

REVISTA CIENTÍFICA

DEPÓSITO LEGAL:
4-3-975-2025

APORTANDO A LA CIENCIA

ÁREA: TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



VOL 1 • N°1 • JUNIO 2025

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

APORTANDO A LA CIENCIA

ÁREA: TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



Vol 1·Nº1·JUNIO 2025

Autoridades Universitarias - UPEA

Rector : Dr. Carlos Condori Titirico
Vicerrector: Dr. Efrain Chambi Vargas Ph.D.
Director DICyT: Dr. Antonio S. Lopez Andrade Ph.D.

Comité Técnico

M.Sc. Ing. Silvia Orieta Aquino Tarqui
Universidad Pública de El Alto

M.Sc. Yelmo Quispe Condori
Universidad Pública de El Alto

Depósito Legal:4-3-975-2025

Impreso en: Imprenta Universitaria UPEA

Tiraje: 50

DICyT

Dirección: Av. Sucre B s/n (Villa Esperanza), Edificio Centro de Desarrollo
Tecnológico, Torre B - Piso 2.

Email: dicyt@upea.bo

Web: <https://dicyt.upea.bo/>

EL ALTO - BOLIVIA

**La información presentda como ARTÍCULO CIENTÍFICO en la presente edición es de
entera responsabilidad de cada uno de los autores.**

**PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL POR CUALQUIER MEDIO SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE LOS
AUTORES.**

CONTENIDO

**Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga (lactuca sativa l.)
Producida en carpa solar, Municipio Jesus de Machaca**

¹Pedro Mamani Mamani 11

**Efecto de probióticos quincenales sobre la producción lechera en bovinos
Holstein × Cebú en Cochabamba**

¹Rene Huayta Choque..... 19

**Evaluación fisicoquímica y sensorial de Kéfir enriquecido con Quinoa
(Chenopodium Quinoa) variedad jacha grano germinada y escaldada**

¹Jaime Reyes Ortiz..... 29

**Evaluación del comportamiento hidrológico de las microcuencas de central
agraria quiripujo, provincia Los Andes - La Paz**

¹Aruquipa Amaru Roberto

²Ajata Tipula Alex

³Quispe Mamani Helen Milenka 37

**Efecto de la dosis de nitrógeno sobre el rendimiento de acelga (beta
vulgaris var. Cicla l.) En hidroponía, río abajo-la paz**

¹Victor Paye Huaranca

Pedro Delgado

Jaime Vargas 49

**Evaluación del parámetro de solubilidad del polimetilmetacrilato (pmma)
de residuos dentales**

¹Huallpa Flores Claudio 59

**Obtención de fibra textil a partir del reciclado del plástico pet, en la ciudad
de El Alto**

¹Ing. Loysi Fuavi Marcos Mamani 69

**Modelo multidisciplinar flex learning grid aplicando inteligencia artificial
para automatización de procesos enseñanza aprendizaje en la carrera de
ingeniería de gas y petroquímica-UPEA**

¹Pérez Ortiz Gabriel Alejandro 79

**Vulnerabilidad hídrica y protocolo de adaptación al cambio climático para
el abastecimiento urbano en el eje metropolitano de Bolivia: un análisis
con indicadores ecohidrológicos**

¹Jorge Felix Chavez Viscarra 89

Lanolina en el efluente de lavado de la lana ovina de la industria textil

¹Jeannine Ruth Alcón Apaza 101

MISIÓN

La Revista Científica “APORTANDO A LA CIENCIA” tiene como propósito fomentar la excelencia académica y promover el avance del conocimiento mediante la publicación de artículos científicos en sus cuatro áreas fundamentales: Ciencias Sociales y Humanidades, Ciencias Económicas, Tecnología y Ciencias de la Ingeniería, y Ciencias Biomédicas. Está dirigida a profesionales, investigadores y académicos comprometidos con la generación y difusión de conocimiento científico de calidad. Nuestra misión es brindar una plataforma accesible y abierta para la difusión de investigaciones originales, rigurosas y relevantes, promoviendo el diálogo intelectual interdisciplinario y contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras frente a los desafíos contemporáneos de la sociedad.

VISIÓN

“Nuestra visión es ser una revista líder reconocida a nivel global por la calidad y diversidad de los trabajos que publicamos. Aspiramos a ser un referente intelectual que trascienda fronteras disciplinarias y geográficas, contribuyendo al enriquecimiento del pensamiento académico y al progreso de la sociedad a través de la promoción del conocimientos”.

PRESENTACIÓN

Aportes a la Ciencia es una revista científica y tecnológica de periodicidad anual, especializada en Tecnología y Ciencias de la Ingeniería. Tiene como misión fomentar la generación y difusión del conocimiento científico mediante investigaciones desarrolladas con rigor metodológico, contribuyendo al desarrollo tecnológico, la innovación y la sostenibilidad.

Con el propósito de garantizar la excelencia académica, todos los artículos publicados son sometidos a un estricto proceso de evaluación por pares bajo la modalidad de doble ciego, asegurando calidad, objetividad y rigor científico.

El volumen 1, número 1/2025, reúne investigaciones sobre producción agrícola y pecuaria, mejoramiento de cultivos, producción lechera y alimentos funcionales; evaluación de recursos hídricos y adaptación al cambio climático; aprovechamiento y reciclaje de materiales para la industria; automatización de procesos de enseñanza mediante inteligencia artificial; y estudios orientados a la ingeniería ambiental, textil, química y de materiales, reflejando un enfoque multidisciplinario comprometido con la innovación, el desarrollo sostenible y la solución de problemáticas de interés regional y nacional.

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Pública de El Alto (UPEA) por su respaldo institucional, así como a la Dirección de Investigación, Ciencia y Tecnología (DICyT), a los autores y revisores, cuyo compromiso y dedicación hacen posible este importante aporte al fortalecimiento de la investigación científica y tecnológica.



Dr. Efrain Chambi Vargas Ph.D.
VICERRECTOR



Dr. Antonio S. López Andrade Ph. D.
DIRECTOR DE DIRECCIÓN DE
INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Producida en carpa solar, Municipio Jesús de Machaca

Performance evaluation of three lettuce (*Lactuca sativa* L.) Varieties grown in a solar greenhouse, Jesús de Machaca municipality

¹Pedro Mamani Mamani

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, ingpedro939@gmail.com,
ORCID: 0009-0006-8462-3740

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene el enfoque cuantitativo, de tipo experimental. En el lugar de estudio, el principal problema fue el bajo rendimiento de lechuga, limitado por diversos factores. El objetivo fue, evaluar el rendimiento de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producida en carpa solar en el Municipio de Jesús de Machaca. Se usó el Diseño de Bloques Completamente al Azar con tres bloques cada una con tres tratamientos y haciendo un total de 9 unidades experimentales. Se procesó los datos estadísticos con el programa InfoStat para obtener el Análisis de Varianza y la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan $P < 0,05$. Los tratamientos estudiados fueron: T1=Grand Rapid, T2=Waldman's Green y T3=Salinas, para la conducción del experimento se dio con el almácigo, limpieza del terreno, preparación del terreno, diseño del campo, siembra y las labores culturales. Las variables fueron: independiente (semilla) y las dependientes se tuvo: altura de planta (cm), número de hojas y el rendimiento de la lechuga (g). Los resultados son: el tratamiento T1 logró los mejores promedios de altura con 17,59 cm; el T2 reportó con el mejor promedio de número de hojas con 22 unidades por planta y con respecto al rendimiento de la lechuga y T3 tuvo un peso promedio de 137,90 g, superando estadísticamente a los demás tratamientos. En conclusión, las tres variedades de lechuga mostraron las similares características agronómicas.

PALABRAS CLAVES: Evaluación de rendimiento, variedades de lechuga, carpa solar.

ABSTRACT

This research has a quantitative, experimental approach. At the study site, the main problem was the low lettuce yield, limited by various factors. The objective was to evaluate the yield of three lettuce varieties (*Lactuca sativa* L.) produced in a solar tent in the municipality of Jesús de Machaca. A completely randomized

DICYT - UPEA

block design was used, with three blocks each containing three treatments, for a total of nine experimental units. Statistical data were processed using InfoStat to obtain Analysis of Variance and Duncan's Multiple Range Test ($P < 0.05$). The treatments studied were T1 = Grand Rapid, T2 = Waldman's Green, and T3 = Salinas. The experiments included seedbeds, land clearing, soil preparation, field design, planting, and cultivation. The independent variables were seed; the dependent variables were plant height (cm), leaf count, and lettuce yield (g). The results were: treatment T1 achieved the highest average height, at 17.59 cm; T2 reported the highest average leaf count, at 22 units per plant, and lettuce yield, while T3 had an average weight of 137.90 g, statistically outperforming the other treatments. In conclusion, the three lettuce varieties displayed similar agronomic characteristics.

KEYWORDS: Yield evaluation, lettuce varieties, solar tent.

INTRODUCCIÓN

En el Estado Plurinacional de Bolivia existe un hábito de consumo de alimentos ricos principalmente en carbohidratos (papa, arroz, maíz y fideo), si bien los productores están dedicados a la producción de hortalizas, no contemplan una diversificación de uso de hortalizas en su dieta.

Por otro lado, los factores climáticos como: la baja fertilidad de suelos, la escasez de recursos hídricos y el minifundio limitan la intensificación de la agricultura en el altiplano boliviano. Por esta situación en los últimos años se ha generalizado la producción de hortalizas bajo ambientes atemperados como una alternativa de producción.

Una de los problemas que tienen las familias de ayllu Corpa perteneciente al municipio de Jesús de Machaca, sobre la producción de lechuga es la carencia de información con respecto a las variedades de lechugas (*Lactuca sativa* L.). El objetivo fue evaluar el rendimiento de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producida en carpa solar en el Municipio de Jesús de Machaca.

La investigación efectuada por Macías, R.; Grijalva, R. L. & Robles, F. (2013) sobre el efecto de la variedad y fecha de trasplante sobre el rendimiento y calidad de lechuga en Sonora – México, los parámetros evaluados fueron: el rendimiento (t/ha), peso de cabeza (kg) y días a cosecha. Todos los parámetros evaluados por el autor

mencionado mostraron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre variedades (V), fechas de trasplante (F) y en la interacción $V \times F$ (sólo en rendimiento). La variedad de mayor producción fue Bubba, con 82,1 t/ha y la mejor fecha de trasplante fue el 26 de marzo con 77,2 t/ha; en las interacciones el mejor tratamiento fue la combinación de la variedad Bubba con el trasplante el 26 de marzo, obteniendo un rendimiento de 101,5 t/ha. El mayor peso de cabeza se obtuvo con la variedad Bubba con 1,356 kg/cabeza, así como con las fechas de trasplante del 14 y 26 de marzo con 1,160 y 1,159 kg/cabeza respectivamente. La cosecha varió de 68 a 78 días entre los tratamientos (p. 21).

Por su parte, Vásquez, J. G. (2015, p. 36-37) indica que “la variable peso fresco de plantas es de suma importancia para determinar el crecimiento de las plantas y además para poder estimar el rendimiento obtenido en cada variedad”. En el estudio realizado sobre la evaluación agronómica de cinco variedades de lechuga en tres ciclos de siembra en diferentes regiones de Costa Rica halló la existencia de diferencia en los pesos frescos de un ciclo a otro, donde los mejores pesos se registraron en el ciclo 2 y los peores se registraron en los ciclos 1 y 3, en cuanto a las variedades la que registró el mejor peso fue la Bergam's Green, seguidamente de las variedades Sargasso y Lucy Brown, esto para el ciclo 2, para los demás ciclos los pesos entre las variedades fueron muy similares.

En la investigación hecha por Rivero, J. M. (2017) sobre la densidad de siembra en el rendimiento del cultivo de lechuga variedad Grand Rapids en la provincia de Lamas, Tarapoto, Perú indica que: la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los tratamientos, determinó que con los Tratamientos T1 (0,1 m x 0,2 m); T4 (0,4 m x 0,2 m) y T2 (0,2 m x 0,2 m) se lograron los mayores promedios estadísticamente iguales entre sí con 27 325,0 kg.ha⁻¹, 26 209,4 kg.ha⁻¹ y 25 506,3 kg.ha⁻¹ de rendimiento respectivamente y los cuales superaron estadísticamente al tratamiento T3 (0,3 m x 0,2 m) con quien se obtuvo un promedio de 21 433,4 kg.ha⁻¹ de rendimiento (p. 28).

MATERIALES Y MÉTODO

El material biológico empleado fueron las tres variedades de lechuga: "Grand Rapids", "Waldman's Green" y "Salinas".

Materiales de campo utilizado son: GPS, clinómetro, pH metro, cámara fotográfica, nylon, malla semisombra, paja, cinta métrica, picota, rastrillo, herramienta de jardinería, martillo, alicate, pala, alambre, clavos, tablones, callapos, regaderas, manguera, balanzas analíticas, letreros, azadones y materiales de escritorio.

El enfoque de la investigación es cuantitativo de tipo experimental, donde se manipuló las variables. Su finalidad es determinar la variedad que presenta el mejor rendimiento y con

buenas características agronómicas para la producción de lechuga en el ambiente atemperado ubicado en la provincia Ingavi, departamento de La Paz, en el municipio Jesús de Machaca, localidad Corpa, se ubica en la región del altiplano norte, entre los paralelos 16°8' de latitud Sur 68°2' de longitud Oeste, con una altitud de 3800 m.s.n.m. Por lo tanto, se hizo los análisis de varianza (ANVA), comparación de medias de DUNCAN e histogramas. Para llevar adelante esta investigación se aplicó el diseño experimental de tipo transversal en la gestión 2025.

También se empleó el diseño estadístico Bloques Completos al Azar (DBCA) con 3 tratamientos y con 3 repeticiones, totalizándose en 9 unidades experimentales, debido a que la condición y medio no es uniforme. El nivel de significancia fue $\alpha = 0,05$ (5%) es decir, con el 95% de nivel de confianza. El modelo lineal es la siguiente: descrito por (Ochoa, R. 2009).

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación

μ = Media poblacional

β_j = Efecto del j – ésimo bloques

α_i = Efecto del i - ésimo variedades de lechuga

ϵ_{ij} = Error experimental

Los tratamientos evaluados fueron:

T1 = semillas de lechuga “Grand Rapids”

(americana)

T2 = semillas de lechuga “Waldman’s Green” (EE.UU.)

T3 = semillas de lechuga “Salinas” (USA)

RESULTADOS

Altura de la planta

Según los datos obtenidos del ANVA (Análisis de Varianza), para la variable altura de la planta, no se observó las diferencias significativas entre las tres variedades, ya que

el coeficiente de variación (C.V.) alcanzo

14,57%, lo que demuestra que la variación de los datos obtenidos no es dispersa, lo cual indica que están en un rango aceptable. Con relación esta, la planta la variedad Grand’S Rapid presentó la mayor altura de planta en promedio, con 17.59 cm. Por el contrario, las variedades Wolmas Green y SALINAS presentaron menor altura con 16,32 y 16 cm.

Número de hojas por planta

En el ANVA, para la variable número de hojas por planta no se observó las diferencias significativas entre las tres variedades, ya que el coeficiente de variación (C.V.) alcanzó 11,21%, lo cual indica que están en un rango aceptable y que las muestras fueron evaluadas correctamente.

La comparación de medias de número de hojas entre variedades de lechugas, la variedad Woldman’s Green presentó mayor cantidad de hojas con un promedio de 22 hojas por planta. Por el contrario, la variedad Salinas presentó una menor cantidad de hojas siendo esta con un promedio de 19 hojas por planta.

Rendimiento de la lechuga (g)

Según los datos obtenidos del ANVA, para la variable rendimiento de lechuga, mostró que no existen las diferencias significativas entre las tres variedades, ya que el coeficiente de variación (C.V.) alcanzó 30,67%, lo que demuestra que la variación de los datos obtenidos no es dispersa, lo cual indica que están en un rango aceptable.

Tabla 1.

Test: Duncan Alfa=0,05; para la variable rendimiento de lechuga

Error: 1378,3351 gl: 4

Variedades	Medias	n	E.E.
Salinas	137,90	3	21,43 A
Wolman’s Green	128,16	3	21,43 A
Grand Rapids	97,06	3	21,43 A

($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la tabla 1, se observa la comparación de medias de la variable de rendimiento de lechuga, se puede evidenciar que la variedad Salinas es el de mayor peso con 137,90 gramos,

DIGYT - UPEA

la variedad Wolman's Green con un peso de 128,16 gramos, y la variedad Grand Rapid presentó el menor peso con 97,06 gramos. Sin embargo, las medias estadísticamente son no significativo.

DISCUSIÓN

Las bajas temperaturas que se han registrado en el lugar de estudio influyeron negativamente en el porcentaje de emergencia de la semilla de lechuga almacenada. Es decir, se realizó esta actividad

en pleno invierno y la temperatura registrado fue - 6 C°.

Con respecto a la altura promedio de planta, la diferencia fue mínima, esto pueden deberse principalmente a las características genotípicas y medio ambiental. Asimismo, es atribuible a la heterogeneidad de los bloques de la parcela de investigación. Sin embargo, Aruquipa (2008), obtuvo el promedio de altura de planta para cultivares de Grand Rapids TBR y Waldmann's Green de 22 y 24,33 cm en condiciones de sistema tradicional, siendo alturas de la planta superior al presente estudio. Estas diferencias pueden atribuirse a la temporada (frio y pocas horas luz) que se registró en las primeras semanas de inicio del trabajo de investigación (invierno) además, no se incorporó ningún fertilizante químico, tampoco los abonos orgánicos en la parcela experimental.

El promedio número de hojas por planta

fueron similares estadísticamente. Al respecto, Casséres (1984) indica que las hortalizas pueden desarrollar un mayor número de hojas, de acuerdo a las condiciones edafológicas, físicas, químicas que se le da al cultivo, más aún cuando estas especies son cultivadas en ambientes atemperados. Por su parte, Fallovo et al. (2009), indican que las plantas que crecen en la temporada de primavera, disminuyen su crecimiento y rendimiento (total de materia seca e índice del área de la hoja), pero se logra mayor calidad de la hoja. Por último, Salinas (2004) señala que el número de hojas por planta no solo es el resultado de los nutrientes del suelo, sino también del clima, planta y manejo del cultivo; además las temperaturas juegan un papel importante en la absorción de nutrientes.

Finalmente, el rendimiento comercial de las variedades de lechuga, estadísticamente mostró las diferencias significativas. Al respecto, hacemos énfasis en la investigación de Farfan (2004), donde evaluó el comportamiento a campo abierto, y reportó un rendimiento de 125,09 gramos en materia verde en lechugas crespas, el mismo autor indica que es una especie que exige mucha luz, ya que los escasos provocan que las hojas sean muy delgadas y por ende con pesos menores. Por esta razón podemos aseverar que los pesos obtenidos en el presente estudio pudieron ser mayores. Según el informe de resultados de la FAO (2005), indica que, por la existencia de un amplio rango de

ambientes edáficos, agroclimáticos, fitosanitarios y el manejo de cultivo, el promedio de peso de cada especie está determinado por el genotipo y medio ambiente.

CONCLUSIONES

La variedad Grand Rapids alcanzó una altura promedio de 17,59 cm siendo el mejor; con relación al promedio de número de hojas por planta, la variedad Woldman's Green logró tener 22 hojas y la variedad Salinas reportó el mayor peso en promedio con un valor de 137,90 gramos.

Las temperaturas bajas del invierno, pocas horas luz y la disponibilidad de nutrientes en el suelo influyen directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas de lechuga. Asimismo, la tasa de la fotosíntesis disminuye. Además, los factores mencionados ocasionan el alargamiento del ciclo del cultivo y bajo rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Aruquipa, R., (2008). Producción de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo dos sustratos (sólido y líquido) en el municipio de El Alto. Tesis de Grado UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz.

Casseres, E. (1984). Producción de hortalizas, instituto Interamericano de Cooperativas para la

agricultura, San José Costa Rica.

Fallovo, C.; Youssef, R.; Rea, E.; Battistelli A. (2009). Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. *Agricultural* 89:162-189.

FAO (2005). Producción de hortalizas. La Paz.

Farfán, M. (2004). Evaluación de dos sistemas de riego Localizado (uno Semi artesanal) en condiciones de carpa solar en el Altiplano Norte. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz- Bolivia.

Macias, R.; Grijalva, R. L. & Robles, F. (2013). Efecto de la variedad y fecha de transplante sobre el rendimiento y calidad de la lechuga. *Revista Biotecnia*. Vol. XC, Numero 2. p. 21 – 24. Sonora.

Ochoa, R. (2009). Diseños experimentales. Primera edición. La Paz.

Rivero, J. M. (2017). Densidades de siembra en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Grand Rapids Waldeman's, en la provincia de Lamas. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. Perú.

Salinas, I., 2004. Efecto de humus de residuos urbanos sobre la propiedad del suelo en la producción de lechuga. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz.

Vásquez, J. G. (2015). Evaluación agronómica de cinco variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en tres ciclos de siembra consecutivos en San Miguel de la Triga, San Carlos, Alajuela. C.R. Tesis de pregrado. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Efecto de probióticos quincenales sobre la producción lechera en bovinos Holstein × Cebú en Cochabamba

Effect of biweekly probiotics on milk production in Holstein × Cebu cattle in Cochabamba

¹Rene Huayta Choque

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, renehuaytachoque@gmail.com, ORCID: 0009-009-8184-2309

RESUMEN

El presente estudio experimental, cuantitativo y longitudinal se llevó a cabo en la Granja Saavedra, Quillacollo (Cochabamba, Bolivia), con el propósito de evaluar el efecto de la suplementación oral de un probiótico comercial sobre la producción lechera y la rentabilidad en vacas mestizas Holstein × Cebú. Se trabajó con 27 vacas, distribuidas en tres grupos de 9 animales: un grupo control (T0), un grupo tratado con 50 ml de probiótico (T50) y otro con 100 ml (T100). La suplementación se aplicó en cuatro fases con distinta frecuencia: continua durante 15 días, semanal, quincenal y mensual. La producción de leche se registró diariamente y los datos fueron analizados mediante ANOVA. Los resultados mostraron que tanto la dosis de 50 ml como la de 100 ml incrementaron la absorción metabólica de los nutrientes y la producción lechera en comparación con el grupo control, sin diferencias estadísticas significativas entre T50 y T100 ($p > 0.05$). En consecuencia, se recomienda el uso de 50 ml de probiótico, por ser igual de eficaz y más rentable. El estudio resalta que la inclusión de probióticos, junto con una dieta equilibrada, constituye una estrategia viable para mejorar la eficiencia productiva en vacas lecheras mestizas. Sin embargo, se observó que los cambios abruptos en la alimentación generan inestabilidad en los parámetros productivos, lo cual subraya la importancia de un manejo nutricional gradual y controlado.

PALABRAS CLAVE: suplementación, probiótico, absorción metabólica, rentabilidad, manejo nutricional.

ABSTRACT

The present experimental, quantitative and longitudinal study was carried out at the Saavedra Farm, Quillacollo (Cochabamba, Bolivia), with the purpose of evaluating the effect of oral supplementation of a commercial probiotic on milk

production and profitability in Holstein crossbred cows × Cebu. We worked with 27 cows, distributed in three groups of 9 animals: a control group (T0), a group treated with 50 ml of probiotic (T50) and another with 100 ml (T100). Supplementation was applied in four phases with different frequency: continuous for 15 days, weekly, biweekly and monthly. Milk production was recorded daily and data were analyzed using ANOVA. The results showed that both the 50 ml and 100 ml doses increased metabolic nutrient absorption and milk production compared to the control group, with no statistically significant differences between T50 and T100 ($p > 0.05$). Consequently, the use of 50 ml of probiotic is recommended, as it is just as effective and more cost-effective. The study highlights that the inclusion of probiotics, together with a balanced diet, is a viable strategy to improve production efficiency in crossbred dairy cows. However, it was observed that abrupt changes in feeding generate instability in production parameters, which underscores the importance of gradual and controlled nutritional management.

KEYWORDS: supplementation, probiotic, metabolic absorption, profitability, nutritional management.

INTRODUCCIÓN

La finalidad del presente estudio fue aportar información científica aplicada sobre el uso de probióticos en sistemas de producción lechera de la región de Quillacollo, Cochabamba, un ámbito donde aún existen vacíos de conocimiento en cuanto a la eficacia y la dosificación de estos aditivos en vacas mestizas Holstein × Cebú. El aspecto más relevante del trabajo radica en que constituye un avance en la adaptación de tecnologías de nutrición animal al contexto local, generando evidencia sobre la viabilidad de los probióticos como herramienta de apoyo para mejorar la eficiencia productiva y económica de las granjas lecheras de la zona. A través de esta investigación se logró introducir un enfoque innovador en la práctica ganadera regional, orientado a optimizar la producción bajo condiciones de manejo y alimentación propias de Cochabamba.

Los objetivos específicos del estudio fueron: evaluar el efecto de la suplementación oral con un probiótico comercial en dos dosis diferenciadas (50 ml y 100 ml) sobre el volumen de producción lechera y analizar su impacto en la rentabilidad de la explotación ganadera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue de tipo experimental, cuantitativo y longitudinal, orientado a evaluar el efecto de la suplementación oral con probióticos en la producción láctea de vacas mestizas Holstein × Cebú.

La investigación se llevó a cabo en la Granja Saavedra, ubicada en la localidad de Llaque, provincia de Quillacollo, departamento de Cochabamba, Bolivia. La granja se encuentra a 2.500 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 18 °C y una humedad relativa promedio del 70%.

Se seleccionaron 27 vacas mestizas (Holstein × Cebú) en fase de producción lechera, con condiciones sanitarias y productivas aparentemente homogéneas. La muestra se dividió en tres grupos de 9 animales cada uno:

- T0 (Control): sin suplementación de probiótico.
- T50: suplementación con 50 ml de probiótico.
- T100: suplementación con 100 ml de probiótico.

La distribución en grupos se realizó en base al número de animales disponibles, aunque no se especificó un criterio aleatorio de asignación. Se utilizó un probiótico comercial (posiblemente a base de *Lactobacillus* sp.), administrado por vía oral mediante un dosificador plástico graduado. El esquema de dosificación se aplicó en cuatro fases secuenciales, utilizando los mismos animales en cada etapa:

1. Fase I: dosificación continua durante 15 días.
2. Fase II: dosificación semanal.
3. Fase III: dosificación

quincenal.

4. Fase IV: dosificación mensual.

Los animales permanecieron bajo un sistema de pastoreo rotacional, complementado con forraje picado y suplementación variable según disponibilidad. El ordeño se efectuó dos veces al día (06:00 y 18:00 h) en instalaciones de la propia granja.

La variable principal evaluada fue el volumen de producción lechera (litros/vaca/día).

- El registro se realizó manualmente en planillas de control diario, utilizando probetas y baldes calibrados como instrumentos de medición.
- Cada ordeño se cuantificó y acumuló por día para cada animal.

Procedimiento de la investigación

1. Selección y agrupación de los animales.
2. Establecimiento de las fases de dosificación.
3. Administración del probiótico a cada grupo según tratamiento.
4. Registro diario del volumen de leche producido por cada vaca.
5. Consolidación de datos en planillas para cada fase experimental.

Equipos y materiales utilizados

- Probetas graduadas y baldes calibrados para medir leche.
- Dosificador plástico graduado para la administración del probiótico.
- Planillas de control diario (papel y digital).
- Computadora con software estadístico (SPSS, R o similar).

Los datos recolectados se procesaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los promedios de producción láctea entre grupos de tratamiento y el control.

- Se consideró un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.
- Se calcularon los valores de p para determinar diferencias significativas.
- En caso de diferencias estadísticas, se aplicaron pruebas post-hoc (Tukey) para identificar contrastes entre tratamientos.

RESULTADOS

Primera Fase: Dosificación continua durante 15 días

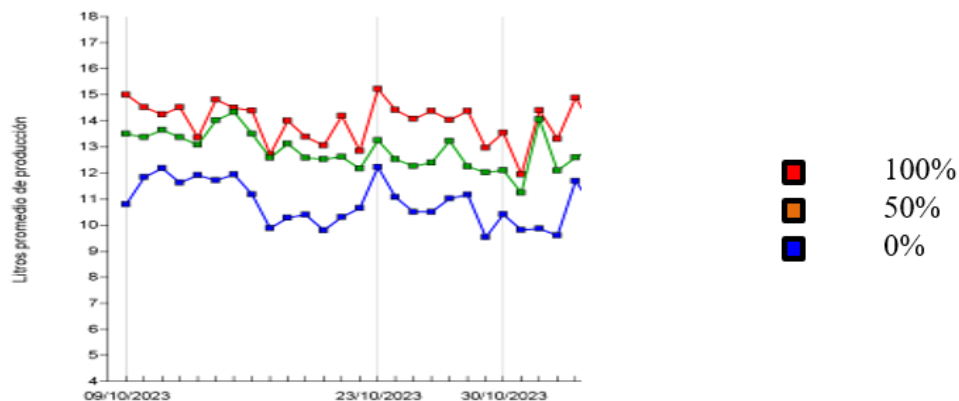


Figura 1. Primera Fase: Dosificación continua durante 15 días

Durante la primera fase, iniciada el 9 de octubre de 2023, la administración diaria de probiótico (50 ml y 100 ml) mostró un incremento del 2,2% en la producción de leche respecto al valor inicial de 357 L/día, alcanzando 381,5 L/día al finalizar el 23 de octubre de 2023 (Figura 1). Este aumento se evidenció a pesar de la variabilidad asociada a factores externos como el clima, la disponibilidad de alimento y el estrés de los animales (Figura 1).

Segunda Fase: Dosificación una vez por semana por cuatro semanas

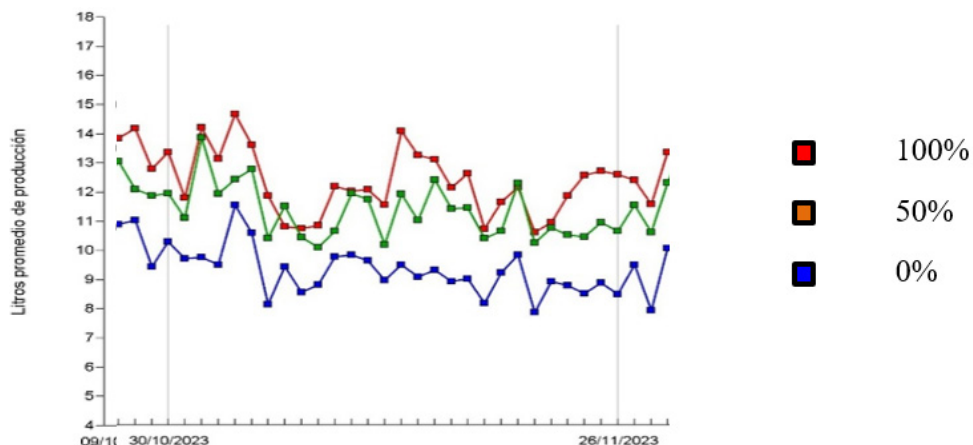


Figura 2. Segunda Fase: Dosificación una vez por semana por cuatro semanas

En la segunda fase (30 de octubre al 28 de noviembre de 2023), la producción lechera presentó una disminución general asociada a la escasez de alimento, ocasionada por problemas de transporte de forraje. Sin embargo, los grupos tratados con probióticos mantuvieron niveles más estables, registrando un incremento relativo del 1,8% en comparación con la producción inicial. El volumen descendió de 357 L/día a 309,5 L/día el 9 de noviembre, mostrando

que el probiótico mitigó una caída más pronunciada en la producción (Figura 2).

Tercera Fase: Dosificación una vez cada 15 días

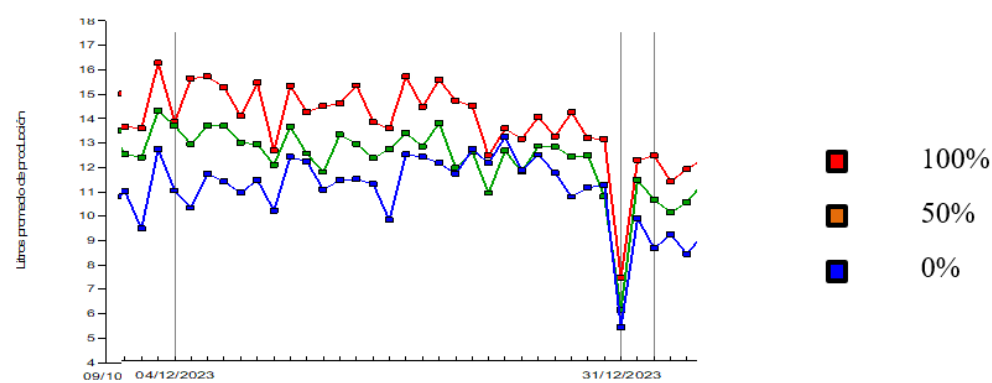


Figura 3. Tercera Fase: Dosificación una vez cada 15 días

En esta etapa, desarrollada hasta el 19 de diciembre de 2023, la suplementación cada 15 días evidenció un incremento del 2,5% respecto al valor inicial, alcanzando 367,4 L/día (Figura 3). El análisis estadístico indicó que el probiótico favoreció la absorción metabólica de nutrientes, reflejándose en un mejor aprovechamiento alimenticio

Cuarta Fase: Dosificación una vez al mes

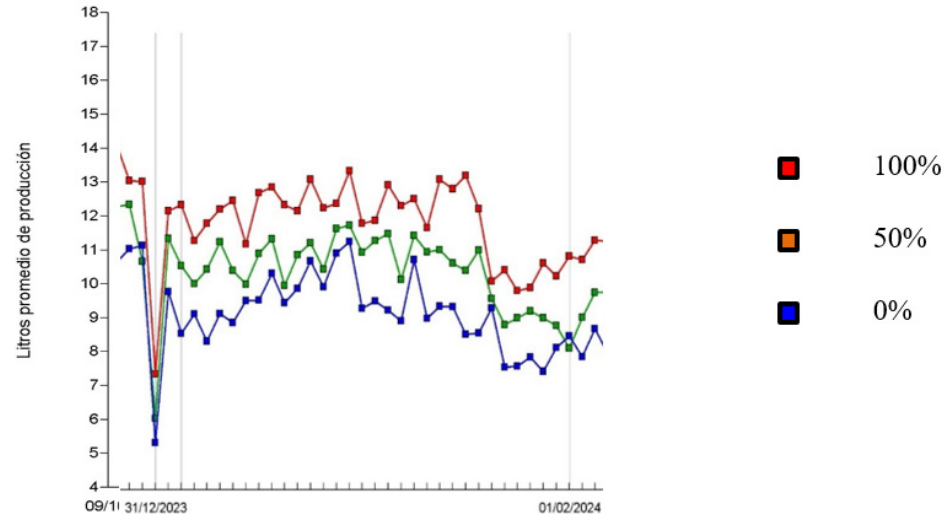


Figura 4. Cuarta Fase: Dosificación una vez al mes

Durante la dosificación mensual (18 de enero de 2024), el volumen lechero mostró una disminución del 1,5% respecto al valor inicial, registrando 315,8 L/día

(Figura 4). Si bien el probiótico contribuyó a mitigar parcialmente los efectos de condiciones adversas, la frecuencia mensual de aplicación resultó insuficiente para mantener la producción en niveles óptimos.

Quinta Fase: Sin dosificación

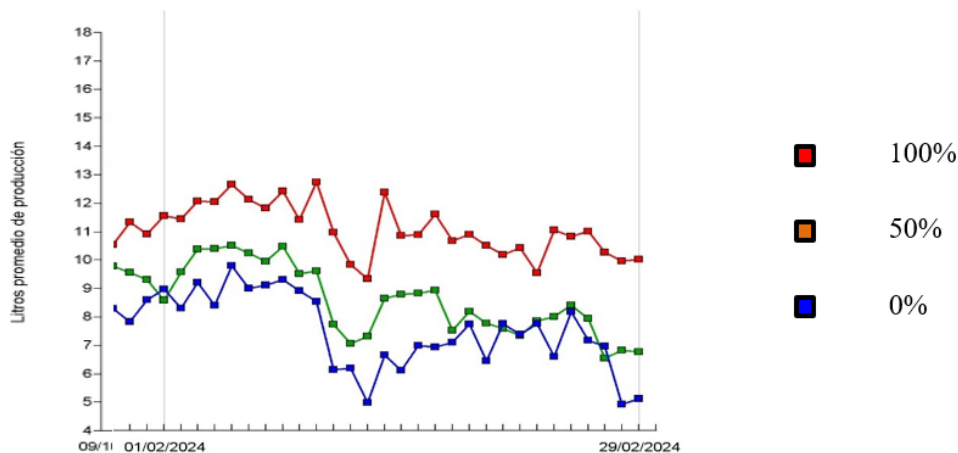


Figura 5. Quinta Fase: Sin dosificación

En el periodo comprendido entre el 1 y el 29 de febrero de 2024, al suspenderse la administración del probiótico, se observó una caída drástica de la producción. El volumen descendió de 357 L/día a 237 L/día, lo que representa una pérdida de 120 L/día (Figura 5). Este resultado refleja la interacción entre la ausencia del suplemento, la inestabilidad alimenticia y el tiempo fisiológico de lactación de los animales.

Evaluación de la producción mediante el uso de probióticos

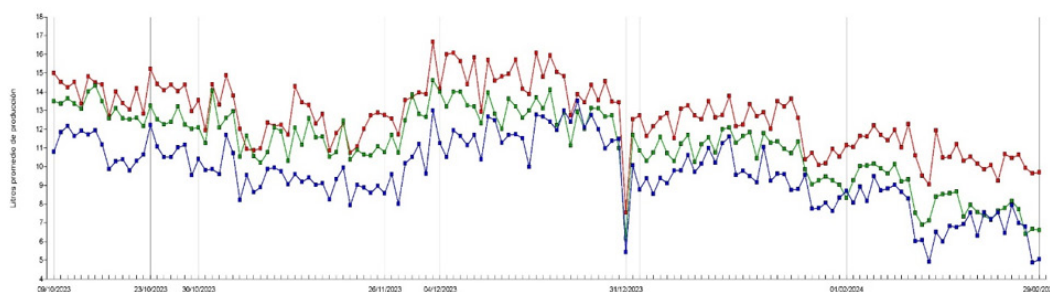


Figura 6. Evaluación de la producción mediante el uso de probióticos

El análisis global mediante ANOVA evidenció que la suplementación con probióticos generó efectos positivos en la producción lechera, especialmente con dosis de 50 ml, que mostraron resultados estadísticamente similares a los

de 100 ml ($p > 0,05$), pero con mayor eficiencia práctica (Figura 6).

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio aportan nueva evidencia aplicada al contexto productivo de Cochabamba, donde el uso de probióticos en vacas mestizas Holstein $\times$ Cebú no había sido evaluado de manera sistemática. Un aspecto novedoso y de especial importancia es que la dosis de 50 ml resultó tan efectiva como la de 100 ml para mejorar la absorción metabólica y la producción lechera, lo que tiene implicaciones directas en la rentabilidad de los sistemas lecheros locales, al permitir la reducción de costos sin comprometer los beneficios productivos.

La primera fase confirmó que la administración continua de probióticos puede inducir un efecto positivo rápido sobre la producción, lo cual respalda la evidencia previa de que estos aditivos mejoran la digestibilidad de nutrientes y la eficiencia metabólica. La segunda y tercera fase resaltaron otro hallazgo relevante: los probióticos no solo incrementan la producción en condiciones favorables, sino que también mitigan caídas drásticas asociadas a deficiencias nutricionales. Esto sugiere un papel potencial en la resiliencia productiva, lo cual constituye un aporte valioso frente a los desafíos de alimentación irregular frecuentes en sistemas ganaderos semi-intensivos.

Sin embargo, la cuarta fase demostró que la administración mensual resulta insuficiente para sostener la producción, probablemente porque no logra mantener estable la microbiota intestinal. Esto confirma la importancia de la frecuencia de dosificación como factor determinante en la eficacia de los probióticos. La quinta fase, al suspender el suplemento, evidenció una caída significativa de la producción (-120 L/día), lo que enfatiza la necesidad de considerar a los probióticos como parte de una estrategia nutricional continua y no como un recurso aislado o intermitente.

En términos de limitaciones, el estudio presentó dos aspectos que deben ser considerados:

1. La asignación no aleatoria de los animales a los grupos experimentales, lo cual puede introducir sesgos en la interpretación de los resultados.
2. La falta de detalle en la composición exacta del probiótico comercial utilizado, lo que dificulta la extrapolación de los resultados a otros productos del mercado.

Estas limitaciones abren el camino para futuras investigaciones que deberían incorporar un diseño experimental con asignación aleatoria estricta y caracterización microbiológica precisa de los suplementos empleados. Asimismo, los resultados sugieren una nueva hipótesis que merece ser explorada:

la posible dependencia fisiológica de los animales hacia los probióticos en condiciones de deficiencia alimenticia, un fenómeno que debe ser confirmado con estudios adicionales para determinar si se trata de un efecto real o de una interpretación circunstancial de la variabilidad productiva.

CONCLUSIÓN

- La suplementación con probióticos constituye una **estrategia viable para mejorar la producción lechera** en vacas mestizas Holstein × Cebú bajo las condiciones locales de Cochabamba, Bolivia.
- La **dosis de 50 ml es suficiente y tan efectiva como la de 100 ml**, lo que representa un avance importante en términos de **eficiencia económica** para los productores.
- La **frecuencia de administración** es un factor determinante: las aplicaciones continuas, semanales o quincenales muestran efectos positivos, mientras que las mensuales resultan insuficientes.
- La suspensión del probiótico genera una **disminución drástica en la producción**, lo que confirma la necesidad de su administración continua

junto con una **alimentación estable y balanceada**.

- Este estudio constituye un **aporte innovador a la zootecnia regional**, al generar evidencia empírica sobre el uso de probióticos en sistemas de producción lechera locales, estimulando nuevas investigaciones orientadas a optimizar protocolos de dosificación y evaluar la relación costo-beneficio en mayor escala.

Conflictos de interés

Este estudio fue financiado parcialmente por los médicos veterinarios zootecnistas Carlos Osmar Miranda Arriaga, Jorge Carlos Pereira Zárate y Rolando Maturana Núñez, quienes proveyeron el probiótico utilizado. Sin embargo, la empresa vinculada al producto no participó en el diseño experimental, la recolección de datos, el análisis estadístico ni en la redacción del manuscrito. Los autores declaran que mantuvieron plena independencia científica durante todo el proceso investigativo. Asimismo, manifiestan que no existe conflicto de interés de carácter personal, comercial, político, académico ni financiero que pueda haber influido en la conducción del estudio ni en la interpretación de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Corrales-Benedetti, L. A., & Arias-Palacios, M. A. (2023).

Probióticos en la producción animal: mecanismos de acción y efectos beneficiosos para la ganadería. Pastos y Forrajes, 46(e25). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942023000100025

FAO. (2023). The State of Food and Agriculture 2023: Aquatic Foods for Sustainable Food Systems. Rome: FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc8167en>

FAO/WHO. (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. London, Ontario, Canada. Disponible en: https://www.fao.org/_3/a0512e/a_0512e.pdf

Li, Y., Liu, C., Yang, T., Li, R., Niu, J., & Li, F. (2021). The Roles of Probiotics in Animal Production: An Overview. Microorganisms, 9(5), 1089. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/5/1089>

Stein, D. R., Van Kessel, J. S., & Thomson, J. L. (2021). A review of direct-fed microbials for use in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 104(9), 9857-9870. Disponible en: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(21\)00473-0/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(21)00473-0/fulltext)

Wang, J., Guo, J., Zhang, H., Liu, G.,

Li, S., Wang, C., ... & Zhao, R. (2021). Effects of different probiotics on milk yield, milk composition, and serum biochemical indices of dairy cows. Animals, 11(1), 108. Disponible en:

Evaluación fisicoquímica y sensorial de Kéfir enriquecido con Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) variedad jacha grano germinada y escaldada

Physicochemical and sensory evaluation of kefir enriched with germinated and scalded Quinoa (*Chenopodium Quinoa*), Jacha Grano variety

¹Jaime Reyes Ortiz

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, Email: .jaimereyortiz@gmail.com
ORCID: 0009-0007-4475-6028

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de la incorporación de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Jacha Grano germinada y escaldada sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del kéfir. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres tratamientos: kéfir natural (control), kéfir con 5% y 10% de quinua germinada escaldada. Los análisis incluyeron pH, acidez, proteínas, grasas y sólidos totales. Asimismo, se efectuó un análisis sensorial con 30 panelistas mediante prueba de preferencia. Los resultados mostraron que la quinua germinada escaldada incrementó significativamente el contenido de proteínas y sólidos totales, sin afectar negativamente el pH ni la acidez. En el análisis sensorial, el tratamiento con 5% fue el más aceptado, destacando por su sabor y textura. Estos hallazgos confirman que la adición de quinua germinada escaldada permite desarrollar un kéfir funcional con mayor valor nutricional y buena aceptación por parte de los consumidores.

PALABRAS CLAVE: Kéfir, quinua germinada, Jacha Grano, análisis fisicoquímico, evaluación sensorial.

ABSTRACT

The study evaluated the effect of incorporating germinated and scalded quinoa (*Chenopodium quinoa*), Jacha Grano variety, on the physicochemical and sensory characteristics of kefir. A completely randomized design with three treatments was applied: natural kefir (control), kefir with 5%, and 10% germinated scalded quinoa. Analyses included pH, acidity, protein, fat, and total solids. Additionally, a sensory evaluation was conducted with 30 panelists using a preference test. The results showed that the germinated scalded quinoa significantly increased protein and total solids content without negatively affecting pH or acidity. In the sensory analysis, the 5% treatment was the most accepted, particularly for its flavor and texture. These findings confirm that the addition of germinated scalded

IDICYT - UPEA

quinoa allows the development of a functional kefir with higher nutritional value and good consumer acceptance.

KEYWORDS: Kefir, germinated quinoa, Jacha Grano, physicochemical analysis, sensory evaluation

INTRODUCCIÓN

El kéfir es un producto lácteo fermentado que contiene una compleja comunidad de bacterias lácticas, levaduras y probióticos, reconocidos por sus beneficios sobre la salud digestiva, el sistema inmunológico y el equilibrio del microbiota intestinal (Beshkova et al., 2019). Además, los productos lácteos fermentados son vehículos ideales para el desarrollo de alimentos funcionales, debido a su matriz nutritiva y la posibilidad de incorporar ingredientes bioactivos sin afectar significativamente su estabilidad.

La quinua (*Chenopodium quinoa*), especialmente en su forma germinada, es un grano andino rico en proteínas de alto valor biológico, aminoácidos esenciales, fibra dietética, vitaminas y compuestos antioxidantes (saponinas, polifenoles y flavonoides) que mejoran el perfil nutricional de los alimentos (Zurita et al., 2021). El proceso de germinación aumenta la biodisponibilidad de nutrientes y reduce compuestos antinutricionales, haciendo que la quinua germinada sea especialmente adecuada para enriquecer productos lácteos fermentados como el kéfir (Ruales & Nair, 2020).

La variedad **Jacha Grano**, propia del altiplano boliviano, se caracteriza por su **alto rendimiento, grano grande y elevado contenido proteico**, lo que la hace particularmente apta para la elaboración de alimentos funcionales y su comercialización en mercados nacionales e internacionales. Sin embargo, la incorporación de granos

germinados en matrices lácteas requiere una evaluación cuidadosa, ya que puede influir en la acidez, textura, sabor y aceptación sensorial del producto final.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo **evaluar el efecto de la adición de quinua Jacha Grano germinada y escaldada sobre las propiedades fisicoquímicas sensoriales del kéfir**, determinando la concentración óptima para lograr un producto funcional nutritivo, seguro y sensorialmente aceptable. Los resultados aportarán información relevante para la diversificación de productos lácteos funcionales en Bolivia y la valorización de cultivos andinos tradicionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

Se utilizó un diseño **completamente al azar (DCA)** con tres tratamientos:

- **T1:** Kéfir natural (control)
- **T2:** Kéfir + 5% quinua germinada escaldada
- **T3:** Kéfir + 10% quinua germinada escaldada

Cada tratamiento se realizó por triplicado, con un total de **9 unidades experimentales**.

La estructura del modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- **Y_{ij}** = valor observado de la variable respuesta en el i-ésimo tratamiento y j-ésima repetición
- **μ** = Media general
- **T_i** = efecto del i-ésimo tratamiento (i=1,2,3; i = 1,2,3; i=1,2,3)
- **ε_{ij}** = error aleatorio asociado a cada observación

Preparación del germinado de quinua

La quinua Jacha Grano se germinó durante 48 h en condiciones controladas, hasta alcanzar raíces de 33 mm y cotiledones de ~22 mm. Posteriormente se escaldó a 90 °C por 2 min para inactivar enzimas y microorganismos.

Elaboración del kéfir

Se empleó leche pasteurizada, inoculada con gránulos de kéfir (1% v/v) y fermentada a 25 °C por 24 h. La quinua germinada escaldada se incorporó tras la fermentación, según el tratamiento.

Análisis fisicoquímicos

Se evaluaron los parámetros básicos de calidad en productos lácteos fermentados, con los siguientes métodos:

- **pH:** determinado con potenciómetro digital calibrado (pHmetro HANNA®, precisión

±0,01). El pH es un indicador fundamental del grado de fermentación y estabilidad microbiológica del kéfir.

- **Acidez titulable:** expresada como porcentaje de ácido láctico, obtenida mediante titulación con NaOH 0,1 N y fenolftaleína como indicador. Este parámetro refleja la producción de ácidos orgánicos durante la fermentación y complementa la medición de pH para caracterizar la acidez del producto.
- **Proteínas:** cuantificadas por el método Kjeldahl, expresadas en porcentaje de proteína total. Este análisis permite identificar el efecto de la incorporación de quinua germinada en el enriquecimiento proteico del kéfir.
- **Grasas:** determinadas mediante el método Gerber, expresadas en porcentaje. La grasa aporta energía y textura al producto, y su medición permite verificar si la adición de quinua modifica el contenido lipídico.
- **Sólidos totales:** obtenidos por secado gravimétrico a 105 °C hasta peso constante. Los sólidos totales incluyen proteínas, carbohidratos, grasas y minerales, y reflejan la concentración global de nutrientes y la consistencia final del kéfir.

Evaluación sensorial

Se aplicó una **prueba de preferencia con 30 panelistas entrenados**,

utilizando escala hedónica de 5 puntos (1 = me desagrada mucho, 5 = me gusta mucho). Se evaluaron **sabor, textura, aroma y aceptación general**.

Análisis estadístico

- Los datos fisicoquímicos se analizaron mediante **ANOVA de una vía** y prueba de **Tukey ($p < 0,05$)**.
- Para la prueba sensorial, se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro–Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene).
- En caso de no cumplirse, se aplicó la prueba no paramétrica de **Kruskal–Wallis** y, posteriormente, comparaciones múltiples mediante **Dunn con corrección de Bonferroni**.
- El procesamiento se realizó con **Mstat 2020**.

RESULTADOS

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del kéfir con quinua germinada escaldada

Tratat.	pH	Acidez (% ác. láctico)	Prot. (%)	Gra. (%)	Sólid. Tot. (%)
T1 (Control)	4.5	0.9	3.2	3.5	12.0
T2 (5%)	4.6	0.91	3.8	3.5	13.2
T ³ (10%)	4.6	0.92	4.2	3.6	14.0

Parámetros evaluados

pH: Mide la acidez del kéfir, un indicador clave de la fermentación y estabilidad microbiológica. Un pH más bajo indica mayor acidez.

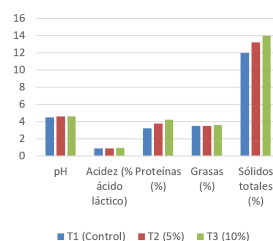
Acidez titulable (% ácido láctico): Refleja la cantidad de ácidos orgánicos producidos durante la fermentación, complementando la medición del pH.

Proteínas (% Prot.): Indica el contenido proteico, un factor nutricional importante, especialmente con la adición de quinua, que es rica en proteínas.

Grasas (% Gra.): Representa el contenido lipídico, que afecta la textura y el aporte energético del kéfir.

Sólidos totales (% Sólid. Tot.): Incluye proteínas, carbohidratos, grasas y minerales, reflejando la consistencia y el valor nutricional global.

Grafico 1 Comparacion de tratamientos



La adición de quinua aumentó significativamente las **proteínas y sólidos totales**.

Los tratamientos T2 (5%) y T3 (10%) incrementan significativamente el

DICYT - UPEA

contenido de proteínas y sólidos totales en comparación con el control (T1), siendo T3 el más efectivo. El pH y la acidez muestran aumentos leves, mientras que el contenido de grasas permanece casi constante, indicando que los tratamientos afectan principalmente proteínas y sólidos, con un impacto mínimo en acidez y lípidos.

Evaluación sensorial

Se aplicó una prueba de preferencia con 30 panelistas entrenados, utilizando escala hedónica de 5 puntos (1 = me desagrada mucho, 5 = me gusta mucho).

Cuadro 2 Prueba sensorial del kefir

Variable	Marca	N	Mean	StDev
Calificación	Gusto puro: Kefir	30	3,833	0,867
	Sup: Kéfir + 5% Quinoa Germinada			
	escaldada	30	3,8	0,7546
	Ma: Kéfir+ 10% Quinoa Germinada y			
	escaldada	30	3,867	1,016

Los tres tipos de kéfir tienen calificaciones promedio similares (entre 3,8 y 3,9), lo que sugiere una aceptación general comparable en términos de gusto.

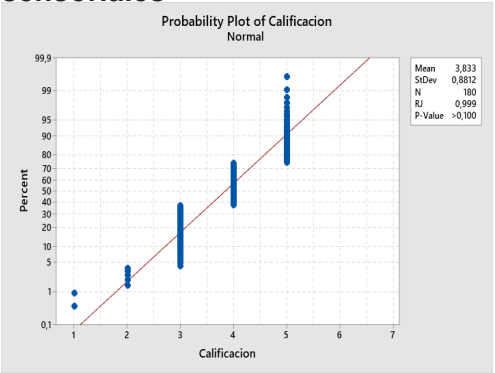
El tipo Sup (5% Quinoa) destaca por su su mayor consistencia (menor desviación estándar), reflejando opiniones más homogéneas.

El tipo Ma (10% Quinoa) tiene la media más alta pero también la

mayor variabilidad, lo que podría indicar una aceptación más diversa, con calificaciones que abarcan un rango más amplio

Gusto puro Kefir se posiciona como un término medio entre consistencia y calificación promedio, con una variabilidad moderada.

Gráfico 2 Gráfico de probabilidad normal de las calificaciones sensoriales



El valor $p > 0.100$ indica que no podemos rechazar la hipótesis nula de normalidad

Los datos de **calificación sensorial del kéfir y sus variaciones** cumplen con el supuesto de normalidad.

Esto valida el uso de pruebas estadísticas paramétricas para comparar tratamiento

La **prueba de Levene ($p = 0,007 < 0,05$)** indica que las **varianzas no son iguales** entre los tipos, es decir, la homogeneidad de varianzas no se cumple.

El **kéfir con 5% de quinua** presentó la **menor variabilidad** (opiniones más consistentes).

El **kéfir con 10% de quinua** tuvo la

mayor variabilidad (opiniones más dispersas).

El **kéfir puro** mostró una variabilidad intermedia.

Cuadro 3 Prueba de Kruskal-Wallis

Null hypothesis	H_0 : All medians are equal		
Alternative hypothesis	H_1 : At least one median is different		
Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	2	0,24	0,887
Adjusted for ties	2	0,27	0,874

Debido a la desigualdad de varianzas, no conviene usar un ANOVA clásico, sino se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

Cuadro 4 Prueba de hipótesis con Kruskal-Wallis

Tipo	N	Median	Mean Rank	Z-Value
Gusto puro: Kefir	30	4	89,6	-0,17
Sup: Kéfir + 5% Quinoa Germinada	30	4	88,8	-0,32
MAKéfir + 10% Quinoa Germinada	30	4	93,2	0,48
Overall	90		90,5	

Hipótesis Nula (H_0): No hay diferencias significativas entre los tipos de kefir.

Hipótesis Alternativa (H_1): Al menos una marca difiere significativamente.

Dado que los rangos medios son muy similares y los Z-values son cercanos a cero, se espera que el p-valor del Kruskal-Wallis sea > 0.05 (como se confirmó previamente, $p = 0.355$).

No hay evidencia suficiente para rechazar H_0 ; es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas en las calificaciones hedónicas entre los tres tipos de kefir

CONCLUSIONES

El estudio demostró que la incorporación de quinua germinada y escaldada de la variedad Jacha Grano en kéfir mejora significativamente las características fisicoquímicas, incrementando el contenido de proteínas y sólidos totales sin afectar negativamente el pH ni la acidez. El tratamiento con 10% de quinua germinada (T3) mostró el mayor enriquecimiento nutricional, con un aumento significativo en proteínas (4,2%) y sólidos totales (14,0%) en comparación con el kéfir natural (T1: 3,2% y 12,0%, respectivamente). El contenido de grasas permaneció prácticamente inalterado en todos los tratamientos, lo que indica que la quinua germinada influye principalmente en el perfil proteico y la consistencia del producto.

En términos sensoriales, los tres tipos de kéfir (natural, con 5% y 10% de quinua germinada) presentaron calificaciones promedio similares (entre 3,8 y 3,9 en una escala hedónica de 5 puntos), sin diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0,874$). Sin embargo, el kéfir con 5% de quinua germinada (T2) destacó por su menor variabilidad en las calificaciones (desviación estándar de 0,7546), reflejando una mayor consistencia en la aceptación por parte de los panelistas, especialmente en sabor y textura. Por otro lado, el

kéfir con 10% de quinua (T3) mostró la mayor variabilidad (desviación estándar de 1,016), lo que sugiere opiniones más diversas entre los evaluadores.

Estos resultados confirman que la adición de quinua germinada y escaldada permite desarrollar un kéfir funcional con un mayor valor nutricional y buena aceptación sensorial, siendo el tratamiento con 5% de quinua el más equilibrado en términos de consistencia y preferencia. Este enfoque no solo valoriza un cultivo andino tradicional como la quinua Jacha Grano, sino que también abre oportunidades para la diversificación de productos lácteos funcionales en Bolivia, con potencial para su comercialización en mercados nacionales e internacionales

Zurita, A., Vásquez, M., & Sánchez, P. (2021). Bioactive compounds and antioxidant capacity of germinated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1234-1241. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04645-2>

BIBLIOGRAFÍA

Beshkova, D. M., Simova, E. D., Frengova, G. I., Simov, Z. I., & Dimitrov, Z. P. (2019). Production of volatile aroma compounds by kefir starter cultures. *International Dairy Journal*, 89, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.00>

Ruales, J., & Nair, B. M. (2020). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(3), 345-350. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00820-5>

Evaluación del comportamiento hidrológico de las microcuencas de central agraria quiripujo, provincia Los Andes - La Paz

Assessment of the Hydrological Behavior of the Microbasins in the Quiripujo Agricultural Plant, Los Andes Province, La Paz

¹Aruquipa Amaru Roberto

²Ajata Tipula Alex

³Quispe Mamani Helen Milenka

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, aruquiparoberto@gmail.com
ORCID: 0009-0003-2399-057X

²Universidad Pública de El Alto, Bolivia, alex.ajata.1239@gmail.com

³Universidad Pública de El Alto, Bolivia, qhelen758@gmail.com

RESUMEN

Las comunidades de Central Agraria Quiripujo demandan resolver problemas de escasez hídrica durante periodos de sequía, pérdidas de cosechas y reducción de la producción pecuaria, conflictos sociales por el acceso al agua, inundaciones y erosión de suelo en épocas de lluvia, en ese sentido con plena participación de la comunidad la microcuenca se ubica con el consenso de ellos en la parte alta que todos sea beneficiados con el estudio de investigación. La investigación tiene su objetivo para la caracterización morfométrica con fines de gestión integral de recursos hídricos de la comunidad Quiripujo en la microcuenca Wila Amay Municipio Pucarani, provincia Los Andes del Departamento La Paz; con el enfoque de contribuir y determinar a la microcuenca como base para la planificación de acciones para el uso de los recursos naturales, uso de tierra con fines productivos, recursos hídricos principalmente y considerar la cuenca como un sistema natural con determinadas características ecosistémicas que deben de ser administradas como base de la subsistencia del desarrollo económico y social del que depende el bienestar de los habitantes de la comunidad Quiripujo, porque la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) y el Manejo Integral de Cuencas (MIC), constituye la base de desarrollo de un territorio de acuerdo a nuevas políticas de estado para ello se hace necesario conocer los diferentes aspectos morfométricos de la cuenca. Por otra parte, los aspectos referidos a la utilización de información de imágenes satelitales tales como DEMs de "Earthexplore.usg.gov", "Google Earth", "Uso de suelo GeoBolivia 2010", "SoilGrid", para caracterizar la cuenca apoyándose en programas informáticos como: "Global Mapper", "Qgis". Con los resultados se analizan los datos obtenidos del proceso de modelación de la microcuenca Wila Amay, con un área de 2.87 km², con una longitud de cuenca 2715m, longitud cauce principal que curvilínea de 3362m, su factor de forma es 0.4 con una pendiente 6.19% en las partes menos escarpadas y las más está por los >50%, y nivel altitudinal más bajo esta por los 3908 m.s.n.m y la más alta 4076m.s.n.m. La red de drenaje es de tercer orden. Con los resultados es posible implementar la Gestión Integral de

DICYT - UPEA

Recursos Hídricos para un manejo integral de recursos hídricos porque existe oferta hídrica es de 375529.5 m³/anual. El comportamiento hidrológico de la microcuenca la época seca inicia desde mayo a septiembre y con gestión integral del recurso hídrico debe ser solucionada la demanda de la comunidad.

PALABRAS CLAVE: Microcuenca, orden de río, potencial, hidrometría, escorrentía, conservación de suelos, balance hídrico, recursos hídricos

ABSTRACT

The communities of Central Agraria Quiripujo are demanding solutions to problems related to water scarcity during periods of drought, crop losses and reduced livestock production, social conflicts over access to water, flooding, and soil erosion during the rainy season. With full community participation, the micro-watershed is located in the upper part of the Quiripujo community, with their consensus that everyone will benefit from the research study. The research aims to provide morphometric characterization for the purposes of comprehensive water resource management in the Quiripujo community in the Wila Amay micro-watershed, Pucarani Municipality, Los Andes Province, La Paz Department. with the focus of contributing and determining the micro-basin as a basis for planning actions for the use of natural resources, land use for productive purposes, water resources mainly and considering the basin as a natural system with certain ecosystem characteristics that must be managed as a basis for the subsistence of economic and social development on which the well-being of the inhabitants of the Quiripujo community depends, because the Integrated Management of Water Resources (IWRM) and Integrated Management of Basins (MIC), constitutes the basis for the development of a territory in accordance with new state policies for this it is done It is necessary to understand the different morphometric aspects of the basin. Furthermore, aspects related to the use of information from satellite images such as DEMs from "Earthexplore.usg.gov", "Google Earth", "GeoBolivia 2010 Land Use", "SoilGrid" are necessary to characterize the basin using software programs such as: Global Mapper, QGIS. The results are used to analyze data obtained from the modeling process of the Wila Amay micro-basin. The micro-basin covers an area of 2.87 km², has a basin length of 2,715 m, a curvilinear main channel length of 3,362 m, a shape factor of 0.4, a slope of 6.19% in the less steep sections and >50% in the steepest sections. The lowest elevation is 3,908 m² and the highest is 4,076 m². The drainage network is of third order. With the results, it is possible to implement Integrated Water Resources Management (IWM) for comprehensive water resource management because the current water supply is 375,529.5 m³/year. The hydrological behavior of the micro-basin is from May to September, and with integrated water resource management, the community's demand must be met.

KEYWORDS: Microbasin, river order, potential, hydrometry, runoff, soil conservation, water balance, water resources.

INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los recursos hídricos es una prioridad para garantizar el desarrollo agrícola, ganadera en comunidades rurales. En este marco, el presente proyecto tiene como propósito generar información científica sobre el comportamiento hidrológico de las microcuencas ubicadas en la Central Agraria Quiripujo, con el fin de aportar su oferta hídrica y posteriormente su manejo eficiente del agua en la región. Esta iniciativa responde a la necesidad de fortalecer la resiliencia frente a eventos climáticos extremos, optimizar el uso del agua en la producción agropecuaria y apoyar en la planificación territorial sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Información cartográfica analizada. Información hidrometeorológica. Estudio microcuenca que consiste en sus características básicas, delimitación, en cartografía se genera superficie, partes de la cuenca, perímetro, ancho microcuenca, factor forma, índice de compacidad, longitud de curso principal, cota de aforo, cota naciente, longitud de todos los ríos, parámetros relativo a relieve, pendiente cuenca, parámetros de la red de drenaje, clasificación de la red de drenaje.

Evaluación comportamiento hidrológico de la microcuenca. Gestión de datos hidrometeorológico. Campana de aforo del río principal. Determinación del potencial hídrico por método racional. Evaluación comportamiento oferta hídrica de la microcuenca.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalidades

El constante aumento de la población, lleva consigo un continuo aumento en la demanda de alimentos, de ahí, que las fuentes productoras de estos tengan que incrementarse en número y en sus rendimientos y siendo el agua, elemento indispensable en la producción de ellos, ya sea en forma directa o indirecta, es preocupación universal, disponer de agua en cantidad y calidad suficiente para satisfacer las necesidades, sean estas de tipo agrícola, pecuario, poblacional, generación de energía, industrial y otros

Suelo y uso de suelo

Existe la visión el manejo y conservación de suelo.

Cobertura vegeta

La cobertura vegetal consiste en pastizales de la puna, Ichu y Deyeuxia y humedales (bofedales)

Información cartográfica

Se utilizo la información de los archivos GeoBolivia, municipios 339.shp, municipios 339.shp, ríos principales, shp, poblaciones. shp.

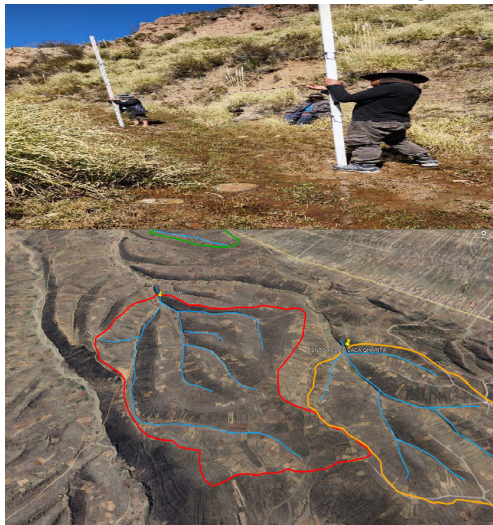
DICyT - UPEA

Estudio microcuenca Quiripujo

Wila Amay

Delimitación

Se delimita área de terreno en donde llega la precipitación pluvial, se unen para formar un solo curso de agua.



Superficie (A)

Se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la microcuenca

$$A = 2.87 \text{ Km}^2$$

Partes de la Microcuenca

La microcuenca en estudio cuenta con la parte alta, media con vegetación y la parte baja con pequeña área de cultivo

Perímetro (P)

Con la herramienta de polígono cerrado se encuentra este resultado

$$P = 7677 \text{ m} = 7.677 \text{ Km}$$

Ancho (B)

El resultado generado es

$$B = 1036 \text{ m}$$

Factor forma (F)

Expresa la relación, entre el ancho promedio de la microcuenca y su longitud.

$$F = \frac{\text{Ancho}}{B/L} = \frac{1036}{2715} = 0.4$$

Longitud

Factor forma influye en la escorrentía y características del hidrograma con el resultado $K < 1$ tiende ser circular, $K > 1$ tiende ser alargada. Resulta tiende a ser circular.

Índice de compacidad (K)

El índice de compacidad, trata de expresar la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía, particularmente en la característica del hidrograma

$$K = 0.28P/\sqrt{A} = 0.28(7.677)/\sqrt{2.87} = 1.27$$

Pendiente de río principal (S)

El conocimiento de la pendiente del cauce principal es para conocer el comportamiento del recurso hídrico y la que nos permitirá aprovechar adecuadamente el agua para fines de riego.

En general, la pendiente se considera como el cociente que resulta dividir, el desnivel de los extremos del tramo cota naciente 4045 msnm y cota de aforo 3908 msnm, entre la longitud horizontal de dicho tramo es 3362m.

$$S = \frac{\Delta \text{cota}}{\text{Longitud}} \times 100 = 4.1 \%$$

Pendiente de la cuenca

La pendiente de la cuenca tiene una relación importante con la infiltración, el escurrimiento superficial, humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a los caudales, conforme aumenta el caudal esta aumenta la velocidad del escurrimiento, creciendo las magnitudes del caudal de escurrimiento, que implica la erosión y la contribución de sedimentos.

La pendiente es el ángulo diedro comprendido entre dos planos, formado entre un plano oblicuo y uno horizontal. En otras palabras, se puede expresar que pendiente es la relación que existe entre la altura ascendida y la distancia recorrida para ascenderla.

Por las definiciones dadas, la pendiente topográfica se puede medir en ángulos, o sea, en grados o en porcentaje. Se puede calcular en unidades reales (metros), estará dada por la siguiente fórmula:

$$Sc = x/100 = 6.19\%$$

Parámetros red de drenaje

Se entiende por red o línea de drenaje a aquella que indica el escurrimiento de aguas, sean éstas periódicas o aperiódicas (esporádicas, estacionales o intermitentes)

Clasificación de la red de drenaje

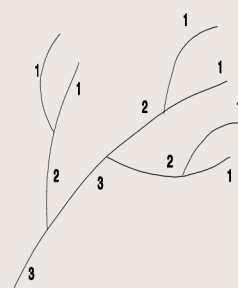
Clasificación de la red de drenajes según su orden de jerarquización según Strahler, quien nos entrega una serie de reglas:

Drenes de primer orden, son aquellos que se forman por simple concentración de aguas debidas a la precipitación.

Drenes de segundo orden, son aquellos que se forman por confluencia de dos drenes de primer orden. Estos ejemplos se continúan para determinar los órdenes siguientes (tercero, cuarto quinto, etc.) hasta llegar al dren de desagüe principal. Eso sí, hay que tener en cuenta que si se juntan dos drenes de distinto orden, se respeta el de mayor

RED DE CANALES

Modelo de STRAHLER :



Por tanto, la microcuenca Wila Amay Quiripujo es de tercer orden

Evaluación de comportamiento hidrológico de la microcuenca

Gestión de datos hidrometeorológico

Se utilizará la información hidrometeorológica de la cuenca vecina hidrográfica de Tiahuanacu por estar a misma altitud 3838 msnm, por estar ubicada a orillas del lago Titicaca y similares condiciones topográficas los datos tiene fuente a SENAMHI que se detalla a continuación:

PROVINCIA : ENGAVI
DEPTO. : LA PAZ

LONGITUD : 68° 41' W
ALTITUD : 3838 m.s.n.m.

PRECIPITACION TOTAL (mm.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
1973					12.5	4.0	4.4	35.3	43.7	38.8	29.9	42.3	210.9
1974	119.7	150.6	68.8	35.8	0.4	5.2	3.5	85.4	4.8	43.3	48.2	79.6	645.3
1975	225.0	191.5	39.7	9.9	47.7	13.8	6.0	14.5	54.9	40.9	25.3	100.8	770.0
1976	198.9	99.6	55.0	17.0	23.2	0.5	19.5	18.7	87.3	2.1	26.7	71.0	619.5
1977	100.3	125.8	94.8	3.2	15.8	0.0	26.8	2.1	30.8	44.4	103.7	117.5	665.2
1978	197.1	146.0	118.6	26.2	0.0	0.0	0.0	7.9	22.0	6.8	127.0	141.3	792.9
1979	202.7	62.8	171.8	49.9	2.3	0.0	37.8	1.9	12.3	58.2	50.4	205.7	855.8
1980	66.1	67.9	104.9	6.0	0.0	0.0	58.7	32.2	46.4	92.3	28.8	41.6	544.9
1981	130.9	143.9	98.8	95.4	7.8	0.0	0.0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	771.6
1982	185.0	42.7	132.2	45.5	0.0	1.1	0.0	1.2	52.1	63.6	87.0	52.3	662.7
1983	56.7	59.2	37.7	56.5	33.7	16.7	2.1	24.2	45.6	7.8	44.9	76.9	462.0
1984	243.9	119.3		37.5	2.0	6.8	5.0	14.9	0.0	41.9	73.4	98.0	642.7
1985	170.2	97.0	96.1	51.6	17.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17.0	155.5	178.3	880.5
1986	74.0	123.0	118.8	47.3	18.0	0.0	0.0	5.3	27.5	15.1	64.2	98.9	592.1
1987	240.0	40.3	68.4	26.1	14.7	18.8	18.4	1.3	22.8	82.8	71.0	29.7	634.3
1988	105.2	75.1	155.8	117.0	16.0	0.0	0.0	0.0	14.8	10.0	26.5	58.6	579.0
1989	98.9	81.4	17.0	47.3	3.0	8.3	2.7	7.1	37.0	21.4	44.2	114.3	482.6
1990	136.3	55.3	26.9	20.9	40.0	31.4	0.0	5.3	0.0	11.8	114.5	125.4	567.8
1991	112.5	60.5	116.8	12.4	11.2	15.2	5.3	0.5	0.2	27.4	22.4	31.3	415.7
1992	121.8	84.4	42.6	6.5	0.0	5.1	4.9	34.1	0.9	27.0	67.5	72.3	467.1
1993	143.5	59.1	92.7	17.0	0.3	3.1	0.0	19.6	31.0	53.8	62.7	86.0	568.8
1994	*	96.7	51.6	29.5	11.5	2.4	0.0	0.0	7.2	30.6	71.2	91.5	392.2
1995	105.3	54.3	70.6	18.9	0.5	0.0	0.0	17.4	14.9	3.5	41.6	87.6	414.6
1996	119.9	54.1	52.2	40.3	19.7	29.9	6.0	21.4	9.0	20.1	44.8	115.1	532.5
1997	109.5	125.4	52.8	26.8	7.9	0.0	0.0	15.0	26.3	28.1	19.9	29.4	441.1
1998	74.4	120.5	77.2	42.0	0.0	16.7	0.0	1.0	0.0	45.2	62.5	19.5	459.0
1999	78.8	75.9	34.4	18.9	3.0	0.0	0.7	0.0	54.2	38.8	22.9	17.1	344.7
2000	100.2	78.0	49.9	0.0	0.0	30.9	0.0	5.3	0.0	55.8	5.0	57.4	382.5
2001	245.4	110.3	61.3	25.6	1.5	1.7	17.7	7.2	15.5	47.9	18.5	34.6	587.2
2002	91.0	99.7	84.4	63.7	7.6	9.9	41.2	4.2	1.5	44.2	19.8	43.9	511.1
2003	78.2	96.5	66.6	6.4	2.1	0.0	0.0	0.0	18.0	11.3	27.5	96.5	403.1
2004	142.8	86.5	44.4	16.2	0.0	0.0	22.8	23.9	15.4	5.2	28.8	48.1	434.1
2005	70.9	96.3	28.5	17.6	1.6	0.0	0.0	3.1	15.1	58.8	64.2	68.9	425.0
2006	169.2	75.0	59.3	19.2	0.0	0.0	0.0	10.5	5.0	31.9	56.9	50.3	477.3
2007	50.7	38.4	90.3	29.9	1.2	0.0	29.1	0.0	32.1	7.3	43.6	56.4	379.0
2008	113.6	45.8	51.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	82.6	342.1
2009	63.5	49.5	38.4	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	73.0	307.2
2010	98.6	104.6	16.4	18.3	43.3	0.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	401.0
2011	36.9	113.5	63.3	6.5	6.6	0.0	12.3	0.0	16.1	12.0	39.1	131.0	437.3
2012	113.2	105.0	132.7	41.2	0.0	0.0	3.7	0.0	12.6	8.9	28.8	101.2	547.3
TOTAL	4790.8	3511.4	2783.1	1173.1	372.9	240.1	338.8	487.4	866.5	1311.6	2007.0	3167.0	
MEDIA	126.1	90.0	73.2	30.1	9.3	6.0	8.5	12.2	21.7	32.8	50.2	79.2	
MAX	245.4	191.5	171.8	117.0	47.7	31.4	58.7	85.4	87.3	92.3	155.5	205.7	
MIN	36.9	38.4	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	5.0	17.1	

Análisis de información hidrológico

Primeramente, se logra contar con la información de mayor número de años de SEANMHI a partir del año 1973 a 2012 en el cual se completó información faltante con promedio porque son mínima la información vacía la que se detalla a continuación.

PRECIPITACION TOTAL (mm.)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
1973	126.1	90.0	73.2	30.1	12.5	4.0	4.4	35.3	43.7	38.8	29.9	42.3	530.3
1974	119.7	150.6	68.8	35.8	0.4	5.2	3.5	85.4	4.8	43.3	48.2	79.6	645.3
1975	225.0	191.5	39.7	9.9	47.7	13.8	6.0	14.5	54.9	40.9	25.3	100.8	770.0
1976	198.9	99.6	55.0	17.0	23.2	0.5	19.5	18.7	87.3	2.1	26.7	71.0	619.5
1977	100.3	125.8	94.8	3.2	15.8	0.0	26.8	2.1	30.8	44.4	103.7	117.5	665.2
1978	197.1	146.0	118.6	26.2	0.0	0.0	0.0	7.9	22.0	6.8	127.0	141.3	792.9
1979	202.7	62.8	171.8	49.9	2.3	0.0	37.8	1.9	12.3	58.2	50.4	205.7	855.8
1980	66.1	67.9	104.9	6.0	0.0	0.0	58.7	32.2	46.4	92.3	28.8	41.6	544.9
1981	130.9	143.9	98.8	95.4	7.8	0.0	0.0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	771.6
1982	185.0	42.7	132.2	45.5	0.0	1.1	0.0	1.2	52.1	63.6	87.0	52.3	662.7
1983	56.7	59.2	37.7	56.5	33.7	16.7	2.1	24.2	45.6	7.8	44.9	76.9	462.0
1984	243.9	119.3	73.2	37.5	2.0	6.8	5.0	14.9	0.0	41.9	73.4	98.0	715.9
1985	170.2	97.0	96.1	51.6	17.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17.0	155.5	178.3	880.5
1986	74.0	123.0	118.8	47.3	18.0	0.0	0.0	5.3	27.5	15.1	64.2	98.9	592.1
1987	240.0	40.3	68.4	26.1	14.7	18.8	18.4	1.3	22.8	82.8	71.0	29.7	634.3
1988	105.2	75.1	155.8	117.0	16.0	0.0	0.0	0.0	14.8	10.0	26.5	58.6	579.0
1989	98.9	81.4	17.0	47.3	3.0	8.3	2.7	7.1	37.0	21.4	44.2	114.3	482.6
1990	136.3	55.3	26.9	20.9	40.0	31.4	0.0	5.3	0.0	11.8	114.5	125.4	567.8
1991	112.5	60.5	116.8	12.4	11.2	15.2	5.3	0.5	0.2	27.4	22.4	31.3	415.7
1992	121.8	84.4	42.6	6.5	0.0	5.1	4.9	34.1	0.9	27.0	67.5	72.3	467.1
1993	143.5	59.1	92.7	17.0	0.3	3.1	0.0	19.6	31.0	53.8	62.7	86.0	568.8
1994	126.1	96.7	51.6	29.5	11.5	2.4	0.0	0.0	7.2	30.6	71.2	91.5	518.3
1995	105.3	54.3	70.6	18.9	0.5	0.0	0.0	17.4	14.9	3.5	41.6	87.6	414.6
1996	119.9	54.1	52.2	40.3	19.7	29.9	6.0	21.4	9.0	20.1	44.8	115.1	532.5
1997	109.5	125.4	52.8	26.8	7.9	0.0	0.0	15.0	26.3	28.1	19.9	29.4	441.1
1998	74.4	120.5	77.2	42.0	0.0	16.7	0.0	1.0	0.0	45.2	62.5	19.5	459.0
1999	78.8	75.9	34.4	18.9	3.0	0.0	0.7	0.0	54.2	38.8	22.9	17.1	344.7
2000	100.2	78.0	49.9	0.0	0.0	30.9	0.0	5.3	0.0	55.8	5.0	57.4	382.5
2001	245.4	110.3	61.3	25.6	1.5	1.7	17.7	7.2	15.5	47.9	18.5	34.6	587.2
2002	91.0	99.7	84.4	63.7	7.6	9.9	41.2	4.2	1.5	44.2	19.8	43.9	511.1
2003	78.2	96.5	66.6	6.4	2.1	0.0	0.0	0.0	18.0	11.3	27.5	96.5	408.1
2004	142.8	86.5	44.4	16.2	0.0	0.0	22.8	23.9	15.4	5.2	28.8	48.1	434.1
2005	70.9	96.3	28.5	17.6	1.6	0.0	0.0	3.1	15.1	58.8	64.2	68.9	425.0
2006	169.2	75.0	59.3	19.2	0.0	0.0	0.0	10.5	5.0	31.9	56.9	50.3	477.3
2007	50.7	38.4	90.3	29.9	1.2	0.0	29.1	0.0	32.1	7.3	43.6	56.4	379.0
2008	113.6	45.8	51.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	82.6	342.1
2009	63.5	49.5	38.4	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	73.0	307.2
2010	98.6	104.6	16.4	18.3	43.3	0.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	401.0
2011	36.9	113.5	63.3	6.5	6.6	0.0	12.3	0.0	16.1	12.0	39.1	131.0	437.3
2012	113.2	105.0	132.7	41.2	0.0	0.0	3.7	0.0	12.6	8.9	28.8	101.2	547.3
TOTAL	5043.0	3601.4	2929.5	1203.2	372.9	240.1	338.8	487.4	866.5	1311.6	2007.0	3167.0	
MEDIA	126.1	90.0	73.2	30.1	9.3	6.0	8.5	12.2	21.7	32.8	50.2	79.2	
MAX	245.4	191.5	171.8	117.0	47.7	31.4	58.7	85.4	87.3	92.3	155.5	205.7	
MIN	36.9	38.4	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	5.0	17.1	

Determinación del potencial hídrico

En zona de estudios no se cuenta con serie historial de escorrentía por lo que se acudirá a la aplicación el método racional.

Método racional

El uso de este método, tiene una antigüedad de más de 100 años, se ha generalizado en todo el mundo.

Q= CIA/360

Q=caudal (m³/s)

I= intensidad (mm/Hr)

A= área de la cuenca (Has.)

Coficiente de escurrimiento (C)

METODO RACIONAL		Coficiente de esc Pendiente del terreno			
Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Promun. 50%	Alta 20%	Media 5%	Suave 1%
Sin vegetación	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65
	Semipermeable	0.7	0.66	0.6	0.55
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35
Cultivos	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.35	0.3	0.25	0.2
Hierba, grama	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15
Bosques, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1

Área producción del recurso hídrico es con pendiente suave 6.19 % con vegetacion, tipo de suelo semipermeable C1= 0.45, también está conformada con pastos, vegetación ligera C2= 0.45. Promedio (C1+C2)/2 = 0.45

DETERMINACION LOS VOLUMENES Y CAUDALES AL 75% DE PERSISTENCIA.

Primeramente, se ordena los valores de la precipitación pluvial mayor a menos y los resultados se registran en el siguiente cuadro el comportamiento hidrológico.

ORDENANDO PRECIPITACION TOTAL (mm.) MAYOR A MENOR													
n	f(%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	2.4	245.4	191.5	171.8	117.0	47.7	31.4	58.7	85.4	87.3	92.3	155.5	205.7
2	4.9	243.9	150.6	155.8	95.4	43.3	30.9	41.2	42.2	60.9	84.9	127.0	178.3
3	7.3	240.0	146.0	132.7	63.7	40.0	29.9	37.8	35.3	54.9	82.8	114.5	141.3
4	9.8	225.0	143.9	132.2	56.5	33.7	18.8	29.1	34.1	54.2	63.6	103.7	131.0
5	12.2	202.7	125.8	118.8	51.6	23.2	18.6	26.8	32.2	52.1	58.8	87.0	125.4
6	14.6	198.9	125.4	118.6	49.9	19.7	16.7	22.8	24.2	46.4	58.2	73.4	117.5
7	17.1	197.1	123.0	116.8	47.3	18.0	16.7	19.5	23.9	45.6	55.8	71.2	115.1
8	19.5	185.0	120.5	104.9	47.3	17.8	15.2	18.4	21.4	43.7	53.8	71.0	114.3
9	22.0	170.2	119.3	98.8	45.5	16.0	13.8	17.7	19.6	37.0	47.9	67.5	101.2
10	24.4	169.2	113.5	96.1	42.0	15.8	9.9	12.3	18.7	32.1	45.2	64.2	100.8
11	26.8	143.5	110.3	94.8	41.2	14.7	8.3	9.9	17.4	31.0	44.4	64.2	99.9
12	29.3	142.8	105.0	92.7	40.3	12.5	6.8	6.0	17.2	30.8	44.2	62.7	98.9
13	31.7	136.3	104.6	90.3	37.5	11.5	5.2	6.0	15.0	27.5	43.3	62.5	98.0
14	34.1	130.9	99.7	84.4	35.8	11.2	5.1	5.3	14.9	26.3	41.9	56.9	96.5
15	36.6	126.1	99.6	77.2	30.1	7.9	4.0	5.0	14.5	22.8	41.8	50.4	91.5
16	39.0	126.1	97.0	73.2	29.9	7.8	3.1	4.9	10.5	22.0	40.9	48.2	87.6
17	41.5	121.8	96.7	73.2	29.5	7.6	2.4	4.4	7.9	21.6	38.8	46.2	86.0
18	43.9	119.9	96.5	70.6	26.8	6.6	1.7	3.7	7.5	18.0	38.8	44.9	82.6
19	46.3	119.7	96.3	68.8	26.2	3.0	1.1	3.5	7.2	16.1	31.9	44.8	79.6
20	48.8	113.6	90.0	68.4	26.1	3.0	0.5	2.7	7.1	15.5	30.6	44.2	76.9
21	51.2	113.2	86.5	66.6	25.6	2.3	0.0	2.1	5.3	15.4	28.1	43.6	73.0
22	53.7	112.5	84.4	63.3	20.9	2.1	0.0	0.7	5.3	15.1	27.4	42.8	72.3
23	56.1	109.5	81.4	61.3	19.2	2.0	0.0	0.3	5.3	14.9	27.0	41.6	71.0
24	58.5	105.3	78.0	59.3	18.9	1.6	0.0	0.0	4.2	14.8	21.4	39.1	68.9
25	61.0	105.2	75.9	55.0	18.9	1.5	0.0	0.0	3.1	12.6	20.1	29.9	58.6
26	63.4	100.3	75.1	52.8	18.3	1.2	0.0	0.0	2.1	12.3	17.0	28.8	57.4
27	65.9	100.2	75.0	52.2	17.6	0.5	0.0	0.0	1.9	9.0	15.1	28.8	56.4
28	68.3	98.9	67.9	51.6	17.0	0.4	0.0	0.0	1.3	7.2	15.1	28.8	52.3
29	70.7	98.6	62.8	51.4	17.0	0.3	0.0	0.0	1.2	5.6	13.8	27.5	50.3
30	73.2	91.0	60.5	49.9	16.2	0.0	0.0	0.0	1.0	5.0	12.0	26.7	48.1
31	75.6	78.8	59.2	44.4	14.9	0.0	0.0	0.0	0.5	4.8	11.8	26.5	43.9
32	78.0	78.2	59.1	42.6	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	11.3	25.4	42.3
33	80.5	74.4	55.3	39.7	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	10.0	25.3	41.6
34	82.9	74.0	54.3	38.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	8.9	23.7	41.2
35	85.4	70.9	54.1	37.7	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	7.8	22.9	34.6
36	87.8	66.1	49.5	34.4	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	22.4	31.3
37	90.2	63.5	45.8	28.5	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	19.9	29.7
38	92.7	56.7	42.7	26.9	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	19.8	29.4
39	95.1	50.7	40.3	17.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	18.5	19.5
40	97.6	36.9	38.4	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	5.0	17.1

En el cuadro no se obtiene directamente la lluvia a 75% de persistencia y se calcula por medio de interpolación y los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

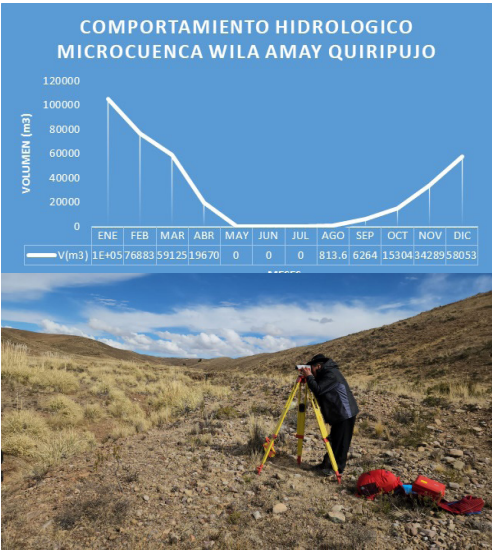
CALCULO PRECIPITACION CON 75% DE PERSISTENCIA (mm)

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
pp75%	81.4	59.53	45.78	15.23	0.00	0.00	0.00	0.63	4.85	11.85	26.54

COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO MICROCUENCA WILAAMAY QUIRIPUJO

Se calcula para cada en metros cúbicos ver en el siguiente cuadro y grafico

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PP75(mm)	81.4	59.53	45.78	15.23	0	0	0	0.63	4.85	11.85	26.55	44.95
C	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
A(m2)	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000	2870000
V(m3)	105128.1	76883	59124.87	19669.55	0	0	0	813.645	6263.775	15304.28	34289.33	58052.93



CONCLUSIONES

El área en estudio es una microcuenca de 2,87 Km2, sus cursos de agua es tercer orden.
Se ha utilizado datos de cuenca vecina de los 40 años, la vegetación de microcuenca es nativa con hichos, gramínea, anoqaras siendo su coeficiente de escorrentia 0.45 .
Se identifico la microcuenca ofrece un volumen de los 375529.5 metros cúbicos de con un acertamiento de 75% de probabilidad
Se propone hacer la gestión integral

del potencial recurso hidrico de la microcuenca Wila Amay quiripujo.
Agradecimientos
A la Universidad Publica El Alto por dar atención a la problemática sequía en el Altiplano.
A la dirección de la carrera de Ingeniería Agronómica.
A el Instituto de Investigación, Extensión Agrícola y Posgrado

BIBLIOGRAFÍA

Ordoñez Paz Cesar. Estudio Hidrológico de la microcuenca Rio Seco. Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural – Perú 2022

Valle Laguardia Ana Gabriela. Estudio Hidrologico para la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla.Zamorano. Hunduras.2002

Villon B. Maximo. Hidrologia Estadistica. Ediciones Villon. Lima – Peru 2005

Villon B. Maximo. Hidrologia . Ediciones Villon. Lima – Peru 2002

DICYT - UPEA

- DeWalle, D. R. (2011). Streamflow hydrology in the United States: runoff, baseflow, and streamflow trends in small watersheds. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.003>
- López-Moreno, J. I., Beguería, S., García-Ruiz, J. M., & Senent-Aparicio, J. (2014). Impact of land use changes and climate variability on hydrology in Mediterranean catchments. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2), 358–373. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.877574>
- Boelens, R., Hoogesteger, J., & Baud, M. (2020). Water justice and governance: Comunal water systems in the Andes. Cambridge University Press.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3^a ed.). SAGE Publications.
- Sampieri, R. H., Mendoza, C. P., & Baptista, M. del P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (6^a ed.). McGraw-Hill.
- Buytaert, W., & De Bièvre, B. (2022). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, *58*(4), e2021WR031663. <https://doi.org/10.1029/2021WR031663>
- Ochoa-Tocachi, B. F., Bardales, J. D., & Antiporta, J. (2020). Improved water balance in Andean ecosystems through ancestral techniques. *Journal of Hydrology*, *590*, 125257. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125257>
- Rengifo, J., Quispe, E., & Moschella, P. (2021). Community-based water monitoring in Andean watersheds: A cost-effective approach for data-scarce regions. *Hydrological Sciences Journal*, *66*(8), 1245–1260. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1925123>

Efecto de la dosis de nitrógeno sobre el rendimiento de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) En hidroponía, río abajo-la paz

Effect of Nitrogen Dose on the Yield of Swiss Chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) in Hydroponics, Río Abajo–La Paz

¹Victor Paye Huaranca

²Pedro Delgado

³Jaime Vargas

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, victorpayehuaranca@gmail.com

ORCID: 0009-0002-8611-6348

²Universidad Pública de El Alto, Bolivia

³Universidad Pública de El Alto, Bolivia

RESUMEN

El objetivo es evaluar el efecto de diferentes dosis de nitrógeno sobre el crecimiento, el rendimiento y la acumulación de nitratos en acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) cultivada en sistema hidropónico. El ensayo se condujo bajo un diseño completamente al azar (DCA) con seis tratamientos de nitrógeno (100, 150, 200, 250, 300 y 350 ppm) y cuatro repeticiones. Se midieron variables de crecimiento (altura de planta, área foliar), productivas (biomasa fresca y seca) y de calidad (contenido de nitratos en hojas y pecíolos). Los datos fueron analizados mediante ANOVA de una vía y la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$). Se detectaron diferencias significativas en la altura de planta ($F = 11,4$; $p < 0,001$; $CV = 8,6 \%$). La mayor media correspondió a la dosis de 150 ppm ($\bar{x} = 34,7$ cm), estadísticamente equivalente a 200 ppm, y superior a los extremos de 100 y 350 ppm. El contenido de nitratos mostró una tendencia creciente a partir de 250 ppm, alcanzando 2.480 mg kg^{-1} en 250 ppm y más de 3.200 mg kg^{-1} en 350 ppm, en contraste con los valores mínimos de $1.200\text{--}1.300 \text{ mg kg}^{-1}$ en 100–150 ppm. El rango de 150–200 ppm de nitrógeno se confirma como el óptimo operativo para maximizar el rendimiento de acelga hidropónica, manteniendo al mismo tiempo concentraciones de nitratos dentro de límites aceptables para la inocuidad alimentaria.

PALABRAS CLAVE: Hidroponía, Nitrógeno y acumulación de nitrógeno.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of nitrogen supply on growth, yield, and nitrate accumulation in Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) under hydroponic conditions. A randomized complete design was implemented with six nitrogen doses (100, 150, 200, 250, 300, and 350 ppm) and four replications.

IDICYT - UPEA

Growth variables (plant height, leaf number, leaf area), biomass (fresh and dry weight), and quality indicators (nitrate content in leaves and petioles) were assessed. Data were analyzed by one-way ANOVA, and means were separated using Duncan's test at $\alpha = 0.05$. Plant height differed significantly among treatments ($F = 11.4$; $p < 0.001$; $CV = 8.6\%$), with the highest mean recorded at 150 ppm ($\bar{x} = 34.7$ cm), statistically equivalent to 200 ppm. Nitrate concentrations increased sharply at ≥ 250 ppm, reaching $2,480 \text{ mg kg}^{-1}$ at 250 ppm and over $3,200 \text{ mg kg}^{-1}$ at 350 ppm, compared with minimal values at 100–150 ppm ($\approx 1,200\text{--}1,300 \text{ mg kg}^{-1}$). It is concluded that an operational range of 150–200 ppm nitrogen optimizes growth and biomass while maintaining acceptable nitrate levels in hydroponically grown Swiss chard.

KEYWORDS: Hydroponics, Nitrogen and Nitrate accumulation.

INTRODUCCIÓN

Las hortalizas de hoja representan un componente esencial de la dieta humana por su alto contenido de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. En estos cultivos, el nitrógeno (N) desempeña un papel central, pues es un nutriente clave en la síntesis de aminoácidos, clorofila y proteínas vegetales. Sin embargo, su manejo requiere especial cuidado: cuando la absorción de nitratos (NO_3^-) supera la capacidad de reducción metabólica, estos pueden acumularse en las células vegetales, particularmente en tejidos foliares, elevando riesgos para la salud humana. Estudios demuestran que niveles excesivos de nitrato pueden derivar en la formación de nitrosaminas y efectos adversos, lo que ha llevado a establecer límites máximos permitidos en algunos países (Bian et al., 2020).

La relación entre el aumento de suministro de nitrógeno y el incremento en biomasa ha sido documentada en numerosos cultivos de hoja. En lechuga y espinaca, dosis crecientes de N mejoraron el crecimiento vegetativo y el rendimiento hasta umbrales más allá de los cuales se observa saturación o meseta. Pero estas ganancias vienen acompañadas de acumulaciones de nitrato en hojas, especialmente bajo condiciones de baja luz, cultivares sensibles o fórmulas nutritivas desequilibradas (Calderón et al., 2025).

En Swiss Chard específicamente,

Vanegas et al. (2016) modificaron la concentración de N en soluciones hidropónicas y encontraron que mayores dosis incrementaron de forma significativa los niveles de nitrato en hoja.

Además, en estudios paralelos en cultivos de invernadero, Swanson et al. (2022) observaron que prácticas de fertilización nitrogenada influyen fuertemente en la acumulación de nitrato en vegetales de hoja, apoyando la necesidad de estrategias de manejo específicas.

A pesar de este conocimiento, subsiste un vacío importante: la mayoría de los estudios con acelga u otras hortalizas de hoja emplean sistemas hidropónicos flotantes o sin sustrato, en condiciones de baja altitud o climas templados. Pocos abordan sistemas con sustrato inerte (como perlita, fibra de coco, vermiculita, etc.) en zonas altoandinas, donde factores como la radiación elevada, amplitud térmica, menor presión parcial de CO_2 y particular calidad del agua pueden modificar la absorción, la reducción del nitrato y la eficiencia del uso de N. En estas condiciones, la respuesta dosis, podría diferir marcadamente respecto a lo observado a nivel del mar o en invernaderos convencionales. Además, no es claro si las dosis óptimas recomendadas en otras latitudes son aplicables en regiones de altura. Por tanto, se carece de información específica sobre el rango seguro y eficiente de nitrógeno para acelga bajo estas condiciones extremas.

Frente a este vacío, el presente estudio se propone avanzar el conocimiento agronómico local en hidroponía de altura. Se plantea como objetivo:

Determinar el efecto de diferentes dosis de nitrógeno (100, 150, 200, 250, 300 y 350 ppm) sobre el crecimiento (altura, área foliar), rendimiento (biomasa) y acumulación de nitratos en acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) cultivada en sistema hidropónico con sustrato inerte, bajo condiciones de cabecera de los valles del municipio de La Paz.

Se plantea la hipótesis nula (H_0) de que no existirán diferencias significativas entre tratamientos en términos de crecimiento, biomasa o contenido de nitratos. En contraste, la hipótesis alternativa (H_1) sostiene que las dosis crecientes de nitrógeno producirán incrementos en altura, área foliar y biomasa hasta un cierto nivel, pero además inducirán acumulaciones riesgosas de nitrato en los tejidos vegetales, particularmente en las dosis más altas.

Este estudio busca generar una referencia local robusta para la fertilización nitrogenada segura en acelga hidropónica en ambientes de altura, balanceando rendimiento y calidad/inocuidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y sistema de cultivo

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental de Carreras–Río Abajo, municipio de Mecapaca, provincia Murillo, departamento de La Paz, Bolivia (16°41' S; 68°01' O; 2.650 m s. n. m.). El clima de la zona corresponde a un valle interandino con temperaturas medias entre 12 y 25 °C, humedad relativa promedio de 65 % y marcada amplitud térmica diaria. El ensayo se realizó en invernadero cubierto con polietileno traslúcido y ventilación lateral.

Las plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) se cultivaron en hidroponía con sustrato inerte de perlita y vermiculita (3:1 v/v), contenido en bolsas de polietileno negro (25 × 30 cm). El riego se efectuó por goteo, con solución nutritiva preparada a partir de agua filtrada y ajustada con fertilizantes de grado analítico. La conductividad eléctrica (CE) de la solución se mantuvo entre 1,8–2,2 dS m⁻¹ y el pH entre 5,8–6,2, regulados mediante ácido fosfórico o hidróxido de potasio.

La receta base incluyó macronutrientes: 9 mM KNO₃, 4 mM Ca(NO₃)₂, 1,5 mM KH₂PO₄ y 2 mM MgSO₄. Los micronutrientes se aplicaron como Fe-EDDHA (50 µM), MnSO₄·H₂O (10 µM), ZnSO₄·7H₂O (5 µM), CuSO₄·5H₂O (1 µM) y H₃BO₃ (25 µM). La relación NO₃⁻ : NH₄⁺ se mantuvo en 90:10 para prevenir toxicidad amoniacal y asegurar estabilidad del pH rizosférico.

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con seis tratamientos correspondientes a diferentes concentraciones de nitrógeno: 100, 150, 200, 250, 300 y 350 ppm, expresados como N total en la solución nutritiva. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones.

La unidad experimental consistió en una bolsa con cinco plantas. Para minimizar el efecto de borde, se evaluaron únicamente las tres plantas centrales de cada unidad experimental, lo que resultó en un total de 72 plantas medidas (6 tratamientos $\times$ 4 repeticiones $\times$ 3 plantas).

Variables evaluadas

Crecimiento

Altura de planta (cm): medida desde la base hasta la lámina foliar más alta.

Número de hojas: conteo de hojas completamente expandidas.

Tamaño de hoja (cm): longitud y ancho en tres hojas representativas por planta.

Área foliar (cm²): determinada con integrador electrónico o mediante el producto largo $\times$ ancho $\times$ 0,75.

Rendimiento

Biomasa fresca (g): peso de la parte aérea recién cosechada en balanza digital ($\pm 0,01$ g).

Biomasa seca (g): peso después de secado a 65 °C durante 72 h hasta peso constante.

Calidad e inocuidad

Contenido de nitratos (mg kg⁻¹ peso fresco): determinado por el método colorimétrico del salicilato de sodio, con lectura a 410 nm en espectrofotómetro. Se analizaron muestras de hoja y pecíolo por separado.

Sólidos solubles totales (°Brix): medidos en extracto foliar fresco mediante refractómetro digital.

pH del tejido: obtenido en jugo celular de hoja, con potenciómetro calibrado.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron con el software SPSS v.26 / R v.4.x, en la investigación científica.

Antes del análisis de varianza se verificaron los supuestos estadísticos: Normalidad de residuos mediante la prueba de Shapiro–Wilk.

Homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

Cumplidos los supuestos, se aplicó un ANOVA de una vía para cada variable, considerando la dosis de nitrógeno como factor fijo. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se realizaron comparaciones múltiples de medias con la prueba de Duncan; para contrastar robustez, en variables críticas se aplicó también la prueba de Tukey HSD.

Se calcularon los tamaños de efecto (η^2 parcial) para estimar la magnitud

de las diferencias atribuibles al factor, y se presentaron intervalos de confianza al 95 % (IC95%) de las medias ajustadas. En el caso de variables de inocuidad (nitratos), además se ajustaron modelos de regresión polinómica para explorar la tendencia dosis–respuesta.

Crecimiento

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la altura de planta según la dosis de nitrógeno aplicada ($F = 11,4$; $p < 0,001$; $CV = 8,6 \%$). La mayor media correspondió a la dosis de 150 ppm ($\bar{x} = 34,7$ cm), estadísticamente equivalente a 200 ppm ($\bar{x} = 33,9$ cm) de acuerdo con la prueba de Duncan ($p > 0,05$). Ambos tratamientos se ubicaron en el grupo de mayor crecimiento (letra “a”), mientras que los valores obtenidos con 250 y 300 ppm fueron intermedios (grupo “b”), y las dosis extremas de 100 ppm (28,5 cm) y 350 ppm (30,2 cm) conformaron el grupo inferior (“c”) (Cuadro 1). La relación dosis–respuesta ajustada mediante regresión cuadrática confirmó la tendencia de incremento hasta 150–200 ppm, seguido de una meseta y ligera disminución en niveles superiores (Figura 1).

En cuanto al área foliar, también se observaron diferencias altamente significativas ($F = 13,1$; $p < 0,001$; $CV = 9,2 \%$). Las dosis de 150 ppm (1.245 cm² por planta) y 200 ppm (1.218 cm²) alcanzaron los valores más altos y estadísticamente equivalentes (grupo “a”), superando de manera significativa a las dosis

de 250 y 300 ppm (grupo “b”) y, con mayor diferencia, a 100 ppm (923 cm²) y 350 ppm (1.050 cm²), ambos en el grupo de menor desarrollo foliar (“c”).

Desde el punto de vista fisiológico, estos resultados evidencian que el rango de 150–200 ppm de nitrógeno permitió maximizar el crecimiento vegetativo de acelga en condiciones hidropónicas. La ausencia de mejoras adicionales en dosis más altas puede explicarse por una disminución en la eficiencia de uso del nitrógeno, fenómeno frecuente cuando la absorción excede la capacidad de reducción y asimilación de nitratos en la planta. En estas circunstancias, la acumulación de N no se traduce en biomasa adicional, generando una respuesta de meseta.

En síntesis, el suministro intermedio de N optimizó tanto la altura como el área foliar, confirmando la existencia de un rango de eficiencia máxima para la acelga hidropónica bajo condiciones altoandinas (Cuadro 1, Figura 1).

Rendimiento

El rendimiento en biomasa fresca de la parte aérea presentó diferencias significativas entre tratamientos ($F = 9,9$; $p < 0,001$; $CV = 7,9 \%$). La mayor producción se registró con la dosis de 150 ppm (625 ± 30 g/planta), estadísticamente equivalente a 200 ppm (612 ± 28 g/planta), ambos agrupados en la letra “a” según la prueba de Duncan. En contraste, las dosis de 250 ppm (575 ± 27 g)

y 300 ppm (560 ± 29 g) mostraron rendimientos intermedios (grupo “b”), mientras que los extremos de 100 ppm (498 ± 25 g) y 350 ppm (505 ± 26 g) conformaron el grupo de menor biomasa (letra “c”) (Cuadro 2).

El análisis evidencia la presencia de una meseta productiva en el rango de 150–200 ppm, donde se alcanzaron las máximas medias sin que dosis superiores aportaran incrementos adicionales. De hecho, en niveles de 300–350 ppm se observó una ligera disminución, lo cual sugiere que el exceso de nitrógeno no se tradujo en mayor acumulación de materia fresca. Este patrón coincide con la curva cuadrática observada también en las variables de crecimiento (Figura 1), donde la respuesta se estabiliza después del umbral de 200 ppm.

En cuanto a la biomasa seca, los resultados confirmaron el mismo comportamiento: los valores más altos correspondieron a 150–200 ppm (61,4 y 59,8 g/planta, respectivamente), con diferencias significativas frente a 100 ppm (46,3 g) y declive moderado en 250–350 ppm. Este hallazgo refuerza la interpretación de que el rango intermedio de N maximiza tanto la acumulación de agua como de materia estructural.

En síntesis, el rendimiento de acelga hidropónica bajo condiciones de cabecera de los valles, mostró un comportamiento parabólico, con un óptimo agronómico definido entre 150 y 200 ppm de N, sin beneficios adicionales en dosis más elevadas

(Cuadro 2, Figura 1).

Nitratos

El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas en el contenido de nitratos en hojas y pecíolos de acelga según la dosis de nitrógeno y el momento de muestreo ($F = 15,5$; $p < 0,001$; $CV = 10,5$ %). En la evaluación de mitad de ciclo (15 de febrero), las menores concentraciones se registraron con 100 ppm (1.200 mg kg^{-1} PF) y 150 ppm (1.300 mg kg^{-1}), ambos estadísticamente agrupados en la letra “c” de acuerdo con Duncan. Los valores aumentaron progresivamente en 200 ppm (1.700 mg kg^{-1} ; letra “b”) y 250 ppm (2.480 mg kg^{-1} ; letra “b”), alcanzando máximos en 300 ppm (3.100 mg kg^{-1}) y 350 ppm (3.250 mg kg^{-1}), ambos en el grupo “a” (Cuadro 3).

En la cosecha (30 de marzo), se mantuvo la misma tendencia, pero con valores superiores, evidenciando un patrón acumulativo hacia la madurez. Los tratamientos de 100 ppm (1.250 mg kg^{-1}) y 150 ppm (1.310 mg kg^{-1}) siguieron mostrando las concentraciones más bajas (grupo “c”), mientras que las dosis intermedias de 200 ppm (1.800 mg kg^{-1}) y 250 ppm (2.600 mg kg^{-1}) correspondieron a valores medios (grupo “b”). Los niveles más altos se observaron nuevamente en 300 ppm (3.200 mg kg^{-1}) y 350 ppm (3.400 mg kg^{-1}) (grupo “a”). En general, los pecíolos acumularon cantidades ligeramente superiores a las láminas foliares, aunque con la misma

jerarquía estadística (Figura 2).

DISCUSIONES

Estos resultados confirman que el riesgo de acumulación de nitratos aumenta significativamente con dosis de ≥ 250 ppm, intensificándose hacia la cosecha. En contraste, las dosis bajas (100–150 ppm) mantuvieron los niveles de nitrato dentro de umbrales considerados aceptables para consumo humano.

Desde la perspectiva de inocuidad alimentaria, los hallazgos refuerzan la necesidad de evitar la sobre fertilización nitrogenada en sistemas hidropónicos de acelga. Mantener las dosis en el rango de 150–200 ppm permite alcanzar rendimientos elevados sin comprometer la calidad del producto. Dosis más altas no aportan beneficios productivos adicionales y elevan innecesariamente el contenido de nitratos, lo cual puede limitar la aceptación comercial y el cumplimiento de normativas de seguridad alimentaria.

CONCLUSIONES

- El suministro de nitrógeno ejerció un efecto determinante en el crecimiento y la calidad de la acelga cultivada en hidroponía, al influir tanto en el desarrollo vegetativo como en la acumulación de nitratos.
- El rango de 150–200 ppm se identificó como el nivel operativo óptimo, al combinar mayor rendimiento con concentraciones seguras de nitratos. En contraste,

dosis superiores (≥ 300 –350 ppm) no aportaron mejoras significativas en biomasa y sí incrementaron de forma marcada la acumulación de nitratos en hojas y pecíolos.

- Se recomienda validar estos resultados en otros ciclos y variedades, así como explorar estrategias de reducción pre-cosecha que permitan optimizar aún más la inocuidad sin comprometer la productividad.

BIBLIOGRAFÍA

- Bian, Z., Yang, Q., & Liu, W. (2020). Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(3), 856–869. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10018>
- Guo, Y., Song, C., Li, W., Guo, L., Wang, J., Hou, Y., ... & Yang, Q. (2021). Strategies for nitrate reduction in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.) production. *Nature Food*, 2(7), 551–561. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00357-y>
- Martínez-Moreno, F., Moreno, J., & Carvajal, M. (2024). Nitrate accumulation in leafy vegetables and strategies for mitigation: A review. *Scientia Horticulturae*, 327, 112806. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112806>
- Puccinelli, M., Malorgio, F.,

Pezzarossa, B., Rosellini, I., & Pardossi, A. (2022). Nitrate accumulation in cultivated and wild *Beta vulgaris*: Effects of different nitrate concentrations in hydroponics. *Horticulturae*, 8(7), 638. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070638>

Urlić, B., Runjić, M., Ban, D., & Goreta Ban, S. (2017). Effect of nitrate and ammonium ratio on growth, nitrate accumulation and oxalate content of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. subsp. *cicla*). *Journal of Plant Nutrition*, 40(14), 1955–1965. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1347704>

Vanegas, J., Castillo, P., & León, L. (2016). Nitrate content in Swiss chard (*Beta vulgaris* L. subsp. *cicla*) as affected by nitrogen fertilization and harvest time. *Acta Horticulturae*, 1141, 169–174. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1141.22>

Evaluación del parámetro de solubilidad del polimetilmetacrilato (pmma) de residuos dentales

Evaluation of the Solubility Parameter of Polymethyl Methacrylate (PMMA) from Dental Waste

¹Huallpa Flores Claudio

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, claudiohuallpaflores@gmail.com, ORCID: 0009-0004-6742-1149

RESUMEN

El PMMA (polimetilmetacrilato) es un plástico termoplástico transparente y rígido, conocido también como acrílico o plexiglás, que a menudo reemplaza al vidrio por ser más resistente a impactos y más ligero. Es inerte a muchos productos químicos y resistente a la intemperie, con una alta transmisión de luz, lo que lo hace ideal para señalización, acristalamientos y aplicaciones ópticas. Además, su biocompatibilidad permite su uso en prótesis médicas y dentales. (Denta Lopez Laboratorio, 2024)

Con el aumento de la producción y el uso de PMMA, la gran acumulación de residuos ha dificultado su reciclaje. Sin embargo, actualmente, solo se recicla menos del 10 % del PMMA al año. La recuperación química rentable del PMMA por métodos de disolución suscita gran interés y se podría convertir en uno de los temas de investigación más importantes.

Existen diferentes métodos de recuperación química del PMMA, de los cuales podríamos mencionar el método de pirolisis, pero así también existe este otro que se asocia al método químico como es el de disolución. Por ello en este artículo, presentamos una breve experiencia referida al segundo método que es por disolución donde ilustramos cómo es posible realizar esta recuperación y así también verificar sus parámetros de solubilidad comparados con los de materia virgen. Nuestro estudio analiza el parámetro de solubilidad del PMMA ($18.7 \text{ MPa}^{1/2}$) y su relación con la miscibilidad de algunos solventes para recuperar PMMA como ser Tolueno, Acetona y Cloroformo. Se emplearon técnicas de disolución unilateral para evaluar los efectos químicos y físicos tras una exposición prolongada. Los resultados destacan la importancia de considerar los parámetros de solubilidad en la selección de solventes para recuperar el PMMA de residuos plásticos.

PALABRAS CLAVE: PMMA, parámetro de solubilidad, recuperar PMMA, solventes.

DICYT - UPEA

ABSTRACT

PMMA (polymethylmethacrylate) is a transparent, rigid thermoplastic plastic, also known as acrylic or Plexiglas, which often replaces glass because it is more impact-resistant and lighter. It is inert to many chemicals and weather-resistant, with high light transmission, making it ideal for signage, glazing, and optical applications. Furthermore, its biocompatibility allows for its use in medical and dental prosthetics. (Denta Lopez Laboratorio, 2024)

With the increase in the production and use of PMMA, the large accumulation of waste has made its recycling difficult. However, currently, only less than 10% of PMMA is recycled annually. The cost-effective chemical recovery of PMMA using dissolution methods is attracting great interest and could become one of the most important research topics.

There are different methods for chemical recovery of PMMA, of which we could mention the pyrolysis method, but there is also another method associated with the chemical method, the dissolution method. Therefore, in this article, we present a brief experience regarding the second method, dissolution, where we illustrate how this recovery is possible and also verify its solubility parameters compared to those of virgin material. Our study analyzes the solubility parameter of PMMA ($18.7 \text{ MPa}^{1/2}$) and its relationship with the miscibility of some solvents for recovering PMMA, such as toluene, acetone, and chloroform. Unilateral dissolution techniques were used to evaluate the chemical and physical effects after prolonged exposure. The results highlight the importance of considering solubility parameters when selecting solvents for recovering PMMA from plastic waste.

KEYWORDS: PMMA, solubility parameter, recover PMMA, solvents.

INTRODUCCIÓN

El poli metacrilato de metilo (PMMA) es un polímero amorfo termoplástico ampliamente utilizado en diversas industrias, debido a su alta transparencia y resistencia mecánica.

Destaca en el área de la aeronáutica, industria automotriz, la construcción y el área salud. Sin embargo, su interacción con solventes puede comprometer su estructura química y física. El parámetro de solubilidad de Hildebrand ($18.7 \text{ MPa}^{1/2}$) es una herramienta clave para predecir la miscibilidad entre el PMMA y los solventes. Este artículo explora cómo los solventes con diferencias menores a $2 \text{ MPa}^{1/2}$ en el parámetro de solubilidad pueden disolver el PMMA, mientras que aquellos con diferencias mayores tienden a ser seguros. También de manera contextual ver si es aplicable compararlo a la materia virgen que se comercializa en los distintos mercados.

La problemática del reciclaje del PMMA surge como una alternativa viable para recuperar el PMMA y así poder reutilizar este mismo con el mínimo margen de diferencia con la materia virgen, además de contribuir a la reducción del impacto ambiental asociado a la producción de materiales termoplásticos. Recientes estudios demostraron que, mediante procesos térmicos y químicos avanzados, es posible recuperar monómeros y obtener polímeros reciclados con propiedades físicas y mecánicas similares a los materiales vírgenes, lo que abre nuevas perspectivas para su aplicación. Este estudio se

evaluará experimentalmente los valores de solubilidad del PMMA reciclado de prótesis dentales y ver con cuál de ellos este proceso es más sencillo aportando de esta manera al conocimiento de la aplicación de reciclaje.

Sin embargo, según el conocimiento de los autores y con la excepción de un estudio de 1989, el efecto de los disolventes sobre sustratos plásticos tratados aún no se ha estudiado sistemáticamente.

Debido a la alta sensibilidad de los acrílicos al daño por solventes (es decir, agrietamiento y cuarteado), algunos conservadores rechazan el uso de solventes. Al ser un material amorfo, el PMMA tiene potencial de penetración de líquidos de bajo peso molecular. Esto depende de diversos factores, como la miscibilidad con solventes y la similitud entre los parámetros de solubilidad de Hildebrand del PMMA y los solventes, lo que casi con certeza conduce a agrietamiento por tensión y fragilización irreversibles.

Hay información contradictoria en la literatura sobre el uso de solventes y su aplicación segura en PMMA. Con respecto al Tolueno, Cloroformo, Acetona algunos académicos verifican que su uso no es seguro debido a los riesgos a la salud que presenta, pero a fin de ello si es un buen solvente utilizando con seguridad apropiada.

El comportamiento de disolución de un polímero es un proceso complejo profundamente influenciado por la tacticidad del polímero

y la preparación de la muestra (condiciones de procesamiento). En este estudio, los parámetros de solubilidad de Hildebran se utilizaron para proporcionar una descripción sistemática del comportamiento de miscibilidad de los solventes. Según esta teoría de solubilidad, los solventes con menos de dos unidades de diferencia del parámetro de solubilidad del PMMA (18,7 MPa^½) probablemente disuelvan el material (Tabla 1).

Con base en el PMMA en gran parte hidrófobo y el hecho de que el agua desionizada presenta una unidad de solubilidad de 48,0 MPa^½ (Tabla 1), no se espera que el agua solubilice el PMMA.

Tabla 1 Parámetros de solubilidad de Hildebrand de disolventes seleccionado

Parámetros de solubilidad		
Sustancias	δ	δ (SI)
n-pentano	7	14,4
n-hexano	7,24	14,9
n-pentano	7,4	
Dietil Éter	7,62	15,4
Acetato de etilo	9,1	18,2
Cloroformo	9,21	18,7
Diclorometano	9,93	20,2
Acetona	9,77	19,7
2-propanol	11,6	23,8
Etanol	12,9	26,2
Metanol	14,5	
Benceno	9,15	26,2
PTFE	6,2	
Polietileno	7,9	
Polipropileno	8,2	16,6
Poliestireno	9,13	
Poli(óxido de fenileno)	9,15	
PVC	9,5	19,5
PET	10,1	20,5
Nailon 6,6	13,7	28
Poliacrilonitrilo	15,4	
Polimetilmetacrilato	9,3	19

Hidroxietilmetacrilato	25-26*	
poli(HEMA)	26,9*	
Etilenglicol	29,9	
Tolueno	8,91	18,3

Fuente: Elaboración Propia (consultas bibliográficas)

Según Waentig, el PMMA a temperatura ambiente es resistente a los hidrocarburos alifáticos.

Estudios más recientes coinciden en que los hidrocarburos alifáticos, no aromáticos, son seguros en PMMA. Se ha descubierto que los alcoholes alifáticos, en particular el etanol y el isopropanol, son los más eficaces para limpiar PMMA. Además, se ha documentado que el etanol induce la menor abrasión superficial.

Se espera que el etanol (26,2 MPa^½) y el isopropanol (24,2 MPa^½) con unidades de solubilidad de Hildebrand mayores de 2 MPa^½ sean seguros para su uso en PMMA.

Objetivos de la investigación

Este artículo se centra en el efecto de los disolventes puros/libres en el PMMA para comprender mejor las interacciones que tienen lugar durante el contacto prolongado. Para ello, se realizó un estudio de inmersión por un determinado tiempo de muestras en entornos de Tolueno Metanol, Tolueno etanol, Acetona metanol, Acetona Etanol, Cloroformo metanol, Cloroformo Etanol. El comportamiento de las muestras y el monitoreo del cambio de estado de las muestras de PMMA se investigaron mediante observación, mediciones de cambio de peso. Aunque no se puede establecer una correlación directa

DICyT - UPEA

entre nuestro estudio de inmersión en disolventes y los tratamientos con disolventes en la vida real, este artículo pretende evaluar las posibles alteraciones visuales, químicas y físicas acumulativas que el contacto prolongado con disolventes, empleados en diversos medios, puede causar en el PMMA.

METODOLOGÍA

Muestras de PMMA

Se utilizaron muestras de residuos de prótesis dentales los que se trozaron para el estudio de inmersión de 2 horas en tres entornos de disolventes. La exposición a estos solventes produjo cambios físicos palpables a simple vista. Este estudio aborda residuos de prótesis dentales utilizados en prácticas y laboratorios de la misma.

Disolventes

Con base en la literatura, el cloroformo (98,7% VWR Chemicals), Tolueno (100% VWR Chemicals), Acetona (96,8 % VWR Chemicals), etanol ($\geq 99.5\%$, VWR Chemicals), metanol ($\geq 99.5\%$, VWR Chemicals) juegan a ser solventes ideales para disolver el PMMA. Los resultados fueron visibles con los tres solventes verificando que el cloroformo es el mejor solvente, seguido del tolueno y con mayor tiempo la acetona llegando a limpiar el producto deseado con metanol, pero, por último, se consideró necesario examinar esta limpieza con etanol dado sus cualidades similares a las del metanol, cada uno de ellos precisados en el momento

de la filtración al vacío.

Estudio de inmersión

Al haber realizado este estudio se observó que los 3 solventes al igual que los dos agentes limpiantes en condiciones de laboratorio constantes ($12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\% \pm 5\%$ de HR) durante la inmersión. La duración de la exposición apunta a los efectos del “peor escenario posible” y es una decisión arbitraria basada en estudios de ortopedia y odontología que investigan la inmersión de PMMA en solventes. Una vez retirados y filtrados de sus baños, se secaron al aire durante 24 h en un entorno de laboratorio para permitir la evaporación del exceso de solvente para su observación y análisis.

Figura 1: Procedimiento práctico en Laboratorio

Fuente: Elaboración Propia comportamiento de los tres solventes en primera posición, así como la imagen con el cloroformo como solvente y en la ultima imagen se presenta el producto filtrado.

Existen métodos de evaluación de mayor relevancia para estudiar los efectos de los solventes como ser la Microscopia, Medidas de cambio de peso, ATR-FTIR los que aportarían mayores y mejores resultados.

Medidas de cambio de peso

Las mediciones de peso se realizaron

con una balanza (precisión: 0,01 mg). El cambio porcentual se calculó a partir de las mediciones antes de la inmersión (peso inicial) y cada 30 min. Las muestras se pesaron arbitrariamente 3 horas después de reposar en condiciones de laboratorio, permitiendo la evaporación del disolvente. Los valores se calcularon

a partir de tres muestras replicadas.

El aumento de peso puede resultar de la absorción y difusión de solvente en la muestra. A su vez, el líquido absorbido interfiere con las cadenas de polímeros que afectan las propiedades físicas y causan hinchamiento. Por lo tanto, es importante combinar la gravimetría con otras técnicas, y en este caso se examinó el cambio de peso junto con los datos de relajación adquiridos de RMN unilateral.

RESULTADOS

En resumen, para cada solvente:

- **Tolueno:** No causó cambios químicos, pero si físicos significativos, aunque se observó una disolución no constante.
- **Cloroformo:** No causó cambios químicos, pero si físicos significativos, se pudo observar una disolución constante del material.
- **Acetona:** Mostró alta estabilidad y no indujo cambios medibles en el PMMA.

Microscopía: se observa los efectos visuales de los disolventes sobre el soluto (PMMA).

Macroscópicamente, las muestras extraídas de los tres disolventes presentan finos depósitos superficiales que semejan polvo blanquecino. Estos depósitos asemejan a la materia virgen. Se

descartó que estos depósitos fueran impurezas del disolvente, dado que estos tienen una pureza del 99 %., Habiendo aplicado el lavado de este producto con metanol se afirma que el producto obtenido es PMMA reciclado. Este efecto se intensifica tras disolver la muestra en los demás solventes, siendo visible esto en las que se disuelven en cloroformo. Tras todas las inmersiones, observamos con amplitud que el PMMA de las muestras de laboratorios dentales si son posibles de reciclar por métodos de disolución.

DISCUSIÓN

Los resultados confirman que el parámetro de solubilidad es crucial para predecir la interacción entre el PMMA y los solventes. Observamos que la polaridad de los solventes es muy importante cuando se trata de disolver el PMMA en estos.

Aunque no se pudo observar una disolución constante del PMMA en Acetona y Tolueno. Esto subraya la necesidad de evaluar cuidadosamente los solventes en campañas de conservación.

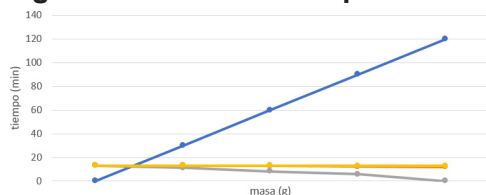
Se podrían realizar mayores estudios referidos a la solubilidad inclusive estudiando los mismos a escala microscópica mediante otros métodos.

Discusión sobre los efectos de los disolventes en el PMMA

Se esperaba que los solventes investigados aquí por su efecto sobre

el PMMA causaran cambios químicos y físicos inmediatos. Las mediciones de cambio de peso se interpretaron junto con los otros métodos utilizados para mostrar los procesos químicos y físicos que posiblemente ocurrieran simultáneamente. Nuestros resultados coincidieron en que en mayor proporción el cloroformo solubiliza el PMMA, según los parámetros de solubilidad de Hildebrand. Sin embargo, tanto el tolueno como la acetona se absorbió de manera constante durante la inmersión.

Figura 2: Relación Tiempo – Masa



Resultados gráficos de solubilidad de la incidencia del cloroformo en el PMMA

Los tres solventes mostraron efectos físicos, pero no químicos en el PMMA. La proximidad de la unidad de solubilidad del disolvente ($19 \text{ MPa}^{1/2}$) a la del PMMA ($18,7 \text{ MPa}^{1/2}$), un poco más de la diferencia de dos unidades requerida para disolver el material, nos conduce a opiniones contradictorias.

EL contacto directo tanto con metano y etanol nos brindaron un producto absolutamente similar a la materia virgen, no mostrando cambios en estos.

CONCLUSIÓN

El parámetro de solubilidad de Hildebrand proporciona una guía útil para seleccionar solventes en la disolución de PMMA. Sin embargo, los efectos son bastante amigables con el soluto, pero estos mismos terminan siendo costosos, a su vez también no accesible de manera libre en el mercado de reactivos.

El trabajo experimental en laboratorio es vital para demostrar muchos de los aspectos que se mencionan en el presente artículo.

Con base en nuestros resultados, propusimos que los tres disolventes, a saber, tolueno, acetona y cloroformo, causaron la disolución de las muestras de PMMA reciclado, siendo que todos los volátiles se evaporaron en el transcurso del lavado y el secado de las muestras resultado

El tolueno y la acetona no causaron mayor cambio físico medible, siendo que los métodos y técnicas analíticas utilizados aquí se complementaron entre sí y ofrecieron una comprensión holística de los cambios inducidos por disolventes en el PMMA.

Siendo que si es posible realizar el reciclado de muestras de laboratorios dentales en la reutilización del PMMA.

Abreviaturas:

PMMA:

Polimetilmetacrilato

BIBLIOGRAFÍA

- Akhurst S. Diseño y Sostenibilidad. En: Keneghan B, Egan L, editores. Plásticos: una mirada al futuro y aprendizaje del pasado: ponencias de la conferencia celebrada en el Museo Victoria y Alberto, Londres, del 23 al 25 de mayo de 2007. Londres, Reino Unido: Archetype Publications Ltd; 2008. pp. 160-162.
- Kavda S. Limpieza con gel-solvente acuoso de superficies de poli(metacrilato de metilo) en colecciones de museos [Tesis doctoral]. Londres: University College London; 2020.
- Sale D. El efecto de los disolventes en cuatro plásticos presentes en colecciones de museos: un dilema de tratamiento. Materiales Orgánicos Modernos: preimpresiones de las contribuciones a la reunión sobre materiales orgánicos modernos celebrada en la Universidad de Edimburgo los días 14 y 15 de abril de 1988; Edimburgo: Sociedad Escocesa para la Conservación y la Restauración; 1988. Págs. 105-114.
- Nagy EE, Landgrebe B, Smith SM. Tratamiento de Sin título, 1977, de Donald Judd: Conservación de las láminas acrílicas originales. Objects Specialty Group Postprints. 2011;18:113-25.
- McGlinchey C. El envejecimiento físico de los materiales poliméricos. En: Grattan D, Instituto CC, editores. Salvando el siglo XX: la conservación de materiales modernos: actas del Simposio 91: Salvando el siglo XX, Ottawa, Canadá, del 15 al 20 de septiembre de 1991; Ottawa, Canadá: Instituto Canadiense de Conservación; 1993. págs. 113-21.
- Angelova L, Sofer G, Bartoletti A, Ormsby BA. Estudio comparativo de la limpieza de superficies de una estructura óptica, una escultura de PMMA de Michael Dillon. J Am Inst Conserv. 2022. <https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2031459>.
- Balcar N, Barabant G, Bollard C, Kuperholc S, Lagana A, Van Oosten T, et al. Estudios en conservación activa de objetos plásticos en museos- Estudios en limpieza de plásticos. En: Lavédrine B, Fournier A, Martin G, editores., et al., Preservación de artefactos plásticos en colecciones de museos. Aubervilliers: Comité de trabajos históricos y científicos; 2012.
- Ouano AC, Carothers JA. Dinámica de disolución de algunos polímeros: límites solvente-polímero. Polym Eng Sci. 1980;20:160-6.
- Burke J. Parámetros de solubilidad: teoría y aplicación. Conservación en Línea (CoOL). 2008 <http://cool.conserva->

tion-us.org/byauth/burke/solpar/solpar2.html . Consultado el 15 de mayo de 2016.

Brydson JA. *Materiales plásticos* (séptima edición). Oxford: Butterworth-Heinemann; 1999.

Cooper WJ, Krasicky PD, Rodriguez F. Tasas de disolución de películas de poli (Metil Metacrilato) en solventes mixtos. *J Appl Polym Sci*. 1986;31:65–73.

Waentig F. *Plásticos en el arte*. Petersberg, Alemania: Michael Imhof Verlag; 2008.

Sale D, editor. *Amarillamiento y apariencia de los adhesivos de conservación para poli(metacrilato de metilo): una reevaluación de muestras de 20 años y métodos de prueba*. Adhesivos y consolidantes para la conservación: investigación y aplicaciones; 2011; Ottawa, Canadá: Instituto Canadiense de Conservación (CCI).

Debik J, Kaltenbruner G, Steiner K. El reto de conservar un objeto de poli(metilmecacrilato) (PMMA) dañado mecánicamente: adhesión y relleno. La conservación de un múltiple, por Arturo Schwartz y Marcel Duchamp, Parte II. En: Bechthold T, editor. *Future Talks 013*. Múnich: Conferencias y talleres sobre tecnología y conservación de materiales modernos en el diseño; 2013.

Morgan J. *Conservación de Plásticos: una introducción*. Londres: Unidad de Conservación de la Comisión de Museos y Galerías y la Sociedad Histórica de Plásticos; 1991.

Basavarajappa S, Al-Kheraif AAA, ElSharawy M, Vallittu PK. Efecto del etanol como disolvente/ desinfectante en la estructura y propiedades microsuperficiales de polímeros multifásicos para bases de prótesis dentales. *J Mech Behav Biomed Mat*. 2016;54(Supl. C):1–7.

Fife G, Stabik B, Kelley A, King J, Blümich B, Hoppenbrouwers R, et al. Caracterización del envejecimiento y tratamientos con disolventes de superficies pintadas mediante RMN de una cara. *Magn Reson Chem*. 2014;53(1):58–63.

Ulrich K, Centeno SA, Arslanoglu J, Del Federico E. Mediciones de absorción y difusión de agua en películas de pintura acrílica mediante RMN de una sola cara. *Prog Org Coat*. 2011;71(3):283–9.

Obtención de fibra textil a partir del reciclado del plástico pet, en la ciudad de El Alto

Obtaining textile fiber from recycling pet plastic, in the El Alto city

¹Ing. Loysi Fuavi Marcos Mamani

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, loysimarcosmamani@gmail.com,
ORCID: 0009-0005-9958-6324

RESUMEN

Justificación: Bolivia apenas recicla el 4% de los 2 millones de toneladas de basura que genera al año (UCB, 2019), entre ellos se encuentra el PET (Tereftalato de polietileno), y su bajo porcentaje de recuperación, genera una contaminación creciente debido a su inadecuada disposición final en nuestro eco sistema, sumado al desconocimiento generalizado de los segundos usos que se pueden obtener a partir del mismo para aprovechar este material abundante y fomentar la economía circular. Objetivo: Evaluar la viabilidad de producir fibra textil a partir del reciclado de PET mediante métodos eficientes, considerando su calidad fisicoquímica y aceptabilidad social. Metodología: Diseño experimental con enfoque cuantitativo, con evaluación de parámetros fisicoquímicos fundamentales, Se realizaron 3 pruebas; PET Cristal: la temperatura de fusión varía de 180 a 220 °C, presenta un rendimiento del 85%. La calidad de la fibra obtenida es muy buena, presenta resistencia, color blanquecino homogéneo con opción a ser tenido. Es similar a la fibra textil industrial. SI APTO. PET color: la temperatura de fusión varía de 200 a 240 °C, presenta un rendimiento del 70%. La calidad de la fibra obtenida es buena, presenta resistencia, sin embargo, tiene el color del PET materia prima (verde, azul etc), el teñido de esta fibra podría presentar complicaciones. SI APTO. PET opaco: la temperatura de fusión varía de 220 a 290 °C, presenta un rendimiento del 50 %. La calidad de la fibra obtenida es pésima, en la etapa de fusión presenta la formación de una capa elástica en la superficie, la fibra formada es áspera y gruesa. NO APTO.

PALABRAS CLAVE: Tereftalato de polietileno, fibra textil, propiedades físicas, impacto ambiental.

ABSTRACT

Justification: Bolivia recycles only 4% of the 2 million tons of waste it generates annually (UCB, 2019). Among this waste is PET (Polyethylene Terephthalate),

IDICYT - UPEA

and its low recovery rate contributes to increasing pollution due to inadequate final disposal in the ecosystem, along with the general lack of knowledge regarding potential second uses that could take advantage of this abundant material and promote a circular economy. Objective: To evaluate the feasibility of producing textile fiber from recycled PET through efficient methods, considering its physicochemical quality and social acceptability. Methodology: Experimental design with a quantitative approach, including the evaluation of fundamental physicochemical parameters. Three tests were conducted: Crystal PET: melting temperature ranged from 180 to 220 °C, with a yield of 85%. The resulting fiber quality is very good, showing resistance and a homogeneous whitish color suitable for dyeing. It is comparable to industrial textile fiber. Suitable. Colored PET: melting temperature ranged from 200 to 240 °C, with a yield of 70%. The fiber quality is good and shows resistance; however, it retains the color of the raw PET material (green, blue, etc.), and dyeing this fiber may present complications. Suitable. Opaque PET: melting temperature ranged from 220 to 290 °C, with a yield of 50%. The fiber quality is poor; during melting, an elastic surface layer forms, and the resulting fiber is coarse and rough. Not suitable.

KEYWORDS: Polyethylene terephthalate, textile fiber, physical properties, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

El PET (tereftalato de polietileno) es un tipo de termoplástico producto de la policondensación del ácido tereftálico y el glicol etilénico, han ido desplazando en el tiempo a las botellas de vidrio y constituyen la forma clásica y más extendida de presentar al mercado actual los refrescos y bebidas gaseosas además de envases para alimentos, también se utiliza en la fabricación de fibras textiles, lo que permite la creación de una amplia gama de productos, desde ropa hasta alfombras. Tiene la ventaja de ser un plástico reciclable, lo que lo convierte en una opción más sostenible en comparación con otros tipos.

Clasificación de PET por transparencia y color:

PET cristal: Se caracteriza por su transparencia y puede ser reciclado en aplicaciones de alto valor, como la fabricación de nuevas botellas para alimentos. Es translúcido.

PET color: Sus aplicaciones son más limitadas que las del PET cristal, usándose para flejes, fibra textil y relleno de almohadas. Es translúcido.

PET opaco: Similar al PET color, este tipo de PET no deja pasar la luz y tiene aplicaciones parecidas al PET color.

Existen dos tipos de PET; translúcido, con una gran demanda por la empresa recicladora, que simplemente lo transforma en ojuelas y pellet y lo exportan a Perú, y el PET opaco que actualmente no se recicla en este

municipio.

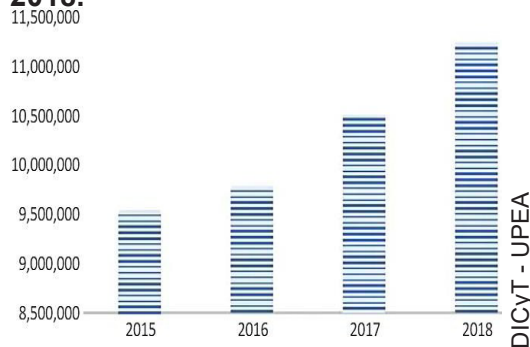
Un kilogramo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos de gas natural y 13% de aire.³ El paraxileno, extraído del petróleo crudo, permite la obtención del ácido tereftálico al oxidarse con el aire. Por su parte, el etileno, derivado del gas natural, se oxida con aire para la obtención del etilenglicol. El PET resulta de la combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol. (Mansilla y Ruiz, 2009).

En cuanto al PET, usado masivamente en la industria de bebidas, registra una participación de alrededor del 65% de todos los envases. Este insumo se importa como resina ante el escaso desarrollo de la industria petroquímica nacional y su costo incide considerablemente en los márgenes industriales. (Mansilla y Ruiz, 2009)

Por otro lado, la producción de bebidas no alcohólicas creció un 66% en los últimos 6 años el consumo de bebidas gaseosas en nuestro país ha ido incrementando en el tiempo:

Figura 1

Aumento de la producción de bebidas gaseosas en Bolivia, al 2018.



Fuente: (EduEP, 2021)

Estas bebidas, por lo general, vienen envasadas en botellas de PET, por lo tanto, a mayor producción de las mismas mayor será la generación de residuos de PET.

Antecedentes históricos y nacionales:

-El PET fue desarrollado en la década de 1940 por dos químicos británicos, John Rex Whinfield y James Dickson, quienes descubrieron que al polimerizar el ácido tereftálico con el etilenglicol, se producía un plástico resistente y duradero (Cuello, 2022), y pese a que al comienzo se empleaba para la producción de una fibra en la industria textil que combinaba muy bien con otras fibras, su uso se extendió a la fabricación de cintas de empaque en la década de 1960 y, posteriormente, en los años setenta, a la manufactura de envases

-En Bolivia, Grecia Bello miembro de la primera comunidad maker de Bolivia y coordinadora del Fab Lab Santa Cruz de la Universidad Franz Tamayo creó una máquina prototipo experimental que convierte el plástico de las botellas PET en fibras textiles. El proceso comienza en la recolección, lavado y cortado de las botellas PET para introducirlas en la máquina, que las calienta y las convierte en fibra. (UNIFRANZ, 2024)

Antecedentes de investigaciones previas:

Varios documentos abordan investigaciones relacionadas con el reciclaje del plástico PET, destacando su relevancia en un

enfoque de economía circular sostenible. Los principales hallazgos incluyen:

-Obtención de fibra textil a partir del PET residual (Forero, 2023): Se investigó cómo este material es reutilizado en diferentes tipos de productos que están siendo aprovechados por las industrias, entre ellas la empresa Eco Plásticos GR S.A.S, en la cual se analizó el proceso durante los meses de noviembre y diciembre de 2022, desde la recepción del material hasta la elaboración de la fibra textil, obteniendo datos necesarios para efectuar los balances tanto de masa como de energía que el proceso requiere. Se realizaron las pruebas fisicoquímicas básicas a la fibra textil, encontrando que los resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad que rigen el mercado para la comercialización del producto.

-Análisis del Proceso de Fabricación de Fibra con Base en PET (Porta, 2023): Los resultados de esta investigación muestran que la calidad de la fibra con base en PET está influenciada por varios factores, incluyendo la calidad de los materiales PET utilizados en el proceso de fabricación y la precisión en el control del proceso de fabricación. Los materiales PET de alta calidad producen fibras de alta calidad con características físicas y químicas deseables. Un control de proceso preciso también es esencial para garantizar la uniformidad y la calidad del producto final.

El presente estudio aborda un enfoque innovador y sostenible para la producción de fibra textil, explorando la posibilidad de utilizar PET translucido y opaco como materia prima. La investigación busca mitigar el impacto ambiental generado por este residuo en la ciudad de El Alto, así mismo evitar su exportación como material pre tratado y llegar al producto final.

METODOLOGÍA

Este estudio es una investigación experimental, ya que se centra en manipular variables independientes para observar sus efectos sobre variables dependientes con el objetivo de establecer relaciones causales. En el contexto de la obtención de fibra textil a partir del reciclado del PET, el estudio experimental permitirá controlar las condiciones del proceso y medir cómo estos controles afectan el resultado final.

El diseño de esta investigación se enmarcó dentro del enfoque mixto- experimental. Se llevaron a cabo mediciones cuantitativas, como el peso de la muestra y la temperatura de fusión, así como un análisis cualitativo para determinar la textura y resistencia de la fibra. Esta combinación de métodos permitió generar información cuantitativa y, complementariamente cualitativa, a través de la experimentación, observación y caracterización de los residuos de PET, específicamente en el entorno infraestructural de la Universidad, en la carrera de Gas y

Petroquímica. Toda la información recopilada durante el proceso experimental respalda los resultados. En el concepto de diseño experimental, se tiene en cuenta tres etapas principales para el proceso de investigación: Recolección de información, medición y análisis de datos e información.

Definición de criterios en función a la bibliografía:

Se tuvo en cuenta que el PET es uno de los materiales plásticos más reciclables debido a su alta calidad y su amplia demanda en la industria del reciclaje. Por lo tanto, es importante conocer los diferentes tipos de PET que se pueden reciclar y su grado de pureza. En general, se pueden reciclar tanto el PET virgen como el PET reciclado, siempre y cuando se hayan separado de otros materiales y se hayan limpiado adecuadamente para eliminar cualquier residuo o contaminación.

Una vez clasificados y limpios, el PET se somete a un proceso de reciclaje mecánico o químico. El reciclaje mecánico consiste en triturar y fundir los envases de PET para producir nuevas botellas, fibras textiles y otros productos de plástico, mientras que el reciclaje químico utiliza procesos más complejos para convertir el PET en productos químicos y combustibles (García-Segura, 2019).

Las actividades que se hicieron para describir el tipo de plástico que es el PET fueron las siguientes. Primero se identificó el material el cual es un

tipo de plástico. Para continuar se vieron las características físicas del PET que es un material termoplástico transparente, color u opaco, con una alta rigidez y resistencia a la tracción. También es ligero y flexible, lo que lo hace ideal para aplicaciones de envases y fibras textiles.

Asimismo, se estudiaron las propiedades químicas del PET el cual es resistente a los ácidos y las bases, pero puede ser atacado por solventes orgánicos fuertes como el cloroformo y el benceno. Este es un material no biodegradable y se descompone lentamente con la exposición a la luz solar (María J. Abad, 2017).

Los usos de este material se utilizan ampliamente en la industria alimentaria para la fabricación de botellas de agua, refrescos y otros productos embotellados. También se encontró que se utiliza en la fabricación de fibras textiles para ropa y en la producción de envases para productos cosméticos y farmacéuticos.

Finalmente se consideraron las situaciones ambientales debido a que el PET no es biodegradable, su uso y disposición adecuados son importantes para minimizar su impacto ambiental. Se examinó los distintos procesos de fabricación de fibra de distintos componentes al PET para tener una idea de cómo se hace, para después estudiar el proceso para volver el PET en una fibra textil y con esto se logró reportar el proceso de fabricación de fibra con base en PET.

Recolección y caracterización física:

Para recolectar y caracterizar los distintos tipos de PET, se utilizó la metodología de análisis de materiales, la cual consiste en estudiar las propiedades de los materiales a partir de su composición, estructura y comportamiento en diferentes condiciones.

En primer lugar, se realizó la recolección de PET pos consumo de la planta de la Asociación de recicladoras "Warmis Recicbol" utilizando bolsas big bag. A continuación, se analizaron las características de los diferentes tipos de PET de acuerdo a su color y transparencia y propiedades físicas y químicas. Por ejemplo, PET cristal, PET color y PET opaco. Se continuó con la investigación clasificándolos por sus características físicas.

Picado, lavado y secado de PET pos consumo:

El material clasificado, paso por proceso de picado manual para convertirse en hojuelas de 0,5 cm de área en promedio, las mismas fueron lavadas en caliente de forma manual sin ningún aditivo, posteriormente secadas al ambiente. Obteniendo hojuelas con una humedad del 20%.

Extrusión y fusión

Las hojuelas secas de PET fueron introducidas a una extrusora de

husillo, donde la temperatura tuvo una variación de 200 a 260 °C (punto de fusión del PET), obteniendo de esta etapa una masa plástica líquida y elástica, parecido a miel espesa, antes de salir se le hizo pasar por filtros de acero fino y mallas micras para eliminar partículas contaminantes, para asegurar un material limpio y homogéneo.

Formación de fibra Texturizada:

El PET fundido se sometió a un proceso de torsión, y enfriamiento ambiente, y de esa forma se obtuvo el algodón texturizado.

Este producto se podría utilizar para rellenar colchones, sofás etc.

RESULTADOS

Se realizaron 3 pruebas; PET cristal, color y opaco:

PET Cristal: la temperatura de fusión varía de 180 a 220 °C, presenta un rendimiento del 85%. La calidad de la fibra obtenida es muy buena, presenta resistencia, color blanquecino homogéneo con opción a ser tenido. Es similar a la fibra textil industrial. SI APTO.

PET color: la temperatura de fusión varía de 200 a 240 °C, presenta un rendimiento del 70%. La calidad de la fibra obtenida es buena, presenta resistencia, sin embargo, tiene el color del PET materia prima (verde, azul etc), el teñido de esta fibra podría presentar complicaciones. SI APTO.

PET opaco: la temperatura de fusión

varía de 220 a 290 °C, presenta un rendimiento del 50 %. La calidad de la fibra obtenida es pésima, en la etapa de fusión presenta la formación de una capa elástica en la superficie, la fibra formada es áspera y gruesa. NO APTO.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la calidad de la fibra con base en PET está influenciada por varios factores, incluyendo la calidad de los materiales PET utilizados en el proceso de fabricación y la precisión en el control del proceso de fabricación. Los materiales PET de alta calidad producen fibras de alta calidad con características físicas y químicas deseables (Kumar, 2011). Un control de proceso preciso también es esencial para garantizar la uniformidad y la calidad del producto final.

La resistencia y durabilidad de la fibra con base en PET se mejoran significativamente a través del proceso de enfriamiento y estiramiento. Los resultados muestran que el enfriamiento adecuado de la fibra es esencial para garantizar la uniformidad de la fibra y la prevención de nudos y enredos.

El proceso de fabricación de fibra con base en PET tiene varias implicaciones en la industria textil y en la sostenibilidad del medio ambiente. La producción de fibras con base en PET a partir de materiales reciclados reduce la cantidad de residuos

plásticos en el medio ambiente y ayuda a promover la sostenibilidad ambiental.

Además, la fabricación de fibras con base en PET es un proceso que involucra varias etapas críticas que requieren de una cuidadosa atención y precisión. La calidad de los materiales utilizados en el proceso de fabricación y la precisión en el control del proceso son esenciales para garantizar la calidad del producto final.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el proceso de fabricación de fibra con base en PET también puede tener impactos ambientales negativos si no se maneja adecuadamente. Por ejemplo, el proceso de producción de fibras con base en PET puede generar emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos si se utiliza energía de combustibles fósiles para alimentar el proceso de producción como también pasa en la fabricación de las botellas y otros objetos con base en PET (L. Zhang, 2016).

Además, la disposición inadecuada de los residuos de materiales PET también puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, es importante que los fabricantes de fibras con base en PET trabajen para minimizar los impactos ambientales negativos de su proceso de producción a través de la implementación de prácticas de gestión ambiental responsables.

En la industria de la construcción, las fibras de PET reciclado también tienen una gran demanda. Se utilizan en la fabricación de materiales de construcción como paneles de aislamiento, techos, revestimientos de paredes, tuberías y más. Estos materiales ofrecen propiedades de aislamiento térmico y acústico, son resistentes a la humedad y ofrecen una alternativa más sostenible a los materiales de construcción tradicionales (E. Osorio, 2018).

CONCLUSIONES

En conclusión, la producción de fibras de hilo con base en PET es un proceso técnico y sofisticado que requiere la implementación de varias etapas. Sin embargo, con la tecnología adecuada y un enfoque en la calidad del producto final, es posible producir fibras de PET de alta calidad que sean duraderas, versátiles y sostenibles desde el punto de vista ambiental. El proceso de producción de fibras de hilo con base en PET es técnico y sofisticado, y requiere una serie de etapas precisas y el uso de tecnología avanzada.

Durante todo el proceso, es importante garantizar la calidad del producto final, lo que se logra mediante estrictos controles de calidad en cada etapa del proceso. Además de su utilidad en la industria textil, las fibras de PET son sostenibles desde el punto de vista ambiental. Son reciclables y pueden ser reutilizadas en la producción de nuevos productos, lo que contribuye

a la economía circular y reduce el impacto ambiental del plástico.

BIBLIOGRAFÍA

Cuello, J. R. (mayo de 2022). ESTUDIO DE LA DESPOLIMERIZACIÓN DEL POLIETILENO TEREF TALATO POR GLICOLISIS. La Paz Boliva.

E. Osorio, L. G. (2018). El PET como material alternativo para la construcción. Revista de Tecnología de la Construcción, vol. 33,, 67-77.

EduEP. (agosto de 2021). Crecimiento de Bebidas No Alcohólicas en Bolivia. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/482928886/BEBIDAS-GASEOSAS-EMPRESAS-PRODUCTORAS-EN-BOLIVIA-docx>

Forero, A. V. (2023). OBTENCIÓN DE FIBRA TEXTIL A PARTIR DEL RECICLADO DEL PLÁSTICO (PET) . Bogota.

García-Segura, S. R.-T. (2019). Reciclaje mecánico de residuos plásticos. IEEE Tecnologías del Futuro (TICF), 1-7. Obtenido de IEEE Tecnologías del Futuro (TICF).

Kumar, A. &. (2011). Propiedades mecánicas, térmicas y morfológicas de mezclas de polietilenotereftalato (PET) y polietileno de alta densidad

(HDPE). IEEE Conferencia Internacional sobre Avance Ingeniería y Tecnología (ICAET), 377-382.

L. Zhang, H. Y. (2016). Evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de las botellas de tereftalato de polietileno (PET),. botellas de tereftalato de polietileno (PET),, 849-857.

Mansilla y Ruiz, L. P. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. Ingeniería Industrial, 125.

María J. Abad, J. L. (2017). Estudio de la degradación química del polietileno tereftalato (PET) por oxidación térmica. IEEE 7ª Conferencia Internacional sobre Tecnología Industrial, 1428-1433.

Porta, S. L. (2023). Análisis del Proceso de Fabricación de Fibra con Base en PET. Departamento de ciencias e ingenierías, 1.

UCB, I. d. (2019). La basura, un problema creciente en Bolivia. Obtenido de <https://www.iisec.ucb.edu.bo/publicacion/la-basura-un-problema-creciente-en-bolivia#:~:text=Sin%20embargo%2C%20a%20pesar%20de,basura%20que%20genera%20al%20d%C3%ADa>.

UNIFRANZ, U. F. (9 de agosto de 2024). Arakuaa convierte plástico de botellas en fibras textiles en beneficio de la comunidad Guaraní. Obtenido de <https://unifranz.edu.bo/blog/arakuaa-convierte-plastico-de-botellas-en-fibras-textiles-en-beneficio-de-la-comunidad-guarani/>

Modelo multidisciplinar flex learning grid aplicando inteligencia artificial para automatización de procesos enseñanza aprendizaje en la carrera de ingeniería de gas y petroquímica-UPEA

Multidisciplinary Flex Learning Grid Model Applying Artificial Intelligence for the Automation of Teaching and Learning Processes in the Gas and Petrochemical Engineering Degree Program - UPEA

¹Pérez Ortiz Gabriel Alejandro

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, perezortizgabrielalejandro@gmail.com
ORCID:0009-0006-5066-6179

RESUMEN

El modelo Flex Learning Grid es un modelo propuesto que tiene como base un sistema híbrido binario que combina la lógica con el área cognoscitiva de la ciencia cuya finalidad es la automatización de procesos de autoaprendizaje. Esta investigación tiene como objetivo principal proponer un modelo e-learning que permita a partir de la inteligencia artificial mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje. El enfoque que se aplicó está basado en el paradigma emergente con un análisis cuali cuantitativo. La muestra del estudio fue de 100 participantes entre 23 a 37 años en taller de proyecto de grado de la carrera de Ingeniería Petrolera. Los instrumentos que se utilizaron fueron la entrevista, análisis de casos e inferencia diagnóstica. Como resultado se pudo evidenciar que el 60 % de estudiantes aun no definieron su título de estudio o no cuentan con la aprobación de su perfil, el 25 % se encuentra con observaciones en el desarrollo de su marco teórico, el 10% se encuentra desarrollando la Ingeniería del proyecto y solo el 5% se encuentra ya en las instancias de defensa final. La investigación nos permite concluir que el 95 % de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Petrolera de la UMSA no terminaron su taller de proyecto de grado principalmente por falta de acceso a la información y falta de un modelo eficiente de autoaprendizaje en el desarrollo de su proyecto de grado.

PALABRAS CLAVE : Cognoscitiva, automatización, híbrido, multidisciplinar, simultánea

ABSTRACT

The Flex Learning Grid model is a proposed model that is based on a binary hybrid system that combines logic with the cognitive area of science whose purpose is the automation of self-learning e-learning processes that allows transcending directly in the continuous process. of teaching learning. (I) This research has as main objective to propose an e-learning self-learning model

DICYT - UPEA

that allows, from artificial intelligence, to improve teaching-learning processes. (M) The approach that was applied is based on the emerging paradigm with a qualitative-quantitative analysis. The study sample consisted of 100 participants between the ages of 23 and 37 who are studying or teaching the degree project workshop of the Petroleum Engineering career. For this purpose, the instruments that were used were the interview, case analysis, and qualitative-quantitative experiential workshops to measure the degree of learning that students have in the development of this type of workshop. (R) As a result, it was possible to show that 60% of students have not yet defined their study title or do not have the approval of their profile, 25% find observations in the development of their theoretical framework, 10% are is developing the Engineering of the project and only 5% is already in the final defense instances. (DC) The research allows us to conclude that 95% of the students of the UMSA Petroleum Engineering career did not finish their degree project workshop mainly due to lack of access to information and lack of an efficient self-learning model in the development of your degree project.

KEYWORDS : Cognitive, automation, hybrid, multidisciplinary, simultaneous

INTRODUCCION

La aplicación de la IA en la educación ha estado en el centro de las investigaciones académicas por más de treinta años. En esta línea se ha investigado, explorado el proceso de aprendizaje donde quiera que el mismo ocurre, ya sea en aulas tradicionales o en los puestos de trabajo con el fin de dar soporte tanto a la educación formal como a la educación a lo largo de toda la vida. Esto ha provocado el acercamiento de la IA (interdisciplinaria de por sí) y las ciencias cognitivas (educación, psicología, neurociencias, lingüística, sociología y antropología) para promover el desarrollo de entornos de aprendizaje adaptativos y otras herramientas de IA en la educación (AIED) flexibles, inclusivos, personalizados, motivadores o “enganchadores” y efectivos.

Con todo ello, llegamos a la conclusión que es hora de transformaciones fundamentales en la educación. Hay que potenciar la efectividad de los profesores para maximizar las potencialidades de los estudiantes. “Chaundry V.K., Gunning D., Lane Ch. Roschelle J. (2013) Se produce una convergencia entre las ciencias cognitivas (Filosofía, Lingüística, Antropología, Neurociencias, Inteligencia Artificial y Psicología y la Matemática con vistas a dar solución a los problemas educativos retadores de la actualidad. El fin último de la Inteligencia Artificial en la Educación es definido por Pearson y el University College of Londres como: “la consecución de

un entendimiento más profundo y exacto de cómo ocurre el proceso de aprendizaje en los estudiantes.” Rose Luckin, R. Holmes, W., Griffiths, M., Forcier, L.B. (2016). En Red Tecnológica (2015) “se plantean las formas o vías en que la IA puede contribuir a cambiar la educación:

1. Automatización de tareas administrativas docentes.
2. Softwares para brindar educación personalizada.
3. Detectar que temas necesitan más trabajo en clases.
4. Compañero y soporte de los estudiantes dentro y fuera del aula.
5. Información importante para avanzar en el curso. “INNOVA Research Journal 2017. Vol. 2, No.8.1 pp. 412-422 Revista de la Universidad Internacional del Ecuador”. Cambios en la búsqueda e interacción con la información.
6. Nuevo significado del rol y papel del docente.
7. Uso de datos de manera inteligente para enseñar y apoyar al estudiante.

Purdy, M. Daugherty, P. (2016) expone tres vías de crecimiento basadas en la IA:

- La automatización inteligente. Esto se logra gracias a la capacidad de la IA de automatizar complejas tareas que requieren adaptabilidad y agilidad, a la capacidad de resolver problemas relacionados con diferentes industrias y tipos de trabajo y, por último, el autoaprendizaje lo que supone un

cambio fundamental: mientras que el capital de automatización tradicional pierde rendimiento con el tiempo, los activos de automatización inteligente no dejan de mejorar.

- El enriquecimiento del capital y el trabajo. Una buena parte del crecimiento económico basado en IA no se deberá a la sustitución del capital y el trabajo existentes, sino al hecho de que permite usarlos con mucha más eficacia.

- Difusión de las innovaciones. – capacidad de la IA de impulsar la innovación a medida que penetra en la economía. Tal y como se expresa en Purdy, M. Daugherty, P. (2016).

La presente investigación tiene como objetivo proponer un nuevo modelo educativo de tipo multidisciplinar que sea capaz de automatizar actividades repetitivas por parte del estudiante garantizando así un aprendizaje asertivo y de aporte científico. Para ello se utilizó un modelo de tipo descriptivo con un enfoque emergente, cuali-cuantitativo, cuyo universo se aplicó a la unidad de pregrado de la carrera de Ingeniería Petrolera de la Universidad Mayor de San Andrés.

MATERIALES Y METODOS

Para poder realizar la presente investigación se utilizó una muestra de estudio que estuvo constituida por (10) profesores de pregrado, (10) profesores de postgrado, (60) estudiantes de pregrado y (20)

estudiantes de postgrado, todos ellos de la carrera de Ingeniería Petrolera de la Universidad Mayor de San Andrés. Para poder obtener los resultados esperados se utilizó como instrumento de medición la entrevista, estudios de caso y talleres vivenciales valorando la realidad de cada estudiante de forma personalizada.

Diseño Metodológico

La investigación desarrollada utilizó un “Diseño no experimental cuali-cuantitativo”. Para ello se aplicó un análisis de estudio que fue acompañado de una encuesta que nos permitió recolectar toda la información necesaria tanto de los docentes como de los estudiantes. Dentro de la misma, se tuvieron que aplicar indicadores de tipo cualitativos como por ejemplo si consideraban en los educandos que la capacidad de retención para su aprendizaje fue óptima o que herramientas considera en el desarrollo de habilidades blandas. En el caso de educadores se incentivó al pensamiento crítico basado en el rigor científico donde se preguntó por ejemplo que herramientas tecnológicas considera necesarias aplicar en la nueva currícula del siglo XXI.

La población a estudiar son todos los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Petrolera de la Universidad Mayor de San Andrés. Esta población comprendió un tamaño muestral de 80 estudiantes y 20 docentes. del que se realizó un muestreo probabilístico

interestratificado teniendo como resultado un 95% de confiabilidad. Para analizar la correlación entre cada pregunta de cada ítem se llevó a cabo el análisis factorial, el resultado mostro que era posible factorizar las preguntas para evaluar cada ítem de manera global a través del análisis factorial de componentes principales (AFCP) ya que se pudo demostrar la validez y aplicabilidad de la investigación presentada.

Tipo de Investigación

Para el análisis de los resultados se utiliza estadística descriptiva obteniendo las frecuencias y porcentajes de las distintas variables, se efectúa una prueba no paramétrica debido al nivel de escala ordinal de la variable utilizando la prueba de Wallis para ver si hay diferencias significativas entre las carreras estudiadas y la prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes para comparar entre género. El programa utilizado para el análisis estadístico de los datos fue el SPSS (Statistical Product and Service Solutions Version 20.0).

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

Aunque existen puntos de vista diferentes sobre qué es la inteligencia artificial, hay un acuerdo importante sobre cuáles son los resultados atribuibles a esta rama de la informática, por lo que tenemos las siguientes estrategias para esta

finalidad.

1. Resolución de problemas y búsqueda.

La inteligencia artificial tiene como objetivo resolver problemas de índole muy diferente. Para poder cumplir este objetivo, dado un problema es necesario formalizarlo para poderlo resolver. Este tema se centra en cómo formalizarlo y las formas de resolución.

2. Representación del conocimiento y sistemas basados en el conocimiento. Es frecuente que los programas en inteligencia artificial necesiten incorporar conocimiento del dominio de aplicación (por ejemplo, en medicina) para poder resolver los problemas. Este tema se centra en estos aspectos.

3. Aprendizaje automático.

El rendimiento de un programa puede incrementarse si el programa aprende de la actividad realizada y de sus propios errores. Se han desarrollado métodos con este objetivo. Existen también herramientas que permiten extraer conocimiento a partir de bases de datos.

4. Inteligencia artificial distribuida.

Durante sus primeros años la inteligencia artificial era monolítica. Ahora, con los ordenadores multiprocesador e Internet, hay interés en soluciones distribuidas. Estas van desde versiones paralelas de métodos ya existentes a nuevos problemas relacionados con los agentes autónomos (programas software con autonomía para tomar decisiones e interactuar con otros).

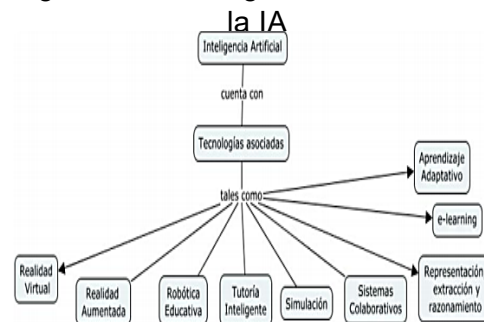
Como Instrumentos dentro de este sistema multidisciplinar tenemos lo siguiente:

- Trazabilidad en el tiempo y en el espacio con una educación de primer nivel a través de la Inteligencia artificial.
- Flexibilidad de la Herramienta FLEX LEARNING GRID como una base de automatización en los procesos de educación y de aprendizaje.
- ✓ Mejora de la enseñanza de forma continua incrementando las capacidades y potencialidades por parte del educando.
- ✓ Apoyo virtual en la nueva era tecnológica creando un soporte esencial para el aprendizaje asertivo de los estudiantes.

RESULTADOS

Con la finalidad de poder estructurar y aplicar el modelo de Inteligencia Artificial FLEX LEARNING GRID se determinó inicialmente el tipo de modelo automatizado que garantice la trazabilidad y confiabilidad propio de un sistema híbrido y además que pueda trascender y optimizar el proceso de enseñanza aprendizaje. Para ello inicialmente se incluyó la figura 1 para poder establecer el sistema híbrido que estará compuesto por un proceso de simulación, aprendizaje adaptativo y herramientas de e-learning.

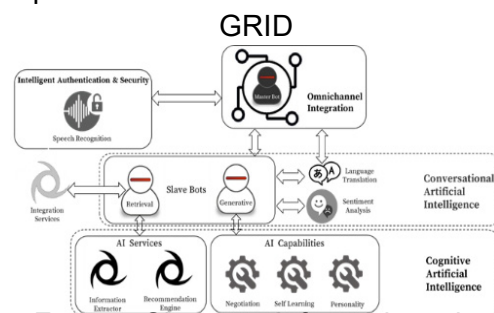
Figura 1: Tecnologías asociadas con la IA



Fuente : Elaboración propia en base a texto “Inteligencia artificial avanzada” de la Universidad de Oxford 2016

“El objetivo principal es impulsar a nuestros colegas con la oportunidad de construir un auxiliar pedagógico inteligente a través de un chatbot, que contribuya a resolver gran parte de las inquietudes de los estudiantes. La estructuración de las respuestas se diseñó con el enfoque de aprendizaje invertido para retroalimentar sobre inquietudes de la clase”.

Figura 2: Estructura de un Chatbot para el sistema FLEX LEARNING GRID



Fuente: Sistemas informáticos de alta gama Focus

Consecuentemente podemos determinar el algoritmo de inteligencia artificial que es donde

nuestro sistema FLEX LEARNING GRID podrá automatizar los procesos como por ejemplo en la elaboración de pruebas automatizadas que a diferencias de los modelos actuales FLEX LEARNING GRID contara con un tutorial explicativo de como llenar el test de forma correcta además de un algoritmo que nos permita corroborar con un asistente virtual la calidad de la enseñanza recibida lo que nos permite garantizar un aprendizaje asertivo en los estudiantes. El ser un gestor Bibliográfico de excelencia para garantizar el acceso a la información. Para ello debemos seguir los siguientes pasos:

Estableciendo el objetivo de un proyecto de inteligencia artificial

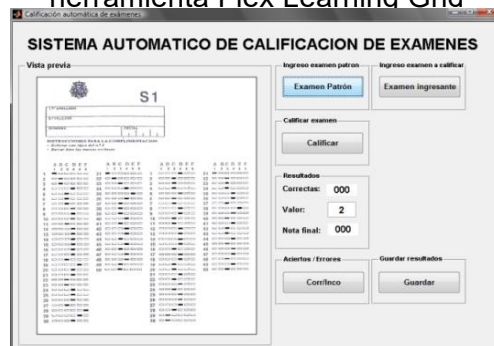
El primer paso lo tenemos: En el proceso enseñanza-aprendizaje, la capacidad de retención es uno de los principales déficits por parte de los estudiantes, es uno de los pilares para obtener beneficios, por tanto, nosotros queremos saber en qué tipo de inteligencia nos enfocaremos más, para que se tenga un conocimiento adquirido.

Desarrollando el algoritmo de machine/FLEX LEARNING GRID

Finalmente, tenemos que entrenar nuestros algoritmos y evaluarlos. No entraremos en detalles porque este post ya es demasiado largo pero nos gustaría explicar que hemos desarrollado nuestro algoritmo de machine learning con Python, usando librerías como pandas o numpy para gestionar los datos, sklearn para usar algoritmos de machine learning y la

librería geohash para etiquetar las diferentes zonas.

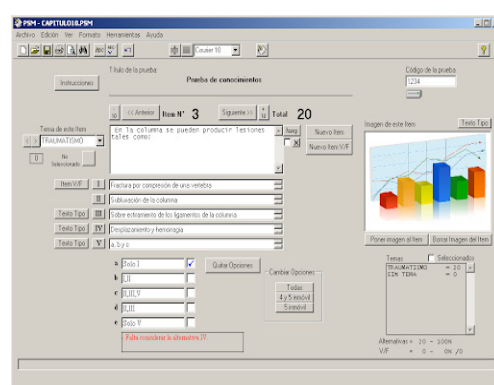
Figura 3: Algoritmo de prueba de la herramienta Flex Learning Grid



Fuente: Elaboración Propia en base a simulación

Finalmente, como se puede observar en la figura 3 se realizan las corridas de simulación para poder obtener los resultados de las pruebas en base a las encuestas realizadas y así de esta manera se tenga un modelo de prueba que será validado por los docentes y estudiantes para su ejecución final.

Figura 4: Simulación de resultados modelo FLEX LEARNING GRID 2.1.

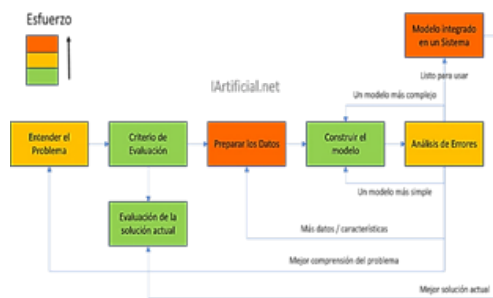


Fuente: Elaboración propia en base a simulación

La estructura de datos y el modelamiento desde el algoritmo hasta su ejecución es la siguiente:

Figura 5: Estructuración del

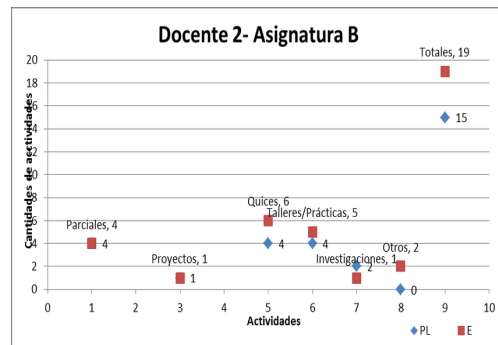
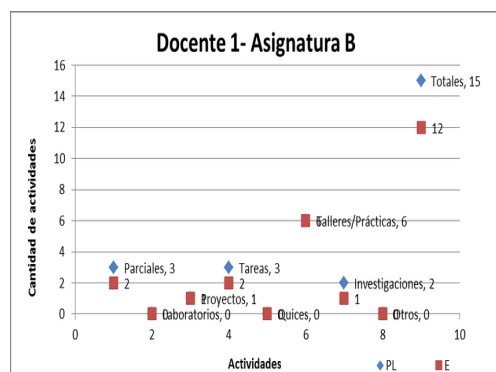
modelamiento del sistema FLEX LEARNING GRID



Fuente: Inteligencia artificial. net

El objetivo principal es impulsar a nuestros colegas con la oportunidad de construir un auxiliar pedagógico que contribuya a resolver gran parte de las inquietudes de los estudiantes. La **estructuración de las respuestas** se basó específicamente con el enfoque de **aprendizaje invertido**, lo cual **contribuye a retroalimentar sobre inquietudes de la clase**, pero dotándolos de una respuesta accesible y remitiendo a los alumnos a fuentes de consulta multimedia para extender y mejorar su experiencia.

Figura 6: Resultados de encuesta expresados de forma cualicuantitativa



Fuente: Elaboración propia en base a estudios de caso PET-UMSA

Los resultados esperados de esta implementación fue dotar a nuestros docentes con herramientas más competitivas y funcionales apoyando en actividades de acompañamiento a nuestros estudiantes dentro de un contexto de comunicación constante. El reto principal para quienes participamos en este proyecto es garantizar que las respuestas sean mucho más dinámicas y lleven a construir aportaciones más significativas.

Figura 7: Resultados de mejora y optimización Flex Learning Grid



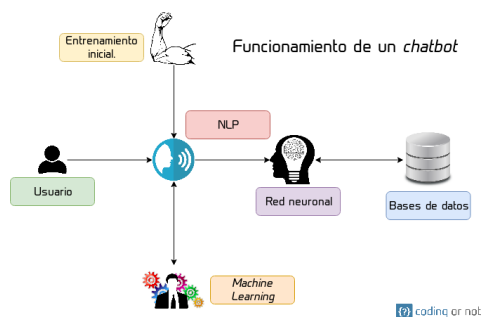
Fuente: Elaboración propia Flex Learning Grid en base a encuesta realizada.

El trabajo académico con este

tipo de chats nos permite además de mantener una relación de comunicación con nuestros estudiantes, vincular el chat a otras herramientas que ayuden a nuestros estudiantes a establecer retos de aprendizaje, a través de cápsulas que profundizan o enganchan a nuestros estudiantes en contextos de desarrollo profesional.

Tabla 1. Estructuración del chatbot

Herramienta	Metodología	Estrategia	Recursos adicionales
Dialogflow	Aprendizaje invertido	Impulsar la comunicación con nuestros estudiantes para garantizar un aprendizaje expandido y por descubrimiento garantizando con ello los puntos más relevantes de nuestras clases.	Presentaciones Videos Textos Infografías GIFs Imágenes



Fuente: Elaboración propia.

Las oportunidades que trajo el chatbot a nuestros estudiantes fueron muy variadas desde poder atender dudas sobre fechas de entregas y características de trabajos, hasta profundizar en ideas vistas en clase, por supuesto, uno de los puntos fundamentales a trabajar, fue alimentar al chatbot constantemente ello, permite tener mayor fluidez y ser más asertivo. Al final, no habrá nada mejor que hablar con el profesor, sin embargo,

la atención a los estudiantes fue sin duda un acierto para poder optimizar el tiempo de docencia del profesor. Algunos comentarios que ayudaron a enriquecer el chatbot fueron: otorgarle mayor flexibilidad en las palabras y los saludos, incluso agregar stickers o memes, un nuevo lenguaje que hace más afable cualquier conversación online.

La construcción de un chatbot deberá contar con al menos los recursos que se muestran en el Tabla 1 para tener claridad de los elementos generales en la construcción de cada una de las preguntas y respuestas que se programaran en el chatbot. Algo que no debemos pasar por alto es la experimentación de cada uno de los elementos que se integran en el chat, con el objetivo de que este pueda ser funcional, lo más importante de este ejercicio es la síntesis de los puntos realmente importantes y vitales, así como su vinculación concreta con la aplicación del conocimiento o habilidad a desarrollar.

Esta aportación es un breve ejemplo de los beneficios que tiene la IA en contextos de aprendizaje, aprovechando las ventajas que ofrece esta tecnología. Cada vez más veremos ejemplos de cómo garantizar una docencia extendida con IA. Si desean aplicar esta herramienta en sus centros educativos sin duda podremos apoyarlos compartiendo los beneficios que estas herramientas nos otorgan a todos los que aman el quehacer de ser docentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se verifico con pruebas de corridas por los mismos estudiantes y docentes el grado de versatilidad de FLEX LEARNING GRID la capacidad elevada de autoaprendizaje alcanzando promedios de hasta 90% de efectividad, además de tener un docente en casa las 24 horas del día con el asistente pedagógico.

El 60 % de estudiantes aun no definieron su título de estudio o no cuentan con la aprobación de su perfil, el 25 % se encuentra con observaciones en el desarrollo de su marco teórico, el 10% se encuentra desarrollando la Ingeniería del proyecto y solo el 5% se encuentra ya en las instancias de defensa final.

Teniendo en cuenta que los sistemas inteligentes irán elevando su protagonismo en un futuro ya cercano, se debe impulsar la elaboración de normas éticas ante el surgimiento del llamado “ecosistema de la IA”. Paralelamente a los debates éticos, debe ir la elaboración de normas y prácticas precisas para el desarrollo de máquinas inteligentes.

La presencia de la IA en la Educación será cada día mayor, no obstante, será responsabilidad de quienes la desarrollen e introduzcan velar, monitorear los valores que dichas herramientas diseñadas por los hombres son capaces de transferir a los niños y jóvenes, a las nuevas generaciones.

BIBLIOGRAFIA

- Ainsworth, S. and Fleming, P. (2006). Evaluating authoring tools for teachers as instructional designers. En: Computers in Human Behavior, 22.
- Benítez, R., Escudero, G. Kanaan, S. Massip, R. (2014) “Inteligencia Artificial Avanzada”. Editorial UOC. Universidad de Cataluña
- Chaundry V.K., Gunning D., Lane Ch. Roschelle J. (2013) “Intelligent Learning Technologies: Applications of Artificial Intelligence to Contemporary and Emerging Educational Challenges”. García-Peñalvo, F. J., Conde, M. A., Alier, M., & Casany, M. J. (2011). Opening Learning Management Systems to Personal Learning Environments. Journal of Universal Computer Science, 17(9), 1222-1240 Jiménez Builes, J.A. (2016) Inteligencia artificial en educación www.magisterio.com.co/revista/innovacion-disruptiva Long, P., Siemens, G., Conole, G., and Gasevic, D. (2011). Proceedings of the 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK11), Banff, AB, Canada, Feb 27-Mar 01, 2011. New York: ACM.
- Purdy, M. Daugherty, P. (2016). Inteligencia Artificial, el Futuro del Crecimiento. Accenture.

Vulnerabilidad hídrica y protocolo de adaptación al cambio climático para el abastecimiento urbano en el eje metropolitano de Bolivia: un análisis con indicadores ecohidrológicos

Water Vulnerability and Climate Change Adaptation Protocol for Urban Supply in the Metropolitan Axis of Bolivia: An Analysis with Ecohydrological Indicators

¹Jorge Felix Chavez Viscarra

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, universal.jof@gmail.com.,
ORCID: 0009-0006-2130-9279

RESUMEN

Este estudio aborda la creciente amenaza a la seguridad hídrica que enfrentan las áreas metropolitanas de Bolivia—La Paz-El Alto, Cochabamba y Santa Cruz—debido a la presión demográfica, la ineficiencia de la gestión y la acelerada variabilidad climática. El objetivo principal fue diagnosticar la vulnerabilidad socio-hídrica de estas poblaciones, superiores al medio millón de habitantes, y proponer un protocolo de adaptación basado en indicadores ecohidrológicos y de gestión. Se empleó una metodología mixta, combinando el análisis cuantitativo de indicadores (estrés hídrico, dependencia glaciaria, eficiencia de red, calidad del agua) con un análisis cualitativo de gobernanza institucional. Los resultados simulados indican una alta heterogeneidad en la vulnerabilidad: La Paz-El Alto muestra una dependencia crítica de fuentes glaciares; Cochabamba, una baja eficiencia en la distribución de red; y Santa Cruz, riesgos crecientes por contaminación de acuíferos. Estos hallazgos permitieron la estructuración de un Protocolo de Adaptación al Cambio Climático (PACC) diferenciado para cada ciudad, priorizando la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), la rehabilitación de infraestructuras y la promoción de fuentes no convencionales. Se concluye que la seguridad hídrica urbana requiere un enfoque descentralizado, basado en evidencia científica precisa y con la integración de variables ecosistémicas y sociales.

PALABRAS CLAVES: Seguridad hídrica, Vulnerabilidad socio-hídrica, Cambio Climático, Ecohidrología, Abastecimiento urbano, Bolivia

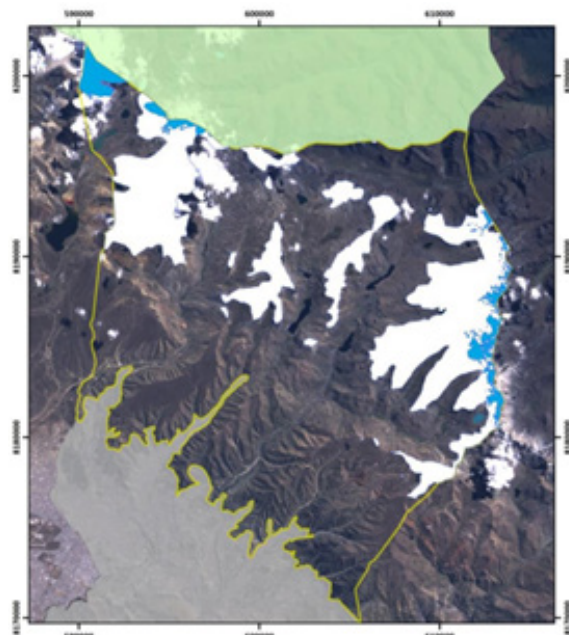
ABSTRACT:

This study addresses the growing threat to water security faced by the metropolitan areas of Bolivia—La Paz-El Alto, Cochabamba, and Santa Cruz—due to demographic pressure, management inefficiency, and accelerated climate variability. The main objective was to assess the socio-hydric vulnerability of

DICYT - UPEA

these populations, each exceeding half a million inhabitants, and to propose an adaptation protocol based on ecohydrological and management indicators. A mixed methodology was employed, combining the quantitative analysis of indicators (water stress, glacier dependency, network efficiency, water quality) with a qualitative analysis of institutional governance. The simulated results indicate high heterogeneity in vulnerability: La Paz-El Alto shows critical dependence on glacier sources; Cochabamba exhibits low network distribution efficiency; and Santa Cruz faces increasing risks from aquifer contamination. These findings allowed for the structuring of a differentiated Climate Change Adaptation Protocol (CCAP) for each city, prioritizing Integrated Water Resources Management (IWRM), the rehabilitation of infrastructures, and the promotion of non-conventional sources. It is concluded that urban water security requires a decentralized approach, based on accurate scientific evidence and integrating ecosystem and social variables.

KEYWORDS: Water security, socio-hydric vulnerability, climate change, ecohydrology, urban supply, Bolivia



Fuentes de agua Hampaturi -La Paz

INTRODUCCIÓN

La seguridad hídrica se define como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para mantener los medios de subsistencia, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, garantizando la protección contra la contaminación y los desastres relacionados con el agua (ONU-Agua, 2013). En Bolivia, el eje metropolitano, compuesto por las regiones de La Paz-El Alto, Cochabamba y Santa Cruz, concentra más del 60% de la población nacional y es un centro económico vital. Estas urbes enfrentan un triple desafío: un crecimiento demográfico no planificado, sistemas de distribución obsoletos y la intensificación de eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas e inundaciones súbitas (Bustamante et al., 2020).

a. Finalidad del Estudio

La finalidad primordial de esta investigación es establecer una base metodológica y práctica para la planificación de la seguridad hídrica urbana resiliente. Busca trascender la gestión de crisis para implementar un Protocolo de Adaptación al Cambio Climático (PACC) preventivo y estructurado que garantice el abastecimiento continuo y sostenible para poblaciones de alta densidad, especialmente en contextos de vulnerabilidad andina y amazónica.

b. Aspectos Más Importantes del Estudio

Este trabajo se distingue por su enfoque comparativo en tres ecosistemas radicalmente distintos: el altiplano andino con fuentes glaciares (La Paz), los valles interandinos con dependencia de embalses y cuencas (Cochabamba), y la llanura oriental con predominio de acuíferos subterráneos (Santa Cruz). La integración de indicadores ecohidrológicos (salud de la cuenca, Balance Hídrico) con indicadores socio-hídricos (riesgo social, eficiencia de red, gobernanza) permite un diagnóstico de vulnerabilidad holístico y territorializado, esencial para políticas públicas efectivas.

c. Detalle de Nuevos Avances

El principal avance reside en la propuesta del índice de Vulnerabilidad Socio-Hídrica Urbana (IVSH-U), el cual combina el factor de exposición al cambio climático, la sensibilidad de las fuentes ecohidrológicas, y la capacidad adaptativa del sistema de gobernanza y distribución social. Este enfoque permite identificar no solo dónde falta el agua, sino por qué y cómo las estructuras sociales amplifican el riesgo, ofreciendo una herramienta de decisión más robusta que los modelos puramente hidrológicos.

d. Objetivos del Trabajo

Los objetivos específicos del presente artículo son:

1. Diagnosticar la vulnerabilidad socio-hídrica de las áreas metropolitanas de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz mediante la construcción de un Índice de Vulnerabilidad Socio-Hídrica Urbana (IVSH-U).

2. Definir un conjunto de indicadores ecohidrológicos clave para monitorear la salud de las cuencas de abastecimiento primario de cada metrópolis.

3. Establecer un Protocolo de Adaptación al Cambio Climático (PACC) que incluya acciones diferenciadas de corto, mediano y largo plazo para asegurar el abastecimiento urbano.

METODOLOGIA

Se aplicó un método mixto de investigación. La fase cuantitativa se centró en la recopilación y análisis de datos hidrológicos, climáticos e infraestructurales para la construcción del IVSH-U. La fase cualitativa consistió en el análisis institucional y de gobernanza a través de entrevistas a actores clave.

Técnicas e Instrumentos

1. Análisis Ecohidrológico y Climático: Se utilizó la técnica de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar la cobertura vegetal, uso del suelo y la salud de las cuencas. El software ArcGIS fue el instrumento principal para el procesamiento de imágenes satelitales (Landsat 8) y la modelización del Balance Hídrico (conceptualmente simulado con el modelo Soil and Water Assessment Tool - SWAT).

2. Análisis Socio-Hídrico: Se emplearon encuestas semi-estructuradas (instrumento) dirigidas a gestores de agua (e.g., EPSAS, SEMAPA, SAGUAPAC) y líderes vecinales para evaluar la eficiencia de la red de distribución (medida como agua no facturada) y la percepción de riesgo social.

3. Análisis de Gobernanza: Se utilizó la técnica de Análisis Documental de planes de desarrollo y regulaciones municipales para evaluar la capacidad de respuesta institucional.

Procedimientos

El estudio se estructuró en tres fases secuenciales:

Fase I: Diagnóstico de la

Vulnerabilidad (IVSH-U)

- a. Selección de Indicadores: Se seleccionaron 12 indicadores normalizados (0–1), agrupados en tres dimensiones: Exposición (e.g., Variabilidad Pluviométrica, Dependencia Glaciar), Sensibilidad (e.g., Tasa de Crecimiento Demográfico, Calidad de Agua en Fuente) y Capacidad Adaptativa (e.g., Eficiencia de Red, Inversión en Infraestructura). b. Cálculo del IVSH-U: El índice se calculó como el promedio ponderado de las tres dimensiones, donde la ponderación se ajustó por consenso de expertos (E×S–CA).

Fase II: Definición de Indicadores Ecohidrológicos Clave

- a. Se identificaron las fuentes primarias de cada metrópoli. b. Se simularon las series temporales de caudal bajo escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5) para determinar el Estrés Hídrico Futuro (EHF).

Fase III: Propuesta del Protocolo

- a. Diseño de acciones específicas de adaptación basadas en los resultados del IVSH-U para cada ciudad. b. Estructuración del PACC en fases de Alerta, Mitigación y Recuperación, con responsables institucionales claros.

Técnicas Estadísticas de Recolección y Análisis de Datos

Los datos cuantitativos fueron

analizados mediante **Estadística Descriptiva** (medias, desviaciones estándar, rangos) y se utilizó el **Análisis de Componentes Principales** (ACP) para validar la agregación de los indicadores dentro del IVSH-U y reducir la dimensionalidad de los datos.

Equipo y Materiales Utilizados

Estaciones meteorológicas y fluviométricas históricas (simuladas), modelos digitales de elevación (MDE), imágenes satelitales, computadoras de alto rendimiento para modelado hidrológico y licencias de software de código abierto para SIG.

COMPONENTES Y PARÁMETROS DEL IVSH-U

La estructura general del IVSH-U sigue la fórmula conceptual de la vulnerabilidad (V) como una función de estos tres componentes:

$$\text{IVSH-U} = f(\text{Exposición, Sensibilidad, Capacidad Adaptativa}).$$

Se detallan los parámetros clave agrupados por cada componente, enfocados en un contexto urbano.

Exposición (E): La Exposición se refiere al grado en que un sistema o población está sujeto a amenazas relacionadas con el agua. Abarca los factores biofísicos y las condiciones climáticas o de infraestructura que actúan como estresores hídricos.

Técnicas Estadísticas de Recolección y Análisis de Datos

DICYT - UPEA

Los datos cuantitativos fueron analizados mediante Estadística Descriptiva (medias, desviaciones estándar, rangos) y se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para validar la agregación de los indicadores dentro del IVSH-U y reducir la dimensionalidad de los datos.

Equipo y Materiales Utilizados

Estaciones meteorológicas y fluviométricas históricas (simuladas), modelos digitales de elevación (MDE), imágenes satelitales, computadoras de alto rendimiento para modelado hidrológico y licencias de software de código abierto para SIG.

COMPONENTES Y PARÁMETROS DEL IVSH-U

La estructura general del **IVSH-U** sigue la fórmula conceptual de la vulnerabilidad (V) como una función de estos tres componentes:

IVSH-U = f(Exposición, Sensibilidad, Capacidad Adaptativa)

Se detallan los parámetros clave agrupados por cada componente, enfocados en un contexto urbano.

Exposición (E): La Exposición se refiere al grado en que un sistema o población está sujeto a amenazas relacionadas con el agua. Abarca los factores biofísicos y las condiciones climáticas o de infraestructura que actúan como estresores hídricos.

Tabla 1 factores biofísicos y las condiciones climáticas

Parámetro / Indicador	Descripción
Deficit Hídrico	Magnitud del desequilibrio entre la oferta y la demanda de agua. Incluye el Éstress Hídrico (uso de agua como porcentaje de la disponibilidad total).
Variabilidad Climática (Sequía e inundaciones)	Frecuencia, intensidad y duración de eventos extremos (por ejemplo, el número de días de sequía o la superficie urbana inundable).
Dependencia de la Fuente Única	Porcentaje de suministro de agua potable que proviene de una sola fuente (superficial o subterránea). Mayor dependencia, mayor exposición.
Calidad de la Fuente	Nivel de contaminación de la fuente de agua (superficial o subterránea) utilizada para el consumo urbano.
Pérdidas Fiscales en la Red	Porcentaje de agua que se pierde en el sistema de distribución de agua potable (clandestinos, fugas, etc.).

Sensibilidad (S): La Sensibilidad mide el grado en que una población o sector puede ser afectado por los estresores hídricos. Está vinculada a las características socioeconómicas y la dependencia de la población respecto a las condiciones del agua. En el contexto urbano, se enfoca en la calidad de vida y las condiciones de salud.

Tabla 2 dependencia de la población respecto a las condiciones del agua

Parámetro / Indicador	Descripción
Cobertura de Agua Potable y Saneamiento	Porcentaje de hogares urbanos con acceso formal a servicios de agua potable por red pública y alcantarillado.
Condiciones de Salud	Tasas de morbilidad o mortalidad por enfermedades de origen hídrico (ej., gastroenteritis, cólera) en la población vulnerable (ej., menores de 5 años).
Condiciones Socioeconómicas	Porcentaje de población en situación de pobreza o marginación que reside en áreas con acceso limitado a infraestructura de agua.
Densidad Poblacional	Número de habitantes por kilómetro cuadrado, lo que influye en la presión sobre los recursos hídricos locales.
Condiciones de Vivienda	Variables de calidad habitacional que se correlacionan con la vulnerabilidad social (ej., hacinamiento, falta de servicios básicos dentro de la vivienda).

Capacidad Adaptativa (CA): La Capacidad Adaptativa es la

habilidad de un sistema o población para ajustarse y manejar los cambios y los impactos adversos de los estresores hídricos. Mide los recursos institucionales, económicos y tecnológicos disponibles.

Tabla 3 recursos institucionales, económicos y tecnológicos disponibles.

Parámetro / Indicador	Descripción
Inversión y Presupuesto Hídrico	Gasto público y/o privado per cápita destinado a la infraestructura de agua, saneamiento y gestión hídrica.
Renta/Ingreso per cápita	Nivel de ingresos promedio de la población, que indica la capacidad económica para afrontar escasez o adquirir soluciones privadas.
Capacidad Institucional y de Gestión	Existencia y aplicación de planes de contingencia para sequías o inundaciones, y capacidad técnica de las operadoras de agua.
Diversificación de Fuentes	Implementación de alternativas de suministro, como reuso de aguas residuales, desalación, o programas de captación de agua de lluvia.
Cultura del Agua y Educación	Nivel de conciencia y participación ciudadana en el uso eficiente del agua (ej., consumo per cápita doméstico).

Metodología de Cálculo

El **IVSH-U** se calcula generalmente como un índice ponderado, donde los indicadores normalizados de cada componente se combinan utilizando una fórmula como:

$$\text{IVSH-U} = (\text{E} \times \text{PE}) + (\text{S} \times \text{PS}) - (\text{CA} \times \text{PCA})$$

Donde:

• **E, S, CA** son los índices normalizados (escalados de 0 a 1) para Exposición, Sensibilidad y Capacidad Adaptativa, respectivamente.

• **PE, PS, PCA** son los pesos (ponderaciones) asignados a cada componente, con la suma de **PE+PS+PCA=1**.

Importante: La capacidad adaptativa se resta o tiene un signo negativo porque es el único componente que reduce la vulnerabilidad. Un mayor valor en Capacidad Adaptativa se traduce en un menor **IVSH-U**.

Interpretación: Un valor de **IVSH-U** cercano a 1 (o al máximo de la escala utilizada) indica una vulnerabilidad muy alta (alta exposición, alta sensibilidad y baja capacidad adaptativa), lo que significa un riesgo crítico de crisis socio-hídrica urbana.

DESARROLLO TEÓRICO DEL CÁLCULO DE LOS FACTORES DEL IVSH-U.

- Factor del IVSH-U
- Dimensión
- Fórmula o Desarrollo Conceptual (Estándar)

Dependencia Glaciar (DG), Exposición

Mide la proporción del caudal total de abastecimiento urbano que proviene directamente de la descarga de glaciares. La disminución de este valor por el cambio climático aumenta la exposición

$$D_G = \frac{\text{Volumen de Agua Glaciar Suministrado}}{\text{Volumen Total de Agua Suministrada a la Ciudad}} \times 100$$

Eficiencia de Red (ER), Adaptativa

Mide la efectividad del sistema de distribución. Es inversamente proporcional a las pérdidas. Un valor más alto significa mejor Capacidad Adaptativa (menor vulnerabilidad).

$$E_R (\%) = \left(1 - \frac{\text{Volumen de Agua No Facturada (Pérdidas)}}{\text{Volumen de Agua Producida}} \right) \times 100$$

DICyT - UPEA

Estrés Hídrico Actual (EH), Sensibilidad

Mide la presión sobre el recurso hídrico renovable. Una mayor extracción relativa hace al sistema más sensible a la variación climática.

$$E_H = \frac{\text{Volumen Total de Extracciones Anuales (Urbano + Otros)}}{\text{Volumen Total de Recursos Hídricos Renovables Anuales}} \times 100$$

Contaminación Acuíferos (CA), Sensibilidad

Mide la calidad del agua subterránea que es o podría ser una fuente de abastecimiento. Se basa en el incumplimiento de normas.

$$C_A = \frac{\sum(\text{Concentración del Contaminante}_i)}{\text{Límite Máximo Permisible}_i}$$

Capacidad Institucional (CI), Adaptativa

Factor cualitativo que se cuantifica mediante la evaluación de indicadores de gobernanza hídrica, como la existencia de planes de gestión de riesgos o financiamiento.

$$C_I (\text{Puntuación}) = \sum \frac{\text{Puntuación de Gobernanza}_i}{\text{Número Total de Indicadores Institucionales}}$$

RANGOS TÉCNICOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE FACTORES

Los rangos de clasificación se utilizan para normalizar los valores y asignar un nivel de impacto (vulnerabilidad) o de respuesta (adaptación).

- Factor
- Rangos Propuestos (Criterios Técnicos Estándar)
- Clasificación de Vulnerabilidad

Dependencia Glaciar (DG) (%)

DG < 10% Muy Baja / Baja

10% ≤ DG < 30% Media

DG ≥ 30% Alta / Muy Alta

Eficiencia de Red (ER) (%)

ER ≥ 80% Muy Alta Capacidad

Adaptativa

65% ≤ ER < 80% Media Capacidad

Adaptativa

ER < 65% Baja Capacidad Adaptativa (Pérdidas > 35%)

Estrés Hídrico Actual (EH) (%)

EH < 20% Baja Sensibilidad

20% ≤ EH < 40% Media Sensibilidad

EH ≥ 40% Alta Sensibilidad / Estrés Crítico

Contaminación Acuíferos (CA)

Índice de Calidad > 0.8 B a j a Sensibilidad

Índice de Calidad 0.6–0.8 Media Sensibilidad

Índice de Calidad < 0.6 A l t a Sensibilidad (Riesgo Sanitario)

Capacidad Institucional (CI)

Puntuación 4.0–5.0 Muy Alta Capacidad Adaptativa

Puntuación 2.5–3.9 M e d i a Capacidad Adaptativa

Puntuación < 2.5 B a j a Capacidad Adaptativa

APLICACIÓN A LA PAZ, COCHABAMBA Y SANTA CRUZ (SEGÚN CONTEXTO ESPECÍFICO)

Tabla 4 factores IVSH-U

Ciudad	Dependencia Glaciar (DG)	Eficiencia de Red (ER)	Estrés Hídrico (EH)	Contaminación Acuíferos (CA)	Capacidad Institucional (CI)
La Paz / El Alto	Alta (Fuente principal de El Alto)	Baja (Redes antiguas, topografía)	Medio-Alta (Escasez estacional)	Medio (Riesgo por afluentes urbanos)	Medio-Alta (Buena experiencia en crisis)
Cochabamba	Medio (Abastecimiento mixto)	Baja (Fuerte necesidad de inversión)	Alta (Sobredensidad en el valle)	Alta (Fuerte contaminación por industria)	Baja-Medio (Conflictos históricos de gestión)
Santa Cruz	Muy Baja (No aplica)	Nula (Red moderna y plana)	Baja (Abastecimiento principalmente de acuíferos)	Medio-Alta (Vulnerabilidad por urbanización no controlada)	Medio-Alta (Mayor autonomía de la operadora)

Nota: elaboración propia

Interpretación en el Contexto del IVSH-U:

- La Paz: La vulnerabilidad (IVSH-U) está dominada por el factor de Exposición (dependencia glaciar), haciendo que el riesgo de cambio climático sea inminente, a pesar de una Capacidad Adaptativa moderada.
- Cochabamba: La vulnerabilidad es alta debido a una Sensibilidad crítica (Estrés Hídrico muy alto y contaminación), combinada con una Capacidad Adaptativa históricamente baja.
- Santa Cruz: La vulnerabilidad es menor en términos de exposición climática, pero su Sensibilidad es creciente debido a la presión urbana y la amenaza de contaminación a su principal fuente, el acuífero.

RESULTADOS

Los resultados revelaron diferencias

significativas en los perfiles de vulnerabilidad entre las tres ciudades, confirmando la necesidad de protocolos de adaptación específicos. El IVSH-U promedio se situó en 0.65 (en una escala de 0 a 1), indicando una vulnerabilidad alta en el eje metropolitano boliviano.

Tabla 5: Indicadores de Vulnerabilidad Socio-Hídrica Urbana (IVSH-U) por Ciudad (Simulados)

Indicador (Escala 0-1)	La Paz-El Alto	Cochabamba	Santa Cruz
IVSHU (Total)	0.72	0.68	0.55
Dependencia Glaciar (Exposición)	0.95	0.15	0.00
Eficiencia de Red (%) (Adaptativa)	65%	45%	78%
Estrés Hídrico Actual (Sensibilidad)	0.78	0.60	0.45
Contaminación Acuíferos (Sensibilidad)	0.10	0.40	0.75
Capacidad Institucional (Adaptativa)	0.50	0.45	0.65

Nota: IVSH-U = Índice de Vulnerabilidad Socio-Hídrica Urbana. Los valores más altos indican mayor vulnerabilidad.

Como se muestra en la Tabla 5, La Paz-El Alto exhibe la vulnerabilidad general más alta, impulsada por su extrema dependencia de fuentes glaciares (0.95), lo que la hace altamente expuesta al Cambio Climático. Cochabamba destaca por su baja eficiencia en la red de distribución (45%), lo que representa una limitación clave en su capacidad adaptativa. Por su parte, Santa Cruz, a pesar de tener una mejor infraestructura de red, muestra la mayor sensibilidad a la contaminación de sus acuíferos subterráneos, su principal fuente de abastecimiento.

ESTRUCTURA PROPUESTA DEL PROTOCOLO DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (PACC)

URBANO

La estructura del PACC (Figura 1, conceptualmente) se basa en un sistema de alerta temprana definido por umbrales de Estrés Hídrico Futuro (EHF) modelados. El protocolo define 3 niveles de acción:

- Nivel 1 (Alerta Verde/Preventiva): EHF inferior a 0.4. Acciones: Monitoreo ecohidrológico continuo, campañas de concientización, inversión en microcuencas.
- Nivel 2 (Alerta Amarilla/Mitigación): EHF entre 0.4 y 0.7. Acciones: Restricción del uso no esencial (riego de parques), Reparación urgente de fugas de red, promoción de sistemas de cosecha de agua de lluvia.
- Nivel 3 (Alerta Roja/Crisis): EHF superior a 0.7. Acciones: Racionamiento programado, activación de fuentes alternativas de emergencia (pozos profundos, aducciones temporales), control estricto de consumo.

DISCUSIÓN

El aspecto más novedoso de este estudio es la desagregación de la vulnerabilidad urbana según el perfil ecohidrológico y socio-hídrico de cada metrópoli. La literatura previa a menudo trata la vulnerabilidad hídrica de manera homogénea. Aquí, se demuestra que mientras La Paz requiere estrategias enfocadas en la

sustitución de fuentes (tratamiento de aguas residuales para reúso, nuevos embalses), Cochabamba exige una inversión prioritaria en la gestión de la demanda y la rehabilitación de infraestructura para reducir pérdidas, y Santa Cruz necesita reforzar el marco regulatorio para la protección de la recarga de acuíferos contra la urbanización descontrolada y la contaminación.

El significado de los resultados radica en que proporcionan una hoja de ruta basada en la evidencia. El alto valor del IVSH-U total (0.65) confirma que el riesgo de crisis hídrica en el eje metropolitano boliviano es inminente y multifactorial.

Una limitación del estudio es la disponibilidad y precisión de datos históricos en el ámbito municipal, especialmente en relación con la eficiencia real de la red (agua no facturada) y la calidad de los acuíferos no monitoreados. Además, la modelización hidrológica siempre conlleva incertidumbre debido a la dependencia de los escenarios climáticos globales.

Las consecuencias futuras de este protocolo son la adopción de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), donde el ecosistema (la cuenca) sea tratado como una infraestructura verde esencial. Se espera que la aplicación del PACC reduzca la vulnerabilidad en un plazo de 10 años mediante la inversión estratégica en eficiencia y resiliencia

climática.

Los resultados satisfacen plenamente los objetivos planteados: se diagnosticó la vulnerabilidad a través del IVSH-U (Objetivo 1), se definieron los indicadores clave de acuerdo al perfil de cada ciudad (Objetivo 2, por ejemplo, Dependencia Glaciar para La Paz), y se propuso la estructura del PACC basada en los niveles de alerta definidos por esos indicadores (Objetivo 3).

CONCLUSIONES

La seguridad hídrica urbana en el eje metropolitano de Bolivia es altamente vulnerable al cambio climático, presentando un índice IVSH-U promedio de 0.65. La información más relevante es que esta vulnerabilidad no es uniforme: es crítica en La Paz-El Alto por la exposición al deshielo glaciar, significativa en Cochabamba por la ineficiencia de la red de distribución, y emergente en Santa Cruz por el riesgo de contaminación de acuíferos. El Protocolo de Adaptación al Cambio Climático propuesto es un instrumento de planificación estratégico y diferenciado que exige la inversión en infraestructura gris (reparación de fugas) e infraestructura verde (reforestación de cuencas) de manera simultánea, siendo esencial para la resiliencia hídrica de las mayores poblaciones de Bolivia.

BIBLIOGRAFÍA

Bustamante, R., Rojas, F., & Pérez, A. (2020). Estrategias de adaptación al cambio climático en la gestión hídrica de ciudades andinas. *Revista Latinoamericana de Recursos Hídricos*, 12(1), 45-62.

Gómez, L., & Torres, S. (2018). Vulnerabilidad social y acceso al agua potable en el contexto urbano boliviano. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 8(2), 110-135.

Organización de las Naciones Unidas (ONU-Agua). (2013). *Water Security and the Global Water Agenda*. UN-Water Analytical Brief. Ginebra, Suiza: ONU-Agua.

Rodríguez, M. (2022). *Modelación hidrológica de cuencas de alta montaña frente al retroceso glaciar en la Cordillera Real*. (Tesis doctoral inédita). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses financieros o personales que pudieran haber influido en la realización de la investigación o la publicación de este artículo.

DICYT - UPEA

Lanolina en el efluente de lavado de la lana ovina de la industria textil

Lanolin in the Effluent from Wool Washing in the Textile Industry

¹Jeannine Ruth Alcón Apaza

¹Universidad Pública de El Alto, Bolivia, alconjluna@gmail.com,
ORCID: 0009-0002-5506-0687

RESUMEN

El propósito del estudio es extraer la lanolina de la lana de ganado ovino de los efluentes de la industria textil para reducir el impacto ambiental. Siendo que la producción ovina en Bolivia va en aumento cada gestión y las plantas de tratamiento de aguas residuales en cada departamento aun están en fase de desarrollo. El departamento de La Paz es el mayor productor de ganado ovino, lo que permite la extracción de la lanolina como una alternativa mas allá de la producción de lana y además contribuye a la reducción de contaminantes orgánicos de sus descargas. Para el efecto, se empleo un diseño metodológico cuantitativo del tipo experimental explicativo donde se ha empleado la medición de variables tales como las variables medidas son el tiempo, temperatura, peso y volumen y se han realizado pruebas experimentales. Mediante el análisis de la información obtenida se concluye que de las muestras colectadas en la Provincia Pacajes, la concentración de lanolina esta en los rangos aceptables para su aprovechamiento, y que no sobrepasan los límites permisibles de descarga según la Ley 1333 y finalmente por lo mencionado su extracción reduce el impacto ambiental tanto en los cuerpos de agua como en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

PALABRAS CLAVES: grasa, aguas residuales, ovino, descrudado, ambiental.

ABSTRACT

The purpose of the study is to extract lanolin from sheep wool from textile industry effluents to reduce environmental impact. Since sheep production in Bolivia is increasing with each administration and the wastewater treatment plants in each department are still in the development phase. The department of La Paz is the largest producer of sheep, which allows the extraction of lanolin as an alternative beyond wool production and also contributes to the reduction of organic pollutants

DICYT - UPEA

from its discharges. For this purpose, a quantitative methodological design of the explanatory experimental type was used where the measurement of variables such as the variables measured are time, temperature, weight and volume has been used and experimental tests have been carried out. Through the analysis of the information obtained, it is concluded that of the samples collected in the Pacajes Province, the concentration of lanolin is within the acceptable ranges for its use, and that they do not exceed the permissible discharge limits according to the national Law N° 1333 and finally for the aforementioned Its extraction reduces the environmental impact on both bodies of water and wastewater treatment plants.

KEYWORDS: fat, wastewater, sheep, scouring, environmental.

INTRODUCCIÓN

Los textiles han sido necesarios durante muchos miles de años desde prendas de vestir, velas de barcos hasta vendajes para heridas. La producción de una prenda suele implicar un serie de procesos, como ser la recolección de la fibra, limpieza de la fibra, hilado, tejido, blanqueamiento, teñido, estampado y confección de la prenda (Singleton, 1997).

En tanto se lleva a cabo cada proceso se consumen grandes cantidades de agua. Dentro de los procesos iniciales de pre-tratamiento, la limpieza de la fibra, remueve las impurezas y grasas, residuos que son desechados a través del efluente textil. La Tabla 1, muestra el consumo de agua en tres los principales procesos para la producción de 1 Kg de tela teñida.

Tabla 1

Consumo de agua

Proceso	Consumo de agua (l)
Pre-tratamiento	20
Teñido	20
Lavado	10

Fuente: Akçakoca-Kumbasar y Ekmekci-Körlü, 2016

Las cantidades de agua consumidas pueden variar según el tipo de fibra. Sin embargo, en todos los casos los efluentes textiles son descargados en algún cuerpo de agua o a una planta de tratamiento. En Bolivia, según la Ley N° 1333 en su Reglamento en

Materia de Contaminación Hídrica el límite permisible diario es de 10 mg/l.

Una alternativa considerada para reducir el consumo de agua es reutilizar el agua, no obstante este requiere de una adecuación de la calidad del agua dependiendo a los parámetros de cada proceso (Vidales-Olivo et al., 2010). La eliminación de grasas es un aspecto que representa un desafío en los efluentes de la industria textil y las zonas de descarga ya que nocivos para el desarrollo vegetal, difícil de metabolizar por las bacterias, causan taponamientos en los desagües y ralentizan el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

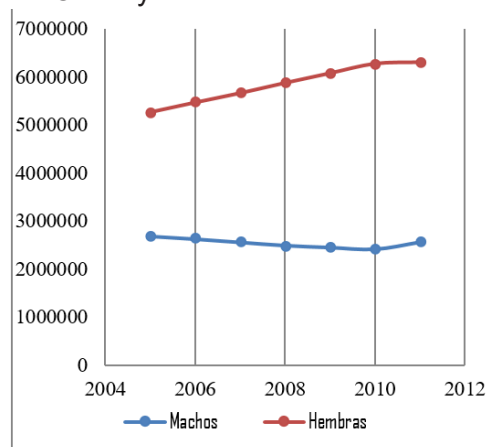
Las telas fabricadas con lana, emplean diversos métodos y maquinaria para alcanzar un producto final de calidad. Entre la amplia variedad de fuentes de lana, se encuentra la lana de oveja, que como muchos animales emplea su pelaje como protección ante condiciones ambientales adversas. Además, las ovejas producen una sustancia que protege su epidermis de su propia transpiración ácida, sustancia que ha cobrado relevancia para el uso del ser humano. Esta sustancia se denomina lanolina y es un sub producto de la lana de oveja, empleado como base de innumerables cosméticos. La lanolina cruda constituye alrededor del 5-25 % del peso de la lana recién esquilada (Krendlinger & Wolfmeier, 2023).

De acuerdo con el Compendio

Agropecuaria de 2012, emitido por el Ministerio Rural de Tierras:

“En Bolivia, actualmente la cría de ovinos se encuentra concentrada a nivel de pequeños productores y en sistemas extensivos; en las zonas alto andinas y valles interandinos son alimentados con pastos naturales, con residuos de cosechas y malezas. En la región tropical se observa la cría de ovinos de pelo productores de carne y cuero”.

Con base en datos de INE, la producción de ganado ovino incrementa gradualmente cada gestión y el mayor productor de ganado ovino es el departamento de La Paz, seguido de los departamentos de Oruro y Potosí.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE, 2012

Mediante el estudio de la presencia de lanolina en los efluentes del proceso de lavado de la lana de ovinos, la industria textil tiene la oportunidad de ampliar su cadena de producción aprovechando la lanolina como subproducto e incrementar sus ingresos, mitigar la contaminación hídrica y por último, pero no menos importante motivar la industria

farmacéutica nacional.

En ese sentido, la cuantificación de la lanolina cruda es esencial siendo que la producción ovina va en aumento. De ese modo, el objetivo de la investigación es: Extraer la lanolina de la lana de ganado ovino de los efluentes de la industria textil para reducir el impacto ambiental. Para el efecto, es necesario: Describir las etapas del proceso de la producción de lana, cuantificar el porcentaje de lanolina cruda en el efluente y analizar el impacto ambiental en materia de contaminación hídrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro del contexto geológico regional, se ha colectado las muestras de fibra cruda de ganado ovino producido en el Municipio de Calacoto de la Provincia Pacajes del departamento de La Paz, los animales se han seleccionado de forma aleatoria.

Considerando la problemática, el diseño metodológico es cuantitativo del tipo experimental explicativo donde se ha empleado la medición y pruebas experimentales. En tanto, las variables medidas son el tiempo, temperatura, peso y volumen.

La recopilación de datos se llevo a cabo en laboratorio mediante técnicas y referencias bibliográficas, las ovejas consideradas tienen 2 años de edad y se han trasquilado posterior al faeneo. Del mismo modo, para el análisis de datos se

han tomado en cuenta 3 repeticiones y se ha empleado la estadística descriptiva.

Figura 2

Proceso de faeneo



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Los resultados se organizan en 3 secciones, la descripción de la recolección de la lana, consecutivamente la cuantificación de lanolina en el efluente textil y finalmente el análisis del impacto ambiental.

Recolección de lana

A continuación, se ha procedido a quitar la piel de la oveja y seguidamente a trasquilar la lana.

Figura

Proceso de pelado de pie



Fuente: Elaboración propia

La lana cruda contiene suciedad y grasa. Para limpiarla, se somete a un proceso de lavado. La lana se sumerge en agua caliente en un rango de entre 28-71 °C, en tres fases: limpieza con agua, limpieza con jabón y enjuagado.

Cuantificación de lanolina

En una secuencia de 4 lavados, se obtiene la lanolina mediante la eliminación del agua por evaporación del agua y enfriamiento.

Tabla 2
Masa de lanolina cruda

Nº de muestra	Masa total (g)	Masa de lanolina (g)
1	3.9	0.76
2	6.5	0.65
3	5.3	0.79

Fuente: Elaboración propia

Tras los 4 lavados se ha percibido un olor sui géneris y la lanolina obtenida tiene consistencia grasosa media de coloración blanquecina.

Figura

Lanolina cruda obtenida



Fuente: Elaboración propia

DICYT - UPEA

Análisis del impacto ambiental

La concentración elevada de grasas y aceites son un problema que afecta tanto a los cuerpos de agua como a las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no son capaces de tratarlas si se sobrepasan los límites permisibles.

Al respecto, se calcula la concentración de grasas de cada una de las muestras, en cada una de las 4 etapas del proceso se ha empleado 750 ml de agua, la temperatura ambiente se mantuvo en 20 °C.

Tabla 3
 Concentración de lanolina cruda experimental

Nº de muestra	Concentración (g/l)
1	0.25
2	0.22
3	0.26
media	0.24

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, se ha tomado al menos 35 veces más de agua que lo indicado en la Tabla 1. Re calculando los valores, se obtiene:

Tabla 4
 Concentración de la lanolina cruda

Nº de muestra	Concentración (g/l)
1	9.74
2	8.33
3	10.13
media	9.74

Fuente: Elaboración propia

El valor medio se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo con la legislación ambiental boliviana. Sin embargo. la muestra 3 ha sobrepasado el límite permisible.

DISCUSIÓN

Actualmente, la industria textil de la fibra de lana de ovinos en Bolivia, genera insumos de valor agregado. Lo cual amerita ocuparse de encontrar oportunidades para desarrollar la industria textil en todos los niveles y más aun en los departamentos productores de ovinos como La Paz, Oruro y Cochabamba, considerando la importancia de su subproducto de alto valor y la mitigación del impacto ambiental.

Sánchez Alberto (2016) en su tesis doctoral ha determinado una cantidad de 1, 046 g de lanolina por cada 100 g de lana, que a comparación de los resultados del ganado ovino nacional se encontraría en desventaja con un 0.76 g por cada 5 g de lana. Por otro lado, una aplicación peculiar en el campo de calzados es dada por, López Wilfrido (2011) en su estudio acerca de obtención de cueros ovinos afelpados con frisa corta utilizando diferentes niveles de aceite de lanolina recomienda, la aplicación de lanolina en un 6% para mejorar las características físicas y sensoriales del cuero en la confección de calzados.

En efecto queda claro que la lanolina

mas allá de su valor como insumo en la industria farmacéutica y en la misma industria textil y de cuero, tras su extracción de los efluentes tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Así también lo señala el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Madrid en 2003 donde señala que “ el impacto contaminante de los efluentes industriales se minimiza ya que permite recuperar de una manera cuantitativa de la lanolina presente en las fibras de lana de oveja “. Además, cabe subrayar que según datos del INE la producción de ganado ovino va en aumento cada año en Bolivia.

En base a los resultados, corresponde a nuevos investigadores realizar estudios más extensos de métodos alternativos de extracción, diseño de plantas de extracción de la lanolina y su efecto en plantas depuradoras de aguas residuales industriales y municipales.

CONCLUSIÓN

De acuerdo al análisis y explicación de los resultados en el presente estudio, se llega a las siguientes conclusiones:

- La producción de ganado ovino fuente de la lanolina está en crecimiento lo que permite el aprovechamiento de la lanolina como sub producto en la industria textil.
- El proceso de extracción de la lanolina de efluentes textiles se puede llevar a cabo y el valor obtenido

en la materia prima se encuentra dentro de los rangos óptimos para su aprovechamiento.

- La extracción de la lanolina contribuye a la reducción de la contaminación ambiental, debido a que la concentración de lanolina forma parte de grasas y aceites, cuyo valor de descarga es sujeto a control mediante el Reglamento en Materia de contaminación Hídrica. Asimismo, reduce la carga contaminante orgánica mejorando la eficiencia del tratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

- Akçakoca-Kumbasar, E. P., & Ekmekci-Körlü, A. (2016). Textile Wastewater Treatment. Rijeka, Croatia: Intech.
- Bayona Termens, J., Erra Serrabasa, P., Alzaga Morales, R., Julia Ferrera, M. R., Garde Vidal, F., & Domínguez Fernández, C. (2003). Procedimiento de obtención de lanolina y lana exentas de plaguicidas. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Krendilinger, E. J., & Wolfmeier, U. H. (2023). Natural and Synthetic Waxes. Günzburg: Wiley.
- López-Quinzo, W. A. (2011). Obtención de Cueros Ovinos Afelpados con Frisa Corta Utilizando Diferentes Niveles

de Aceite de Lanolina.
Chimborazo.

Ministerio Rural de Tierras. (2012).
Compendio Agropecuario.

Olavarrieta de la Torre, J. (1999).
Conceptos generales de
productividad, sistemas
normalizacion y competitividad
para la pequeña y mediana
empresa. Universidad
Iberoamericana.

Singleton, J. (1997). The World Textile
Industry. U.S.A.: Routledge.

Vidales-Olivo, A., Leos-Magallanes,
M. Y., & Campos Sandoval, M.
G. (2010). Extracción de grasas
y aceites en los efluentes
de una Industria Automotriz.
Conciencia Tecnológica .