1	Pza.	5,00	5,00
Impresión 3D Filamento	390,70	g	0,42	163,93
Impresión 3D Resina	29,10	ml	0,79	23,02
Pintura en aerosol	1	Pza.	25,00	25,00
Estructura metálica	1	Pza.	370,00	370,00
Total				1097,44

Elaboración propia

En comparación, los precios de pluviómetros comerciales oscilan entre los \$us 200 y los \$us 976, sin incluir en muchos casos, los sistemas complementarios de adquisición de datos

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la fabricación de un pluviómetro automático mediante impresión 3D y plataformas de hardware libre es una alternativa viable para el monitoreo de precipitación en contextos con limitada infraestructura hidrometeorológica, como ocurre en diversas regiones de Bolivia. La validación en laboratorio permitió verifi-

car el correcto funcionamiento del sistema de cubeta basculante y del sensor magnético, evidenciando una correlación consistente entre los volúmenes esperados y los registrados. Este comportamiento confirma que el mecanismo de medición y la configuración electrónica seleccionada permiten obtener datos confiables, al menos en condiciones controladas.

En campo, el dispositivo mostró un desempeño comparable al de pluviómetros totalizadores y automáticos comerciales, lo que sugiere que el prototipo puede operar adecuadamente bajo condiciones reales. Sin embargo, se observaron ligeras diferen-

cias en eventos de mayor intensidad, lo cual podría asociarse a procesos de calibración, diseño geométrico o respuesta dinámica del mecanismo de basculamiento. Estas variaciones serán analizadas en estudios posteriores para optimizar la precisión del instrumento.

Finalmente, la mayor resolución temporal del registro permitió identificar con mayor detalle la dinámica de los eventos de lluvia, información crucial para aplicaciones hidrológicas, hidráulicas y de gestión de riesgos. Estos hallazgos sugieren que el prototipo no solo es competente en términos de precisión, sino que además aporta valor agregado en términos de capacidad analítica y temporal.

5. CONCLUSIONES

- La investigación confirma que el desarrollo de un pluviómetro automático mediante impresión 3D y componentes electrónicos de bajo costo es técnica y económicamente viable, ofreciendo una alternativa accesible a los equipos comerciales tradicionales.
- Las pruebas en laboratorio y campo demostraron que el dispositivo presenta un desempeño confiable y una correlación adecuada con equipos de referencia, lo que respalda su uso para fines académicos, comunitarios y operativos.
- El modelo paramétrico empleado facilita la adaptación del dispositivo a diversos escenarios ambientales y su réplica a bajo costo, permitiendo su implementación en diferentes regiones del país.
- El prototipo mostró capacidad para registrar datos con mayor resolución temporal frente a equipos totalizadores, aportando valor para estudios hidrológicos, diseño hidráulico y planes de gestión de riesgo ante eventos extremos.
- El proyecto sienta las bases para futuras redes descentralizadas de monitoreo meteorológico

impulsadas por universidades, gobiernos locales y comunidades, contribuyendo a fortalecer la soberanía tecnológica y científica del país.

6. BIBLIOGRAFÍA

- 🔖 Agencia Estatal de Meteorología. (2023). Manual de uso de términos meteorológicos (Manual No. NIPO: 666-23-001-7; p. 36). Agencia Estatal de Meteorología.
- 🔖 Almada, A. H. (2020). Estación Meteorológica Anemómetro y Pluviómetro [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- 🔖 Artajo Iparraguirre, X. (2010). Pluviómetro de cazoletas [Trabajo final de grado]. Universidad Pública de Navarra.
- 🔖 BARR, R. E. (2023). Design workbook using solidworks 2023: Design, detailing, assembly & analysis basics. SDC PUBNS.
- 🔖 Cordero, S. C. (2016). Análisis y evaluación de los datos de precipitación de los satélites TRMM y GPM, en las 4 macro regiones climáticas de Bolivia [Maestría]. Universidad Mayor de San Andrés.
- 🔖 de Rosas, J. P., Morales Preve, A., Insausti, M., Houspanoussian, J., & Gimenez, R. (2020). Pluviómetro de bajo costo para mejorar la resolución espacio-temporal del registro de lluvias en condiciones de campo.
- 🔖 Diosdado, R. (2014). Manual de usuario: Software de Ultimaker para la impresión 3D [Manual].
- 🔖 Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. (1990). Secretaría de la OMM.
- 🔖 Hui-Chung Yeh, Yen-Chang Chen, Che-Hao Chang, Cheng-Hsuan Ho, & Chiang Wei. (2017). Rainfall Network Optimization Using Radar and Entropy. Rainfall Network Optimization Using Radar and Entropy.

- 🔖 Junlin Hua, Mengxi Wu, Jake P. Mulholland, J. David Neelin, Victor C. Tsai, & Daniel T. Trugman. (2023). High-resolution precipitation monitoring with a dense seismic nodal array.
- 🔖 Khan, S., Khan, F., & Guan, Y. (2022). Assessment of gridded precipitation products in the hydrological modeling of a flood-prone mesoscale basin.
- 🔖 Kurniawan, A. (2019). Internet of Things projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT projects using the all-new Espressif ESP32 (1st ed). Packt Publishing.
- 🔖 MathWorks. (2023). ThingSpeak Documentation. <https://thingspeak.com>
- 🔖 Mattos Gutierrez, S. R., Ayele Almaw Fenta, Taye Minichil Meshesha, & Ashebir Sewale Belay. (2024). Unveiling the Accuracy of New-Generation Satellite Rainfall Estimates across Bolivia's Complex Terrain.
- 🔖 Medina Molina, C. A., & Ramírez Galvis, W. F. (2019). Diseño y construcción de estación meteorológica, ubicada en la vereda El Callejón, Ricaurte-Cundinamarca [Trabajo de grado]. Universidad Católica de Colombia.
- 🔖 NASA. (2019). Two Decades of Precipitation Measurement. <https://gpm.nasa.gov/missions/two-decades-precipitation-measurement>
- 🔖 Parth Saxena, Pratham Saxena, Adarsh Sowcar, Sreeharsha Angara, Ashutosh Pandey, & Thomas Basikolo. (2024). Development and Performance of a Static Pluviometer System.
- 🔖 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2022). Diagnóstico de la red hidrometeorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Ministerio de Medio Ambiente y Agua – SENAMHI.

MEMORIA URBANA Y TURISMO SOSTENIBLE: HACIA UN ENFOQUE DE USOS MIXTOS Y RECORRIDOS URBANOS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE TARIJA

URBAN MEMORY AND SUSTAINABLE TOURISM: TOWARDS A MIXED-USE AND
URBAN ROUTE APPROACH IN THE HISTORIC CENTRE OF TARIJA

Fecha de recepción: 01/08/2025 | Fecha de aceptación: 25/10/2025

Autora

Baldivieso Alarcón Giovanna¹

¹Arquitecto Urbanista. Investigador independiente. Miembro del Instituto Boliviano de Urbanismo, IBU.
Presidente de la Sociedad de Estudios Urbanos y Regionales del Colegio de Arquitectos de Tarija.

ORCID: 0009-0004-7926-9906

Correspondencia de la autora: giovi.baldi@gmail.com¹, trazourbanotja@gmail.com¹

Tarija - Bolivia

RESUMEN

Este artículo, fruto de una investigación científica realizada en 2023 ajustada para la AEB, Asociación de Estudios Bolivianos y mejorada en 2025 para el Diplomado de Gestión patrimonial y Paisaje cultural de la RED FLACAM catedra de la UNESCO y el Colegio de Arquitectos de Potosí, presenta un análisis crítico reflexivo sobre el centro histórico de Tarija desde una perspectiva integral que articula la memoria urbana, el turismo sostenible y usos de suelo. A través del análisis de la morfología urbana, la vitalidad social y las dinámicas turísticas, se propone estrategias basadas en recorridos temáticos, rutas culturales y patrimoniales, entre otras, que buscan reactivar el corazón histórico sin perder su autenticidad. El trabajo parte de la observación directa, levantamiento de información urbana y la interpretación teórica de diferentes autores, que destacan la importancia de la diversidad, participación ciudadana y calidad del espacio público. Se concluye que el futuro del centro histórico de la ciudad de Tarija, depende de la gestión urbana sostenible, que incorpore políticas urbanas que equilibren la habitabilidad, la economía local y el patrimonio, reconociendo que su valor más profundo radica en la vida cotidiana de sus habitantes y no solo en su herencia material.

ABSTRACT

This article, the result of scientific research conducted in 2023 and adapted for the Bolivian Studies Association (AEB) and improved in 2025 for the Diploma in Heritage Management and Cultural Landscape of the FLACAM Network, a UNESCO Chair, and the College of Architects of Potosí, presents a critical and reflective analysis of the historic center of Tarija from a comprehensive perspective that integrates urban memory, sustainable tourism, and land use. Through the analysis of urban morphology, social vitality, and tourism dynamics, it proposes strategies based on thematic tours, cultural and heritage routes, among others, that seek to revitalize the historic heart without losing its authenticity. The work is based on direct observation, the collection of urban information, and the theoretical interpretation of various authors who emphasize the importance of diversity, citizen participation, and the quality of public space. It is concluded that the future of the historic center of the city of Tarija depends on sustainable urban management, which incorporates urban policies that balance habitability, the local economy and heritage, recognizing that its deepest value lies in the daily life of its inhabitants and not only in its material heritage.

Palabras Clave: Centro histórico, gentrificación, memoria urbana, rutas culturales, turismo sostenible y urbicidio.

Keywords: Historic center, gentrification, urban memory, cultural routes, sustainable tourism and urbicide.

2. INTRODUCCIÓN

El casco viejo de la ciudad de Tarija se erige como un valioso palimpsesto urbano¹, donde las huellas de su pasado colonial y republicano se entrelazan con la vida cotidiana, reforzando una memoria urbana palpable en sus calles angostas, plazas, parques y construcciones únicas, legados vernáculos de la zona central. Este espacio constituye el principal escenario de expresiones culturales y religiosas, como los recorridos de la fiesta Grande de San Roque, declarada por la UNESCO como Patrimonio Cultural Inmaterial de la humanidad. No obstante, el patrimonio inmaterial y edificado enfrentan riesgos crecientes derivados de dinámicas urbanas contemporáneas, concentraciones masivas de comercio, tráfico vehicular, contaminación visual ambiental, abandono, obsolescencia de las normativas existentes y el seguimiento al cumplimiento o incumplimiento de las mismas. (ver imagen 1 y 2). A ello se suman planes que, al priorizar intereses sectoriales, no reconocen la verdadera magnitud del valor patrimonial ni el potencial de un desarrollo equilibrado.

La discusión central de este trabajo se articula en torno al impacto negativo del enfoque de usos exclusivos, en particular del turismo masivo, promovido en recientes propuestas de planificación. Frente a ello, la necesidad de políticas urbanas integrales que apuesten por un turismo sostenible, capaz de preservar la identidad local y reforzar los vínculos sociales y culturales del centro histórico. Problemas como el despoblamiento progresivo, la sustitución de usos habitacionales, el deterioro de viviendas, la congestión vehicular y la degradación social y ambiental (Balandrano, Valero, & Ziccardi, 2016) hoy también afectan al corazón urbano tarijeño.

Se plantea un análisis crítico sobre la gestión y vulnerabilidad del patrimonio histórico-cultural en Tarija, subrayando la necesidad de fortalecer los instrumentos de planificación urbana con normativas claras y aplicables que garanticen su preservación. La adopción de un modelo de turismo sostenible e inclusivo, que incorpore dimensiones sensoriales, gastronómicas y culturales, integrando activamente a los residentes y sus prácticas cotidianas. La propuesta de rutas temáticas dentro del centro histórico busca revitalizar su identidad mediante usos mixtos y equilibrados, evitando la expulsión de la población residente y consolidando un centro vivo y funcional. La pregunta fundamental que guía este análisis es: ¿Cómo puede Tarija preservar su memoria urbana y beneficiarse del turismo sin caer en los riesgos del urbidio y la gentrificación, promoviendo en su lugar un centro vivo? La hipótesis subyacente plantea que el equilibrio de actividades, centrado en la preservación de los valores históricos, culturales y la garantía de la calidad de vida de los residentes (Crespi Vallbona & Dominguez Perez, 2013) (Santos, Valenca, & Oliveira Fernandes, 2017). Desde esta perspectiva se resalta la importancia de diagnósticos profundos y estrategias locales articuladas entre actores públicos, privados y comunitarios, para recuperar la función de centralidad y sostenibilidad de los centros históricos. (Balandrano, Valero, & Ziccardi, 2016). En este sentido, la rehabilitación del centro histórico y su habitabilidad se presentan como un reto crucial que exige la repensar de los espacios públicos para abordar problemas de movilidad, accesibilidad, enfrentar la gentrificación desde la sostenibilidad. Esta premisa resulta fundamental para el diseño de estrategias en Tarija que impacten directa y positivamente en el bienestar de su población.

¹Palimpsesto urbano: Se refiere a la ciudad como una superposición de capas históricas y culturales, donde cada capa deja rastros y huellas en el tejido urbano. Este concepto, derivado de la metáfora del palimpsesto (un manuscrito antiguo donde se ha borrado la escritura original para dar paso a una nueva), implica que la ciudad no es un conjunto monolítico, sino una acumulación de diferentes momentos y procesos que se manifiestan en el espacio físico y social.

Figura 1: Contraste visual. Patio del Cabildo y fondo construcción nueva.

Figura 2: Construcción fuera de norma dentro del Centro histórico



Nota. La primera imagen de la izquierda tomada desde el Patio del Cabildo, muestra el contraste de un hecho patrimonial con nuevas edificaciones. Fuente: Periódico digital "el País". La segunda imagen de la derecha muestra nuevas construcciones dentro del centro histórico. Fuente: Google imágenes.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se fundamenta en un enfoque metodológico mixto y de investigación aplicada, diseñado para analizar la interacción entre la memoria urbana, turismo, patrimonio y las dinámicas urbanas en el Centro Histórico de la ciudad de Tarija. La metodología responde a la necesidad de comprender fenómenos urbanos multidimensionales, combinando el análisis crítico con la formulación de propuestas concretas.

3.1. MATERIALES

El principal objeto de análisis fue el tejido urbano del Centro Histórico y sus componentes materiales e inmateriales, tales como calles, plazas, espacios verdes, edificaciones patrimoniales, museos, casas históricas, áreas de uso mixto, nodos culturales y zonas de aglomeración. A ello se sumaron los elementos simbólicos y paisajísticos ligados a la memoria urbana, los cuales permitieron identificar prácticas sociales, dinámicas cotidianas y expresiones culturales características del área.

Como herramientas centrales se utilizaron recorridos urbanos, observación directa estructurada, registros fotográficos, croquis, mapeo manual y digital

de hitos y nodos de actividad. Se aplicaron encuestas con preguntas cerradas, escalas de valoración y respuestas abiertas categorizables, dirigidas a una fracción de la población usuaria del centro histórico, con el propósito de cuantificar percepciones, preferencias y frecuencias de uso. La revisión de fuentes secundarias incluyó documentos oficiales y normativos como el Plan de Ordenamiento Territorial, el Plan de Uso de Suelo y el Plan Municipal Director de Ordenamiento Territorial de Tarija, (Borrador elaborado por el Gobierno Autónomo Municipal de Tarija. Gestión 2021). Así como literatura académica especializada en patrimonio, memoria urbana, sostenibilidad, urbidio y gentrificación. Mostrando la aplicación de un enfoque cualitativo y en menor medida cuantitativo, lo que permitió una triangulación metodológica: los datos cualitativos (recorridos, observaciones y teorías urbanas) informaron la elaboración de las encuestas, mientras que las percepciones cuantificadas de la población validaron las propuestas de rutas culturales. Esta combinación aseguró una comprensión holística, contextual y fundamentada del fenómeno estudiado.

3.1. TAREAS Y MÉTODOS

Las tareas y métodos siguieron tres momentos. En primer lugar, se desarrolló una fase de revisión

conceptual que permitió delimitar el área de estudio y establecer las categorías analíticas. Segundo, la recolección de información mediante recorridos, observación in situ, levantamiento de hitos y actividades urbanas, junto con la aplicación de encuestas que permitieron cuantificar percepciones y usos

del espacio. Finalmente, se integraron los datos mediante un análisis interpretativo que combinó la lectura cualitativa del territorio con la información cuantitativa obtenida. Esta triangulación permitió identificar patrones, validar observaciones y sustentar las propuestas de recorridos culturales.

Tabla 1: Matriz de categorías analíticas aplicadas al centro histórico de Tarija (2024).

Categoría Analítica	Indicadores Observados	Implicancias para el Patrimonio
Desplazamiento residencial	Reducción de viviendas habitadas; incremento de comercios y servicio de hospedaje	Gentrificación y pérdida de arraigo barrial
Turismo concentrado	Aumento de flujos en zonas puntuales (Plaza Principal, Plazuela Sucre, Av. Domingo Paz, Calles: 15 de Abril, Colón, sucre, Daniel campos, General Trigo, Madrid, Ingavi, Bolivar)	Saturación y desgaste de hitos patrimoniales catalogados. Obstrucciones visuales.
Deterioro morfológico	Alteración de fachadas sin autorizaciones, demolición de casas patrimoniales. Remodelaciones.	Urbicidio parcial (Carrión, 2018)
Patrimonio inmaterial	Fragmentación de recorridos de San Roque; uso turístico de rituales religiosos	Descontextualización cultural
Usos mixtos	Presencia de residencias comerciales. Locales comerciales con departamentos de alquiler. Actividades de comercio con educación y oficinas jurídicas. Galerías de oficinas servicios profesionales. Alquileres de departamentos, otros.	Potencial para reactivación urbana
Rutas simbólicas	Calles históricas (Colón, Sucre, La Madrid, General Trigo) con relatos locales y prácticas sociales.	Base para recorridos culturales y fortalecimiento de identidad territorial.

4. RESULTADOS

4.1. REFERENTES TEÓRICO E INTERPRETACIÓN

La comprensión de las transformaciones en el centro histórico de Tarija se sustenta en un marco teórico que aborda la relación entre patrimonio, uso urbano y turismo permitiendo contribuir con un análisis multidimensional.

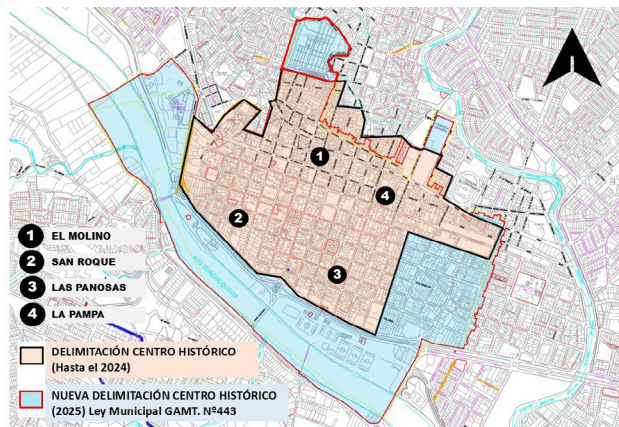
La base conceptual se establece con (Zukin, 2010) al analizar la colonización del espacio urbano por intereses mercantiles, utiliza el concepto de paisaje simbólico para advertir que la imagen y el uso de los centros pueden volverse homogéneos y excluyentes bajo la apariencia de revitalización. En paralelo (Auge, 1992) con su teoría de los "no lugares", alerta sobre la pérdida de sentido, identidad y memoria en aquellos espacios urbanos que se reducen a meros puntos de consumo y tránsito. Desde una perspectiva integral, (Choay, 2007) propone una reflexión crítica sobre la preservación del patrimonio, señalando que no se trata solo de conservar objetos o edificios, sino de mantener el tejido social y cultural que los sustenta, lo que requiere una gestión integral que vincule la dimensión material con las prácticas sociales (Carrión, *Urbicidio o la Muerte litúrgica de la ciudad*, 2018) complementa esta visión, articulando el patrimonio con las dinámicas cotidianas y la participación comunitaria, para evitar la exclusión y promover un desarrollo urbano sostenible que respete las identidades locales. Finalmente, (Jacobs, 1961) con la teoría sobre la diversidad y usos mixtos aporta una base para promover que el centro histórico sea un espacio multifuncional, que conjugue residencia, comercio, cultura, turismo, y no se reduzca a un "parque temático" para visitantes. Estos referentes teóricos convergen en la idea de que la conservación y el desarrollo del centro histórico de-

ben orientarse hacia modelos inclusivos y sostenibles, que fomenten la permanencia de la comunidad residente, la diversidad funcional y la construcción de identidad a través de la memoria colectiva y por ejemplo, las rutas culturales que conectan patrimonio y ciudad vivida.

4.2. LA ENCRUCIJADA URBANA DE TARIJA

El centro histórico de Tarija, conocido como el Casco Viejo, abarca la totalidad de los distritos 1, 2, 3 y 4: El Molino, San Roque, La Pampa y Las Panosas. Ocupa 185.124 hectáreas, es decir un 4% del suelo total de la urbe (GAMT, 2012). Este espacio concentra usos residenciales, comerciales, turísticos, recreativos y administrativos, evidenciando su rol como epicentro de la vida tarijeña. Ver Figura 3, el centro histórico hasta el 2024, tras la propuesta de Ley Municipal para Protección Del Centro Histórico N°443 se amplió el radio del mismo, en virtud de incluir ejes fundamentales como la avenida Víctor Paz y parte del Río Guadalquivir, Figura 4. La configuración morfológica de este espacio, se ha visto moldeada por un urbanismo de cuadrícula o damero, una herencia colonial que ha permanecido casi intacta. Como señalan varios autores, esta estructura no solo responde a una lógica de control territorial, sino que también ha sido el escenario donde se han construido las narrativas y la identidad local. El historiador tarijeño Elías Vacaflor describe en varios de sus escritos la evolución de estos barrios, donde las tradiciones, festividades religiosas y la vida cotidiana de las familias se entrelazaban con los espacios públicos y semipúblicos. La Iglesia de San Roque y la Catedral, por ejemplo, no son meros edificios de culto, sino referentes ineludibles que anclan la memoria colectiva a un tiempo y lugar específicos.

Figura 3. Polígono del Centro histórico de Tarija.
Antes y Después.



Fuente. Elaboración propia.

Este núcleo central contiene gran parte de los atractivos turísticos edificados (iglesias, museos, bibliotecas, viviendas, colegios y centros culturales), los cuales se integran en el entramado urbano coexistiendo con el predominante uso residencial. Sin embargo, la esencia del sector está en riesgo debido a desafíos estructurales, como la presión por la densificación, el deterioro de edificaciones patrimoniales y la ausencia de instrumentos de gestión urbana efectivos.

La modernidad ha llegado de forma desordenada, priorizando la funcionalidad económica sobre la conservación del patrimonio y la calidad de vida urbana. La falta de planificación, sumada a una débil aplicación de normativas, ha derivado en la pérdida de elementos arquitectónicos valiosos y en la desnaturalización de la escala humana que caracterizó históricamente a la ciudad. No obstante, la composición misma del centro y el arraigo local, hace que ciertas actividades locales y costumbres difícilmente puedan ser desplazadas o sustituidas, representando un factor de resistencia. En este contexto, la memoria urbana de Tarija se encuentra en un punto de inflexión. Si bien el Casco Viejo concentra la historia y el patrimonio (imagen 5) su futuro dependerá de una gestión que logre equilibrar su rol dinámico como centro de actividades con la urgente necesi-

dad de preservación. Es una tarea que va más allá de la simple rehabilitación de fachadas, e implica un compromiso con la identidad de la ciudad, tal como lo plantean los enfoques urbanísticos más contemporáneos que abogan por una planificación participativa y la protección de la memoria como motor de desarrollo.

4.3. INTERVENCIÓN URBANA Y LA FRAGILIDAD DEL PATRIMONIO

Las ciudades históricas, por su valor intrínseco, atraen desarrollo económico y turismo, pero esta atracción puede generar dinámicas que desconfiguran y deterioran la esencia de estos lugares. En Tarija, esta situación evidencia la necesidad de intervenciones urbanísticas conscientes y holísticas.

La intervención urbana es un proceso complejo y multidimensional que abarca la rehabilitación de espacios, el mejoramiento de infraestructuras, la atención a la imagen y la restauración del patrimonio edificado (López & López, 2012) (Gurovich, 2002). Su objetivo no es solo lo físico, sino comprender y, en lo posible, controlar las transformaciones que el tiempo y las presiones económicas imponen al tejido urbano. Aunque la reorganización y renovación histórica han existido siempre (Troitiño, 1992), los centros históricos presentan retos singulares: culturales, sociales, tecnológicos y económicos. La intervención debe respetar los valores patrimoniales y mejorar la calidad de vida de los residentes, vinculándose estrechamente con la gestión de políticas urbanas.

4.3.1. Las caras oscuras intervenciones mal dirigidas

La complejidad de la intervención urbana, radica en su potencial de transformar, pero también de destruir. Dos conceptos críticos que evidencian esta dualidad son el urbidio y la gentrificación, especialmente relevantes en el contexto de centros históricos. El urbidio se define no como una simple degradación, sino como la destrucción sistemática

y deliberada de los centros históricos, no a causa de conflictos armados, sino por decisiones de planificación y presiones económicas. Implica la "muerte funcional" de estos espacios, donde el (o la turistificación) y la gentrificación expulsan a la población local, sustituyendo usos tradicionales por actividades exclusivamente orientadas al consumo turístico (Carrión, Centros Históricos de América Latina y el Caribe, 2001). Paralelamente la gentrificación es el proceso de transformación urbana que, al renovar un área, atrae a una nueva población con mayor poder adquisitivo, generando consecuencias perjudiciales para los residentes originales y la identidad del lugar (Smith, 1996).

Figura 5. Identificación sector inmobiliario para oferta turística



Fuente. Elaboración Propia. G.2024.

En el centro histórico de Tarija, esta dinámica se manifiesta en la conversión progresiva de viviendas tradicionales a espacios comerciales o alojamientos turísticos. Este fenómeno promueve un encarecimiento significativo del alquiler y transformaciones graduales en las actividades y dinámicas tradicionales. Se subraya cómo la presión inmobiliaria y el aumento de la inversión turística, sin una regulación adecuada, pueden alterar drásticamente el tejido social.

Un indicador tangible de esta presión es la creciente presencia de plataformas como Airbnb en Tarija. Si bien ofrecen oportunidades para el sector turístico, una proliferación descontrolada de estas ofertas

puede reducir drásticamente la disponibilidad de viviendas asequibles para los residentes locales. Esto eleva los precios de alquiler, empujando a las familias y a los pequeños comerciantes fuera del centro histórico y debilitando así su tejido social, su carácter de centro vivo y su autenticidad (González Hernández, 2009).

4.3.2. Fragilidad de los centros históricos - patrimoniales

La vulnerabilidad inherente del patrimonio histórico-cultural se acentúa críticamente por la ambigüedad o la deficiencia en los instrumentos de planificación y gestión. La falta de precisión en los términos o la promoción implícita de enfoques de usos exclusivos abre la puerta a interpretaciones que son urbanísticamente perjudiciales a largo plazo, ya que ignoran la complejidad social y cultural del centro histórico. Reducir el Casco Viejo a un uso predominante o turístico provocaría pérdida de la memoria urbana, desplazamiento de residentes y disolución del tejido social, mientras que la sobreexplotación turística tematiza la historia y homogeneiza el espacio (Jacobs, 1961). Estudios sobre centralidades históricas en contextos latinoamericanos coinciden en esta alerta; los procesos contemporáneos de globalización y competitividad urbana presionan a los centros tradicionales hacia funciones especializadas que desdibujan su complejidad social y ponen en riesgo su sostenibilidad como espacios de vida cotidiana (Ciccolella & Mignaqui, 2009). Es útil mirar el caso del Microcentro de Buenos Aires, Argentina. Este sector se caracterizó históricamente adicionalmente del turismo, por su uso financiero - administrativo, que se vio fuertemente afectado por la crisis económica y el cambio de modelo. La migración de oficinas a otras zonas de la ciudad y la falta de un uso residencial por la incompatibilidad de los residentes con la excesiva aglomeración turística, llevaron a un declive alarmante, con locales vacíos y una notable inseguridad durante las noches y los fines de semana. Recurriendo desde

el 2020 a estrategias que incentiven la residencia, la reconversión de parqueos en espacios públicos y el posicionamiento de la ciudadanía ante los turistas. Si bien el contexto de Tarija es diferente, este ejemplo sirve para reflexionar sobre la fragilidad de los centros urbanos cuando dependen de una sola actividad. Siendo un recordatorio de que la vitalidad urbana depende de la mezcla de usos y de una base de residentes permanentes que aseguren la vida del barrio las 24 horas del día.

4.4. HACIA UN TURISMO SOSTENIBLE

Es importante señalar que el turismo, gestionado de manera equilibrada y sostenible, puede contribuir a la conservación y preservación del centro histórico patrimonial de Tarija. Un enfoque sostenible reconoce la coexistencia del turismo con la vida cotidiana, protegiendo la memoria colectiva y las dinámicas locales, evitando transformar el centro en un parque temático para el consumo turístico exclusivo. En este sentido, la gestión debe potenciar los atributos existentes mediante rutas culturales y patrimoniales que integren la vida cotidiana del Casco Viejo. Estas rutas incluyen no solo la arquitectura monumental, sino también mercados, espacios artesanales y espacios comunitarios, promoviendo experiencias auténticas e interactivas para visitantes y residentes. Al vincular el turismo con estas rutas, se fomenta una experiencia más auténtica y respetuosa, donde el visitante no solo observa, sino que también interactúa con el dinamismo cultural y social del barrio. En este marco, la proliferación de plataformas de alojamiento como Airbnb no debe ser vista necesariamente como una amenaza, sino como un fenómeno que requiere una regulación estratégica para que no alteren la mezcla de usos ni generen desplazamiento de habitantes, asegurando un equilibrio entre turismo, residencia y comercio local. La normativa se convierte así en un instrumento clave para preservar la autenticidad y la vitalidad urbana.

4.5. RECORRIDOS Y VIDA URBANA

La memoria urbana de Tarija se preserva mejor cuando el centro histórico permanece como un espacio vivo, donde coexisten y se enriquecen los usos residenciales, comerciales, culturales y turísticos. Los recorridos urbanos son herramientas poderosas para lograr esta integración, permitiendo que la historia y la identidad se revelen a través de la experiencia directa (Carrión, 2018). Los circuitos diseñados deben ser más que rutas; deben conectar a las personas con la historia, la cultura y las dinámicas vivas del centro. Para que esto sea efectivo y se enmarque en un turismo sostenible, es fundamental concebir estos circuitos como narrativas que se venden al turista, con una infraestructura de apoyo y un enfoque de beneficio mutuo para la comunidad local. La creación de la historia y su difusión a través de la señalética, folletos informativos, publicidad y la capacitación de la gente local son pasos cruciales para lograr esta meta.

4.6. RECORRIDOS URBANOS PROPUESTOS PARA LA GESTIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO

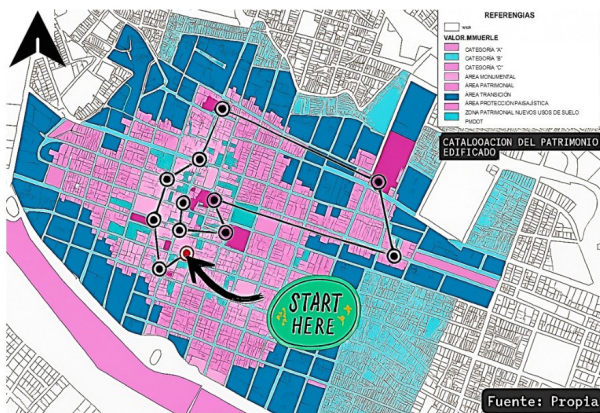
4.6.1. Recorridos Histórico-Arquitectónico de Tarija

Esta ruta se centraría en las joyas arquitectónicas del Casco Viejo, como la Catedral de San Bernardo, la Iglesia de San Francisco, la Iglesia de San Roque y la Casa Dorada y otras edificaciones catalogadas. Con el fin de mostrar la riqueza de construcciones coloniales, vernáculas y republicanas que son testigos silenciosos de la historia local.

Objetivo del Recorrido: Ofrecer una inmersión en la evolución arquitectónica de Tarija, destacando los valores intrínsecos de cada edificación y su papel en la configuración del tejido urbano. Permitir a los visitantes apreciar la coexistencia de diferentes estilos y épocas, invitando a una reflexión sobre la importancia de la conservación. La experiencia se enriquecería con una narrativa clara y bien comu-

nicada. Se deben instalar señaléticas con códigos QR o información detallada que cuente la historia de cada edificación y su relevancia cultural. La difusión a través de folletos y publicidad orientada a un público interesado en la historia y la arquitectura permitiría atraer a un turismo de calidad que valora el patrimonio. Teoría Urbana: La preservación de este patrimonio no es solo estética, sino funcional para la identidad urbana. Como García Cuetos (2015) señala, la conservación del patrimonio cultural es una cuestión de teoría, historia, principios y normas que buscan mantener viva la "memoria construida" de una ciudad. Los recorridos deben resaltar no solo la belleza, sino también las técnicas constructivas y los materiales locales que definen el carácter chapaco.

Figura 6. Circuito histórico arquitectónico.



Fuente. Elaboración propia. G.2024.

4.6.2. Ruta Cultural: Nodos culturales

La ruta cultural esta direccionada a conectar los puntos donde la cultura no es solo lo institucionalizado, sino también las prácticas diarias. Más allá de estos puntos conocidos, la investigación ha logrado identificar una serie de nodos culturales, como centros culturales, museos, iglesias y bibliotecas, cuya existencia es a menudo desconocida para la misma población tarijeña. Esta identificación abre la posibilidad de crear una red de recorridos mucho más

rica y diversa. Al identificar estos espacios, se pueden diseñar no solo un circuito cultural general, sino también itinerarios temáticos especializados, como una Ruta de Museos, una Ruta de la Lectura (que conecte bibliotecas y espacios de fomento a la lectura) o una Ruta de Exposiciones de Arte. Esta diversificación permite ofrecer experiencias más profundas y adaptadas a diferentes intereses, demostrando la vasta oferta cultural del centro histórico.

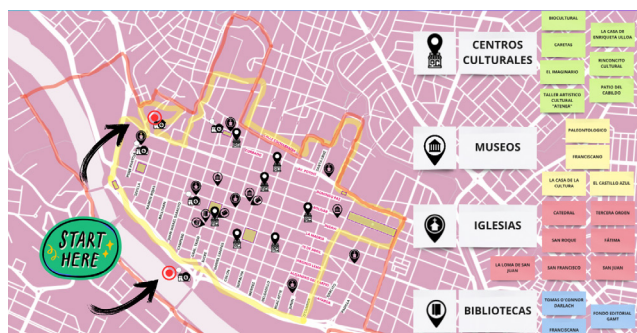
Objetivo del Recorrido: Sumergir al visitante en la vida cultural de Tarija, visitando espacios donde se manifiestan el arte, la música, las danzas y las tradiciones, reforzando la idea de que la cultura es una parte dinámica e intrínseca de la memoria urbana. Para mantener este circuito vivo, es vital fomentar el dinamismo económico local. Esto se logra a través de convenios con los pequeños locales y negocios en las cercanías de estos nodos culturales, promoviendo el consumo local. La capacitación de guías turísticos y de los propios residentes para que actúen como anfitriones y narradores de las historias y tradiciones de la ciudad es fundamental. Teoría Urbana: Jacobs (1961) argumentaba que la diversidad de usos y la densidad de interacciones en un espacio urbano son vitales para su seguridad y su vitalidad cultural. Un circuito cultural debe conectar estos puntos donde la cultura se manifiesta en su forma más dinámica, arraigando a la población al lugar.

Figura 7. Nodos culturales.



Fuente. Elaboración propia. G. 2024.

Figura 8. Recorrido Cultural



Fuente. Elaboración propia. G. 2024.

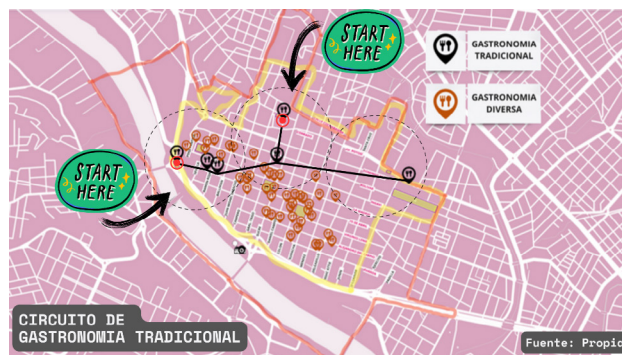
4.6.3. Ruta de Gastronomía Tradicional

La gastronomía es una expresión fundamental de la cultura y la memoria de una región. Esta ruta exploraría los sabores de Tarifa, visitando mercados, restaurantes tradicionales y pequeños establecimientos que ofrecen la auténtica cocina chapaca.

Objetivo del Recorrido: Explorar los sabores de Tarifa, visitando mercados, restaurantes tradicionales y pequeños establecimientos que ofrecen la auténtica cocina chapaca. Este circuito no solo satisface el paladar, sino que también cuenta historias de tradición culinaria y conecta a los visitantes con la producción local. Esta ruta es un ejemplo perfecto de cómo el turismo puede generar un movimiento económico local directo. Se deben establecer alianzas estratégicas con los productores para que se beneficien directamente del flujo de visitantes. La promoción de estos lugares en folletos específicos y la formación de los locatarios para que cuenten las historias detrás de los platos serían esenciales.

Teoría Urbana: Se alinea con la idea de que la economía creativa es un motor para los centros históricos. Los sabores tradicionales no solo son un atractivo turístico, sino que también sostiene una red de pequeños productores y comerciantes locales, contribuyendo a la diversidad económica y social del centro. Carrión (2018) subraya que la oferta gastronómica diversa es un componente clave de los centros vivos.

Figura 9. Ruta de gastronomía local.



Fuente. Elaboración propia. G. 2024.

4.6.4. Ruta Verde

Un "circuito verde" en el centro de Tarifa va más allá de la simple identificación de parques. Este recorrido se enfoca en la integración de los espacios naturales, identificando la necesidad de crear y mantener ejes verdes y corredores ecológicos que conecten los parques y plazas existentes (como el emblemático Parque Bolívar) con el arbolado urbano y los espacios residuales. La vegetación urbana no solo embellece la ciudad, sino que es una característica intrínseca del paisaje tarijeño, familiarizada y apropiada por sus habitantes. Además, un elemento fundamental de este circuito es su conexión con el río Guadalquivir, parte fundamental de la historia y el crecimiento de la ciudad. El circuito buscaría revitalizar y generar la apropiación de las riberas del río, integrándolas al tejido urbano y reconociendo su valor histórico y ambiental.

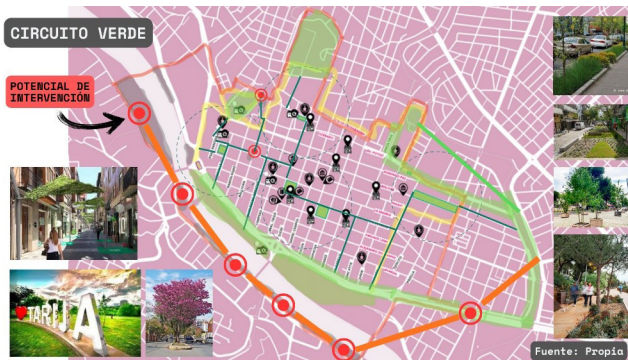
Objetivo del Recorrido: Destacar la relación de Tarifa con su entorno natural, sus áreas verdes y cómo estos espacios contribuyen a la calidad de vida y a la identidad de la ciudad. Además de fomentar la conciencia ambiental y la valoración del patrimonio natural.

Este circuito ofrece una experiencia turística que resalta la belleza natural de Tarifa y su relación con el entorno, atrayendo a visitantes interesados en el ecoturismo urbano. El objetivo es difundir la impor-

tancia de la conservación ambiental y la historia del crecimiento de la ciudad en torno al río. La promoción de la caminata y el ciclismo a través de corredores verdes, con respectiva señalética y puntos de descanso, no solo mejorará la calidad de vida de los residentes, sino que también ofrece a los turistas una perspectiva única y sostenible de la ciudad.

Teoría Urbana: (Gehl, 2018) en Ciudades para la gente, enfatiza la importancia de los espacios públicos de calidad para la vida urbana y el bienestar de los ciudadanos. Los corredores verdes actúan como "pulmones urbanos" y facilitan la movilidad peatonal, promoviendo una vida urbana más saludable y sostenible. Asimismo, la apropiación ciudadana de estos espacios, como lo ha sido históricamente con la vegetación y los parques en Tarija, refuerza la identidad y el sentido de pertenencia, tal como lo plantea Jacobs (1961) al hablar de la vitalidad de los espacios públicos.

Figura 10. Recorrido verde.



Fuente. Elaboración propia. G.2024.

4.7. Estrategias de Gestión Urbana para un Centro Vivo y Sostenible

Para que los circuitos y el enfoque de usos mixtos sean efectivos y sostenibles, es fundamental implementar estrategias de gestión urbana que busquen el equilibrio y eviten las dinámicas perjudiciales.

- Fomento a Usos Mixtos; mantener la diversidad de funciones (residencial, comercial, cultural, entre otras) en el centro. Esto genera vitalidad

a lo largo del día y la noche, contribuyendo a la seguridad y a la autenticidad del espacio.

- Políticas de Incentivo para la Rehabilitación de Viviendas; implementando programas que faciliten y subsidien la rehabilitación de inmuebles residenciales en el centro, priorizando a los propietarios y residentes actuales para evitar su desplazamiento.
- Protección de Comercios Locales y Tradicionales; estableciendo zonas de protección para pequeños negocios, mercados y talleres artesanales, ofreciendo incentivos fiscales y/o normativos que impidan su reemplazo por franquicias o comercios orientados exclusivamente al turismo masivo.
- Regularización del Turismo; mediante normativas que regulen la proliferación de alojamientos turísticos (Airbnb) para evitar la conversión indiscriminada de espacios residenciales. Se pueden establecer límites de licencias, zonas restringidas o tasas turísticas que contribuyan a la mejora del espacio público y a la mitigación de impactos negativos.
- Equilibrio de Dinámicas sociales, culturales, turísticas, políticas, económicas y residenciales. Esto significa una planificación que no favorezca un solo uso, sino que reconozca la interdependencia de todas estas facetas para mantener un centro histórico auténtico y funcional para todos sus habitantes. La participación ciudadana, es fundamental para lograr este equilibrio.

5. DISCUSIÓN Y REFLEXIÓN

La discusión sobre el futuro del centro histórico de Tarija, lejos de ser un debate técnico, es una reflexión profunda sobre el tipo de ciudad que queremos construir. La propuesta de una nueva centralidad urbana, planteada por el gobierno Autónomo Municipal de Tarija en la propuesta del Plan Director

de Ordenamiento Territorial 2023, desvinculada del casco viejo, así como la promoción de un uso exclusivo para el turismo, no son decisiones meramente urbanísticas, afectan directamente la esencia de nuestra identidad. Cuando un espacio pierde a sus residentes y sus usos cotidianos, se vuelve vulnerable, inseguro y carente de vida fuera de un horario o una temporada específica. En este artículo nuestra centralidad es vista más que una suma de edificios; es un escenario vivo de historia, vida de barrio, pequeños comercios y tradiciones culturales. Gestionar el patrimonio no significa transformarlo en un museo a cielo abierto, sino reconocerlo como un motor de desarrollo al servicio de quienes lo habitan. Los desafíos, como el deterioro, la obsolescencia normativa y la contaminación visual, las edificaciones en altura, comercio informal, no son inevitables; son el resultado de una falta de gestión coherente que ha priorizado intereses económicos a corto plazo sobre la sostenibilidad social y cultural. El concepto de deconstrucción patrimonial es una alerta sobre este proceso. Es la demolición de una casa histórica para construir un parqueo, erosiona la autenticidad y la memoria que hacen único al centro.

En este contexto, las rutas culturales, gastronómicas y verdes propuestas no son solo estrategias de turismo sostenible, sino herramientas para reforzar la identidad urbana, valorizar lo existente y fortalecer el vínculo entre la comunidad y su patrimonio. Es un llamado a la acción para que la planificación urbana no sea un acto de imposición, sino un proceso participativo que rescate y potencie la voz de la comunidad, garantizando que el corazón de Tarija siga latiendo con sus propias dinámicas y costumbres.

6. CONCLUSIONES

El camino más prometedor para el centro histórico de Tarija reside en una gestión urbana que equilibre de manera integral sus usos y funciones. La apues-

ta por un turismo sostenible, clave para preservar la autenticidad y la memoria urbana. Los recorridos temáticos propuestos (histórico-arquitectónico, cultural, gastronómico, verde y moderno) no son un fin en sí mismos, sino herramientas para reactivar el centro, fomentar la apropiación ciudadana y generar un dinamismo económico que beneficie directamente a la población local.

Se requiere elaborar políticas públicas que enfrente de manera clara la obsolescencia normativa, implementando instrumentos que incentiven la rehabilitación de viviendas, protejan los comercios tradicionales y regulen la proliferación de alojamientos turísticos como Airbnb. La revitalización del centro no se logrará con grandes proyectos descontextualizados, sino con acciones que refuercen la coexistencia del pasado y el presente, garantizando que el patrimonio sea un recurso vivo y funcional.

La salvaguarda del centro histórico de Tarija depende de nuestra capacidad para reconocer que su mayor valor no solo es estático, sino dinámico; que reside en la interacción diaria de sus habitantes y en la pervivencia de sus tradiciones. El desafío es transformar los riesgos en oportunidades, demostrando que una ciudad puede crecer económicamente sin sacrificar su alma y bajo una visión clara de ciudad.

Por último, se considera que el trabajo futuro debe enfocarse en investigar a profundidad la habitabilidad del centro histórico, su pujante presión para densificación y los impactos de las plataformas como Airbnb en las dinámicas urbanas. Respecto a los recorridos urbanos en la centralidad, reforzar con pruebas piloto y con participación ciudadana.

7. BIBLIOGRAFÍA

- 📖 Auge, M. (1992). Los «no lugares» espacios del anonimato. España: Gedisa. Enlace: <https://designblog.uniandes.edu.co/blogs/dise2609/files/2009/03/marc-auge-los-no-lugares.pdf>

- 🔖 Balandrano, A., Valero, V., & Ziccardi, A. (2016). Conservación y desarrollo sustentable de Centros Históricos. Mexico. Enlace: https://www.puec.unam.mx/pdf/publicaciones_digitales/conservacion_desarrollo_sustentable_ch.pdf
- 🔖 Bencomo, C. (2011). Criterios teóricos para la intervención urbana en los cascos históricos o tradicionales. Caracas: Ciudad y sociedad. Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Enlace: <https://www.fau.ucv.ve/trienal2011/cd/documentos/cs/CS-4.pdf>
- 🔖 Carrión, F. (2001). Centros Históricos de América Latina y el Caribe. Ecuador. Enlace: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/44649.pdf>
- 🔖 Carrión, F. (2018). Urbicidio o la Muerte litúrgica de la ciudad. Enlace: <https://doi.org/10.24220/2318-0919v15n1a4103>
- 🔖 Choay, F. (2007). Alegoría del Patrimonio. Barcelona: Gustavo Gili. Enlace: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=295438> ISSN-e 1988-7213, N.º. 2, 2008
- 🔖 Ciccolella, P., & Mignaqui, I. (2009). Globalización y transformaciones de la centralidad histórica en Buenos Aires. Buenos Aires. Enlace: <https://www.redalyc.org/pdf/1151/115112536008.pdf>
- 🔖 Crespi Vallbona, M., & Dominguez Perez, M. (2013). Estrategias urbanas en lugares turísticos. Casos de Madrid y Barcelona. ROTUR. Revista de Ocio y Turismo. Enlace: <http://hdl.handle.net/2183/12639>
- 🔖 Gehl, J. (2018). Ciudades para la gente. Enlace: <https://designblog.uniandes.edu.co/blogs/dise2609/files/2009/03/marc-auge-los-nolugares.pdf>
- 🔖 González Hernández, G. (2009). La revitalización del Centro Histórico de Zacatecas y la conciencia social. Enlace: <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v9n30/v9n30a8.pdf>
- 🔖 Gurovich, W. (2002). Intervenciones urbanas: acerca del proyecto urbano. Enlace: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19850612>
- 🔖 Jacobs, J. (1961). The Death and Life of Great American Cities. Enlace: https://www.petkovstudio.com/bg/wp-content/uploads/2017/03/The-Death-and-Life-of-Great-American-Cities_Jane-Jacobs-Complete-book.pdf
- 🔖 López, V., & López, B. (2012). Conceptualización de un modelo de intervención urbana sostenible. Ecobarrios en el contexto latinoamericano de reciente industrialización. Enlace: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=125125877014>
- 🔖 Santos, H., Valenca, P., & Oliveira Fernandes, E. (2017). Centro histórico de Oporto declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO: Rehabilitación y sostenibilidad. Sciencedirect. Enlace: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.375>
- 🔖 Smith, N. (1996). La nueva frontera urbana. Gentrificación y la ciudad revanchista. <https://www.routledge.com/The-New-Urban-Frontier-Gentrification-and-the-Revanchist-City/Smith/p/book/9780415132558>
- 🔖 Troitiño, V. (1992). Centro Histórico, intervención urbanística y análisis urbano. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. Enlace: <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/AGUC9191110025A/31772/>
- 🔖 Zukin, S. (2010). Naked City: The Death and Life of Authentic Urban Places. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/naked-city-9780195382853?cc=bo&lang=en&>

NORMAS DE PUBLICACIÓN DE LA REVISTA CIENCIA SUR

1. ENVIÓ Y PRESENTACIÓN

- La Revista "CIENCIA SUR", recibe trabajos originales en idioma español. Los mismos deberán ser remitidos en formato electrónico en un archivo de tipo Word compatible con el sistema Windows y también en forma impresa.
- Los textos deben ser enviados en formato de hoja tamaño carta (ancho 21,59 cm.; alto 27,94 cm.) en dos columnas. El tipo de letra debe ser Arial, 10 dpi interlineado simple. Los márgenes de la página deben ser, para el superior, inferior e interior 2 cm. y el exterior de 1 cm.
- La extensión total de los trabajos para los artículos de investigación, científica y tecnológica tendrán una extensión máxima de 15 páginas (incluyendo la bibliografía consultada) y no tener una antigüedad mayor a los 5 años, desde la finalización del trabajo de investigación.
- Para los artículos de reflexión y revisión se tiene una extensión de 10 páginas. En el caso de los textos para los artículos académicos se tiene un mínimo de 5 páginas.
- Los trabajos de investigación (artículos originales) deben incluir un resumen en idioma español y en inglés, de no más de 250 palabras.
- En los trabajos de investigación científica y tecnológica, y en los artículos de revisión y de temas académicos deben incluirse de 3 a 5 palabras clave en cada caso.
- En cuanto a los autores, deben figurar en el trabajo todas las personas que han contribuido sustancialmente en la investigación. El orden de aparición debe corresponderse con el orden de contribución al trabajo, reconocién-

dose al primero como autor principal. Los nombres y apellidos de todos los autores se deben identificar apropiadamente, así como las instituciones de adscripción (nombre completo, organismo, ciudad y país), dirección y correo electrónico.

- La Revista "CIENCIA SUR", solo recibe trabajos originales e inéditos, que no hayan sido publicados anteriormente y que no estén siendo simultáneamente considerados en otras publicaciones nacionales e internacionales. Por lo tanto, los artículos deberán estar acompañados de una Carta de Originalidad, firmada por todos los autores, donde certifiquen la originalidad del escrito presentado.

2. FORMATO DE PRESENTACIÓN

Para la presentación de los trabajos se debe tomar en cuenta el siguiente formato para los artículos científicos:

- Título del Artículo. El título del artículo debe ser claro, preciso y sintético, con un texto de 20 palabras como máximo.
- Autores. Un aspecto muy importante en la preparación de un artículo científico, es decidir, acerca de los nombres que deben ser incluidos como autores, y en qué orden. Generalmente, está claro que quien aparece en primer lugar es el autor principal, además es quien asume la responsabilidad intelectual del trabajo. Por este motivo, los artículos para ser publicados en la Revista INVESTIGACIÓN & DESARROLLO, adoptaron el siguiente formato para mencionar las autorías de los trabajos.

Se debe colocar en primer lugar el nombre del autor principal, investigador, e investigador junior,

posteriormente los asesores y colaboradores si los hubiera. La forma de indicar los nombres es la siguiente: en primer lugar, debe ir los apellidos y posteriormente los nombres, finalmente se escribirá la dirección del Centro o Instituto, Carrera a la que pertenece el autor principal. En el caso de que sean más de seis autores, incluir solamente el autor principal, seguido de la palabra latina "et al", que significa "y otros" y finalmente debe indicarse la dirección electrónica (correo electrónico).

- **Resumen y Palabras Clave.** El resumen debe dar una idea clara y precisa de la totalidad del trabajo, incluirá los resultados más destacados y las principales conclusiones, asimismo, debe ser lo más informativo posible, de manera que permita al lector identificar el contenido básico del artículo y la relevancia, pertinencia y calidad del trabajo realizado.
- Se recomienda elaborar el resumen con un máximo de 250 palabras, el mismo que debe expresar de manera clara los objetivos y el alcance del estudio, justificación, metodología y los principales resultados obtenidos.
- En el caso de los artículos originales, tanto el título, el resumen y las palabras clave deben también presentarse en idioma inglés.
- **Introducción.** La comunicación, además resume el fundamento lógico del estudio. Se debe mencionar las referencias estrictamente pertinentes, sin hacer una revisión extensa del tema investigado.
- **Materiales y Métodos.** Debe mostrar, en forma organizada y precisa, como fueron alcanzados cada uno de los objetivos propuestos.
- La metodología debe reflejar la estructura lógica y el rigor científico que ha seguido el proceso de investigación desde la elección de un enfoque metodológico específico (preguntas con hipótesis fundamentadas corres-

pondientes, diseños muestrales o experimentales, etc.), hasta la forma como se analizaron, interpretaron y se presentan los resultados. Deben detallarse, los procedimientos, técnicas, actividades y demás estrategias metodológicas utilizadas para la investigación. Deberá indicarse el proceso que se siguió en la recolección de la información, así como en la organización, sistematización y análisis de los datos. Una metodología vaga o imprecisa no brinda elementos necesarios para corroborar la pertinencia y el impacto de los resultados obtenidos.

- **Resultados.** Los resultados son la expresión precisa y concreta de lo que se ha obtenido efectivamente al finalizar el proyecto, y son coherentes con la metodología empleada. Debe mostrarse claramente los resultados alcanzados, pudiendo emplear para ello cuadros, figuras, etc.
- **Discusión.** El autor debe ofrecer sus propias opiniones sobre el tema, se dará énfasis en los aspectos novedosos e importantes del estudio y en las conclusiones que pueden extraerse del mismo. No se repetirán aspectos incluidos en las secciones de Introducción o de Resultados. En esta sección se abordarán las repercusiones de los resultados y sus limitaciones, además de las consecuencias para la investigación en el futuro. Se compararán las observaciones con otros estudios pertinentes. Se relacionarán las conclusiones con los objetivos del estudio, evitando afirmaciones poco fundamentadas y conclusiones avaladas insuficientemente por los datos.
- **Bibliografía Utilizada.** La bibliografía utilizada, es aquella a la que se hace referencia en el texto, debe ordenarse en orden alfabético y de acuerdo a las normas establecidas para las referencias bibliográficas (Punto 5).

- Tablas y Figuras. Todas las tablas o figuras deben ser referidas en el texto y numeradas consecutivamente con números arábigos, por ejemplo: Figura 1, Figura 2, Tabla 1 y Tabla 2. No se debe utilizar la abreviatura (Tab. o Fig.) para las palabras tabla o figura y no las cite entre paréntesis. De ser posible, ubíquelas en el orden mencionado en el texto, lo más cercano posible a la referencia en el mismo y asegúrese que no repitan los datos que se proporcionen en algún otro lugar del artículo.
- El texto y los símbolos deben ser claros, legibles y de dimensiones razonables de acuerdo al tamaño de la tabla o figura. En caso de emplearse en el artículo fotografías y figuras de escala gris, estas deben ser preparadas con una resolución de 250 dpi. Las figuras a color deben ser diseñadas con una resolución de 450 dpi. Cuando se utilicen símbolos, flechas, números o letras para identificar partes de la figura, se debe identificar y explicar claramente el significado de todos ellos en la Leyenda.
- Referencias Bibliográficas. Las referencias bibliográficas que se utilicen en la redacción del trabajo; aparecerán al final del documento y se incluirán por orden alfabético. Debiendo adoptar las modalidades que se indican a continuación:
 - Referencia de Libro
 - Apellidos, luego las iniciales del autor en letras mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del libro en cursiva que, para el efecto, las palabras más relevantes las letras iniciales deben ir en mayúscula. Editorial y lugar de edición.
 - Tamayo y Tamayo, M. (1999). El Proceso de la Investigación Científica, incluye Glosario y Manual de Evaluación de Proyecto. Editorial Limusa. México.
 - Rodríguez, G., Gil, J. y García, E. (1999). Metodología de la Investigación Cualitativa. Ediciones Aljibe. España.
 - Referencia de Capítulos, Partes y Secciones de Libro.
 - Apellidos, luego las iniciales del autor en letras mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del capítulo de libro en cursiva que para el efecto, las palabras más relevantes las letras iniciales deben ir en mayúscula. Colocar la palabra, en, luego el nombre del editor (es), título del libro, paginas. Editorial y lugar de edición.
 - Reyes, C. (2009). Aspectos Epidemiológicos del Delirium. En M. Felipe. y O. José (eds). Delirium: un gigante de la geriatría (pp. 37-42). Manizales: Universidad de Caldas
 - Referencia de Revista.
 - Autor (es), año de publicación (entre paréntesis), título del artículo, en: Nombre de la revista, número, volumen, paginas, fecha y editorial.
 - López, J.H. (2002). Autoformación de Docentes a Tiempo Completo en Ejercicio. En Ventana científica, N° 2. Volumen 1. pp 26 — 35. Abril de 2002, Editorial Universitaria.
 - Referencia de Tesis. Autor (es). Año de publicación (entre paréntesis). Título de la tesis en cursiva y en mayúsculas las palabras más relevantes. Mención de la tesis (indicar el grado al que opta entre paréntesis). Nombre de la Universidad, Facultad o Instituto. Lugar.
 - Página Web (World Wide Web).
 - Autor (es) de la página. (Fecha de publicación o revisión de la página, si está disponible). Título de la página o lugar (en cursiva). Fecha de consulta (Fecha de acceso), de (URL — dirección).

- Puente, W. (2001, marzo 3). Técnicas de Investigación. Fecha de consulta, 15 de febrero de 2005, de <http://www.rppnet.com.ar/tecnicas-deinvesti-gacion.htm>
- Duran, D. (2004). Educación Ambiental como Con-tenido Transversal. Fecha de consulta, 18 de febrero de 2005, de <http://www.ecoportal.net/content/view/ful1/37878>
- Libros Electrónicos. Autor (es) del artículo ya sea institución o persona. Fecha de publicación. Título (palabras más relevantes en cursiva). Tipo de medio [entre corchetes]. Edición. Nombre la institución patrocinante (si lo hubiera) Fecha de consulta. Disponibilidad y acceso. Ortiz, V. (2001). La Evaluación de la Investigación como Funciona Sustantiva. [Libro en lineal Serie Investigaciones (ANUIES). Fecha de consulta: 23 febrero 2005. Disponible en: <http://www.anui.es.mx/index800.html>
- Referencias de Citas Bibliográficas en el Texto. Para todas las citas bibliográficas que se utilicen y que aparezcan en el texto se podrán asumir las siguientes formas:
- De acuerdo a Martínez, C. (2010), la capacitación de docentes en investigación es tarea prioritaria para la Universidad.
- En los cursos de capacitación realizados se pudo constatar que existe una actitud positiva de los docentes hacia la investigación (Fernández, R. 2012).
- En el año 2014, Salinas, M. indica que la de capacitación en investigación es fundamental para despertar en los docentes universitarios, la actitud por investigar.

3. DERECHOS DE AUTOR

Los conceptos y opiniones de los artículos publicados son de exclusiva responsabilidad de los autores. Dicha responsabilidad se asume con la sola publicación del artículo enviado por los autores. La concesión de Derechos de autor significa la autorización para que la Revista "CIENCIA SUR", pueda hacer use del artículo, o parte de él, con fines de divulgación y difusión de la actividad científica y tecnológica. En ningún caso, dichos derechos afectan la propiedad intelectual que es propia de los(as) autores(as). Los autores cuyos artículos se publiquen recibirán un certificado y 1 ejemplar de la revista donde se publica su trabajo.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
TARIJA - BOLIVIA



Revista **CIENCIA SUR**

Tarija - Bolivia