IngeniaTEC

Volumen 1
Número 1 (2026)

ISSN
Impreso: 0000-0000
Virtual: 0000-0000

Volumen 1
Número 1 (2026)



UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA

FCyT
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
UMRPSFXCH

IngeniaTEC

REVISTA CIENTÍFICA INGENIATEC – VOLUMEN 1, NÚMERO 1

INGENIATEC – Vol. 1, Num. 1

Publicada por
Decanato
Facultad de Ciencias y Tecnología

Periodicidad
Semestral

Fecha de Publicación
Agosto 2026

ISSN (Impreso)
0000 - 0000

ISSN (Virtual)
0000 - 0000

Sede editorial
Facultad de Ciencias y Tecnología
Calle Regimiento Campos 180
Sucre, Bolivia

Comité Editorial

Director Editorial
Miguel Ortiz Limón

Coordinador de arbitraje
Victor Alejandro Achá Fuertes
Institut Polytechnique UniLaSalle

Responsable de corrección de estilo y normalización
Juan Pablo Barriga Sapiencia
Universidad Católica Boliviana Sede la Plata

Editor en jefe
Romina Daza Ramos

Responsable de edición
Tania Ponce Torca

Diseño y diagramación
Juan José Orihuela Palacios

Asistente de diseño
Limberg Adilson Flores Villca

Comité Arbitral

A.P.A.
M.T.J.
R.G.A.
P.L.C.W.
Z.S.J.A.
M.B.R.O.

La Facultad de Ciencias y Tecnología se enorgullece en presentar el volumen inaugural de INGENIATEC, una revista científica concebida como un espacio plural y de alto rigor metodológico dedicado a la difusión del conocimiento, la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico. En una era definida por transformaciones globales aceleradas, la academia asume el imperativo categórico de responder a los desafíos contemporáneos de la sociedad y la industria mediante soluciones cimentadas en la ciencia y la ingeniería. Este primer número refleja el compromiso inquebrantable de nuestra institución académica, la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, con la excelencia investigativa y la innovación.

Los artículos que conforman esta edición inaugural abarcan un espectro multidisciplinario, demostrando la versatilidad analítica de nuestros investigadores. En el ámbito de la biotecnología, química y la revalorización de recursos naturales, se presentan trabajos de gran impacto orientados a la economía circular y la farmacognosia. Destacan investigaciones sobre la obtención experimental de colágeno hidrolizado a partir de escamas de pescado y la formulación de cosméticos hidratantes a partir de desechos de Aloe vera. Asimismo, se exponen estudios analíticos rigurosos, tales como la validación cromatográfica para cuantificar resveratrol en vinos tintos regionales, y la optimización de procesos para la extracción de D-pinitol de vainas de algarrobo como compuesto potencial terapéutico insulínico. A esto se suma el modelado computacional en la agroindustria, evidenciado a través de la simulación de la desaponificación de quinua real en lechos fluidizados tipo surtidor.

En la frontera de las ciencias de la computación y las telecomunicaciones, INGENIATEC explora la vanguardia de la inteligencia artificial con el desarrollo de un sofisticado software de reconocimiento visual y volumétrico que, mediante redes neuronales y procesamiento de lenguaje natural, permite la generación automatizada de recetas nutricionales. En paralelo, se ofrece un análisis de infraestructura sobre el estado actual de las redes de televisión por cable (HFC) en Sucre, aportando un diagnóstico valioso sobre las telecomunicaciones locales.

Finalmente, la sostenibilidad tecnológica y la gestión de riesgos industriales son abordadas mediante investigaciones de profunda relevancia práctica. Se evalúa paramétricamente el desempeño de equipos regeneradores para prolongar la vida útil de baterías alcalinas, un esfuerzo loable para mitigar pasivos ambientales. Por su parte, el sector de la ingeniería petrolera se hace presente con una modelación crítica sobre la simulación del descontrol de pozos hidrocarburíferos (blowout), estableciendo lineamientos para optimizar protocolos de seguridad operacional.

La consolidación de este primer número ha sido posible gracias a la dedicación de los autores, el escrutinio minucioso de los pares evaluadores y la labor técnica del comité editorial. INGENIATEC nace con la vocación de convertirse en un referente de consulta ineludible. Invitamos a la comunidad científica, estudiantil y al sector productivo a adentrarse en estas páginas, con la certeza de que el conocimiento aquí divulgado servirá como catalizador para futuras sinergias tecnológicas.

Comité Editorial
Revista Científica INGENIATEC
Facultad de Ciencias y Tecnología



Ing. Miguel Ortiz Limón

Decano
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca

Presentación

Con profunda satisfacción y legítimo orgullo institucional, se presenta a la comunidad universitaria y a la sociedad boliviana el primer número de la Revista Científica INGENIATEC, una publicación que nace como espacio de difusión, diálogo y construcción de conocimiento desde nuestra Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.

Este primer número tiene un significado especial. No solo inaugura una revista científica, sino que abre una puerta para mostrar lo que se investiga, se piensa y se propone desde nuestras aulas, laboratorios y centros académicos de la Facultad de Ciencias y Tecnología. En un tiempo en el que Bolivia y América Latina enfrentan grandes desafíos relacionados con la sostenibilidad, la industrialización de los recursos naturales, la transformación digital, la seguridad energética, la producción alimentaria y el cuidado del medio ambiente, la investigación científica se vuelve más necesaria que nunca.

Los artículos reunidos en esta primera edición reflejan una mirada pertinente y comprometida con la realidad. Destacan investigaciones vinculadas con la economía circular y el aprovechamiento de residuos, como la obtención de colágeno hidrolizado a partir de escamas de pescado y la formulación de productos cosméticos a partir de desechos de Aloe vera. Estos trabajos responden a una preocupación común en América Latina: transformar los residuos en oportunidades, generar valor agregado y reducir impactos ambientales.

Asimismo, se valoran estudios relacionados con recursos y productos propios de nuestra región, como la cuantificación de resveratrol en vinos tintos de Chuquisaca y Tarija, la extracción de D-pinitol de vainas de algarrobo y la simulación de procesos aplicados a la quinua real. Estas investigaciones nos recuerdan que Bolivia posee una riqueza natural y productiva extraordinaria, y que la ciencia debe contribuir a estudiarla, protegerla y proyectarla con responsabilidad.

También son relevantes los aportes en áreas de gran actualidad, como la inteligencia artificial, las telecomunicaciones, la sostenibilidad tecnológica y la seguridad energética. El desarrollo de software aplicado a la nutrición, el análisis de redes en Sucre, la regeneración de baterías alcalinas y la simulación de eventos críticos en pozos hidrocarburíferos muestran que nuestra Facultad participa activamente en debates científicos y tecnológicos de alcance latinoamericano.

Felicito sinceramente a los autores de los artículos publicados en este primer número. Cada trabajo representa horas de estudio, ensayos, análisis, revisión y compromiso académico. Su esfuerzo honra a nuestra Facultad y demuestra que la investigación científica también se construye desde Bolivia, desde Chuquisaca y desde la Universidad San Francisco Xavier.

Expreso, asimismo, mi reconocimiento y agradecimiento al Comité Editorial de la Revista INGENIATEC, por su dedicación, responsabilidad y visión institucional. Hacer posible una revista científica requiere trabajo silencioso, ordenado y constante; por ello, su aporte es fundamental para consolidar este nuevo espacio académico.

La divulgación científica es hoy una necesidad impostergable. Investigar y publicar es servir a la sociedad, tender puentes entre la universidad, el sector productivo y la comunidad. Que este primer número sea el inicio de una larga trayectoria de producción científica, innovación y compromiso con Sucre, Chuquisa y Bolivia.

Miguel Ortiz Limón

Contenidos

Obtención Experimental de Colágeno Hidrolizado a partir de las Escamas de Pescado (Pag. 1 - 12)
Dimelsa Betsabé Chicchi Callamullo

Servicio de Televisión por Cable en la Ciudad de Sucre (COTES TV) (Pag. 13 - 19)
Marco Antonio Montalvo Rodriguez

Desempeño Del Equipo Cargador De Pilas (Pag. 21 - 30)
Alfredo Javier Zambrana Zelada

Mitigación De Riesgos En La Perforación: Simulación Del Descontrol En El Pozo Mgd-7, Campo Monteagudo (Pag. 31 - 41)
Rodrigo Padila Torres

Elaboración De Crema Hidratante A Base De La Cáscara De Aloe Vera (Pag. 43 - 54)
Iselia Flores Fernandez
Nancy E. Petersen Groc

OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE COLÁGENO HIDROLIZADO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE PESCADO

EXPERIMENTAL PRODUCTION OF HYDROLYZED COLLAGEN FROM FISH SCALES

Dimelsa Betsabé Chicchi Callamullo
Universidad San Francisco Xavier
betsabechicchi@gmail.com

Recibido junio de 2025 / Aceptado abril de 2026

Resumen

El presente proyecto fue realizado con la finalidad de "Obtener colágeno natural hidrolizado a partir de las escamas de pescado", para su aplicación como suplemento de calidad.

Para llevar a cabo las pruebas experimentales se empleó el diseño factorial de experimentos , para lo cual se hizo el uso del software estadístico Desing Expert 13, analizando a partir de los datos obtenidos en los laboratorios, el mayor rendimiento del proceso, indicando que las condiciones óptimas de operación fueron a: 0.1M de (NaOH),t=3hrs para la eliminación de sustancias no colágenas, 0.3M de CH3COOH t=72 hrs para la hidrólisis, finalmente un tiempo de extracción de 45 min con temperatura de 85°C,a partir de estos datos se obtuvo un rendimiento del 5,555% y proteínas del 39.4%.

Finalmente el colágeno hidrolizado obtenido según los análisis fisicoquímicos y propiedades funcionales indican que este producto es apto como suplemento de calidad para la salud en personas que sufren de artritis y enfermedades relacionadas.

Palabras clave: *Colágeno, Proteína, Pruebas Experimentales, Curva de secado, Reología, Rendimiento.*

Abstract

This project was carried out with the aim of "Obtaining hydrolyzed natural collagen from fish scales" for use as a quality supplement.

A 2^5 factorial design of experiments was used to conduct the experimental tests, utilizing the statistical software Design Expert 13. Based on the data obtained in the laboratories, the highest process yield was analyzed.

The optimal operating conditions were: 0.1M NaOH, t = 3 hours for the removal of non-collagenous substances; 0.3M CH3COOH, t = 72 hours for hydrolysis; and finally, an extraction time of 45 minutes at a temperature of 85°C. Based on these data, a yield of 5.555% and 39.4% protein were obtained.

Finally, the hydrolyzed collagen obtained, according to physicochemical analysis and functional properties, indicates that this product is suitable as a quality health supplement for people suffering from arthritis and related diseases.

Keywords: *Collagen, Protein, Experimental Tests, Drying Curve, Rheology, Yield.*

Introducción

La pesca es una de las actividades económicas que se desarrolla en Bolivia, pero su práctica se ha extendido por varias regiones del país, aumentando la producción acuícola en agua dulce. Este sector genera una cantidad de residuos que corresponde al 50% del peso del pescado, que en la mayoría no son aprovechables. Los residuos del beneficio acuícola causan problemas de contaminación en suelos y fuentes hídricas por su disposición inapropiada, además podrían generar problemas de salud, estos residuos de pescado pueden ser aprovechados para la obtención de productos de mayor valor, minimizando así el impacto ambiental que generan al ser desechados. Una de las formas para disminuir el impacto de los residuos de la industria piscícola, es la incorporación de la economía circular con el aprovechamiento de estos residuos.

El presente trabajo de investigación consiste en la obtención de un colágeno natural hidrolizado como materia prima y sustituto a os productos de importación, a partir de las escamas de pescado, desechos orgánicos que son provenientes de la industria piscícola de la ciudad de Sucre y que al ser desechados en los basureros o simplemente al aire libre, generan un gran impacto ambiental, como la emanación de malos olores, la proliferación de plagas y vectores causantes de enfermedades.

La obtención del colágeno hidrolizado se realizará mediante pruebas experimentales en laboratorio, a partir de las escamas de pescado (materia prima), aplicando una concentración determinada de reactivos y tiempo para la hidrolisis, finalmente un tiempo y temperatura para la extracción del colágeno.

Las fuentes de las que se extraen estas moléculas son de origen animal; en concretos las fuentes de colágeno pueden ser: bovinas (procedente de la piel de vacas), porcinas (procedente de la piel de cerdo), o marinas (procedentes de la piel y espinas de los peces) (Cristina, 2022).

El colágeno es un elemento muy importante en nuestra alimentación, es esencial en la ejecución de muchas de nuestras actividades diarias y está encargada de dar estructura, firmeza y elasticidad a la piel, mantiene la salud de los músculos, ligamentos, tendones y articulaciones. Contribuye a la prevención y tratamiento de enfermedades reumáticas no autoinmunes relacionadas con la degradación del colágeno, como la artrosis, hernias discales, osteoporosis y reduce la aparición de las arrugas dérmicas.

El colágeno es una proteína de la matriz extracelular, la más abundante en el cuerpo humano, la cual posee funciones fundamentalmente estructurales, dando forma y resistencia al organismo (Cristina, 2022).

Materiales y métodos

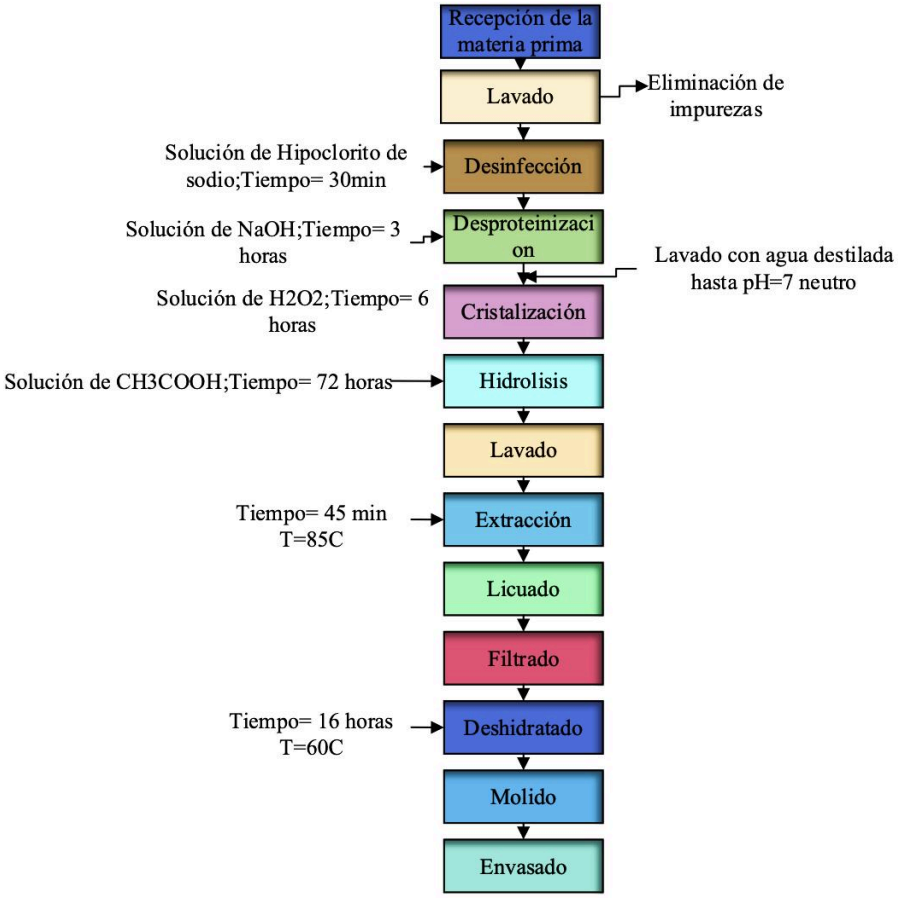
Tabla 1. *Metodología del proyecto*

Objetivos específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos - Herramientas
Determinar las propiedades fisicoquímicas de la Materia Prima.	Observar atentamente las características de la materia prima, para tomar información y posteriormente realizar los análisis.	Observación Científica – participante.	Se utilizó material de laboratorio, y se empleó el uso de tablas de datos, registros.
Determinar las variables que influyen en el proceso de obtención del colágeno	Analizar las variables controladas, que influyen en la variable de respuesta.	• Observación científica de abordaje previo. • Revisión documental.	Guía de observación para precisar los aspectos a observar de forma general.
Identificar el proceso adecuado para la obtención del colágeno hidrolizado a partir de las escamas de pescado.	Diseñar el proceso de obtención del colágeno y posteriormente realizar las pruebas del experimento.	Observación científica instrumentada. (experimento de laboratorio)	Material de laboratorio y el uso del software desing-expert 13.
Analizar las propiedades fisicoquímicas (humedad, proteína, grasa, ceniza), la fuerza reológica (viscosidad) y las propiedades funcionales del colágeno obtenido.	Observar cuidadosamente el producto obtenido para tomar información y posteriormente realizar los análisis del producto.	Observación científica - participante.	Se empleó el uso de material de laboratorio y el registro en una tabla de datos.
Realizar el respectivo balance de materia prima que involucraran en los costos para la obtención del colágeno hidrolizado a partir de las escamas de pescado.	Analizar la factibilidad del proyecto, el tiempo, estimación de los costos y recursos con los que se cuentan en las actividades que se desarrollaran.	• Observación y planificación, • Entrevista (personas que ya realizaron proyectos experimentales)	Se realizó un informe de los costos involucrados en el proyecto.

Fuente: *Elaboración propia*

Resultados

Figura 1. *Diagrama de flujo de obtención del colágeno Hidrolizado*



Fuente: *Elaboración propia*

Análisis fisicoquímico de las escamas de pescado

Tabla 2. *Composición experimental fisicoquímica de las escamas de pescado.*

Análisis Fisicoquímico (%)	Resultados experimentales	Mayra Abigail Aibar Inchaustegui	Jenifer Carolina Serrano Gaona
Humedad	8,42 %	Boquichico 14,36%- Lisa13.29%	64,30%
Proteína	34,8 %	Boquichico 35,81% Lisa 36,59%	31,58%
Grasa	0,32 %	Boquichico --- Lisa ---	82,60%
Ceniza	53,5 %	Boquichico 30,29% Lisa 30,48%	0,96%

Fuente: *I.T.A. (Instituto de Tecnología de Alimentos), Mayra Aibar, Jenifer Carolina Serrano Gaona.*

Análisis del rendimiento de obtención del colágeno hidrolizado

Análisis del rendimiento del colágeno

El rendimiento de la extracción de colágeno a partir de las escamas de pescado está indicado por la cantidad de materia prima ingresada al proceso y la cantidad de colágeno final en polvo obtenido, a continuación, se realiza el desarrollo del cálculo para el mejor rendimiento obtenido.

$$\mathbf{R\%} = \frac{masa\ de\ colágeno\ en\ polvo}{masa\ de\ escamas\ ingresado} \bullet 100 = \frac{11{,}11\ gr}{200\ gr} \bullet 100 = 5{,}555\% \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Tabla 3. *Análisis de varianza Anova*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-valué	D-valué	
Model	31,73	23	1,38	5,07	0,0115	**Significant**
A-Concentración de NaOH	1,29	1	1,29	4,75	0,0609	
B-Tiempo Tratamiento NaOH	1,56	1	1,56	5,74	0,0434	
C-Concentración de Ácido Acet	0,0200	1	0,0200	0,0736	0,7931	
D-Tiempo Trata Acido cético	3,84	1	3,84	14,11	0,0056	
E-Tiempo Cocción	13,66	1	13,66	50,25	0,0001	
AB	0,0520	1	0,0520	0,1912	0,6734	
AC	0,1800	1	0,1800	0,6620	0,4394	
AD	0,0018	1	0,0018	0,0066	0,9372	
AE	1,99	1	1,99	7,30	0,0270	
BC	0,0903	1	0,0903	0,3321	0,5803	
BD	0,7503	1	0,7503	2,76	0,1353	
BE	0,7719	1	0,7719	2,84	0,1305	
CD	1,42	1	1,42	5,24	0,0514	
CE	1,05	1	1,05	3,87	0,0848	
DE	0,0242	1	0,0242	0,0890	0,7731	
ABC	0,4802	1	0,4802	5,07	0,0115	
ABE	0,5382	1	0,5382	5,07	0,0115	
ACE	0,4950	1	0,4950	5,07	0,0115	
ADE	1,02	1	1,02	5,07	0,0115	
BCD	1,13	1	1,13	5,07	0,0115	
BCE	0,0004	1	0,0004	5,07	0,0115	
BDE	0,5940	1	0,5940	5,07	0,0115	
ABCE	0,7688	1	0,7688	2,83	0,1312	
Residual	2,18	8	0,2719			
Cor Total	33,90	31				

Fuente: *Desing Expert 13.*

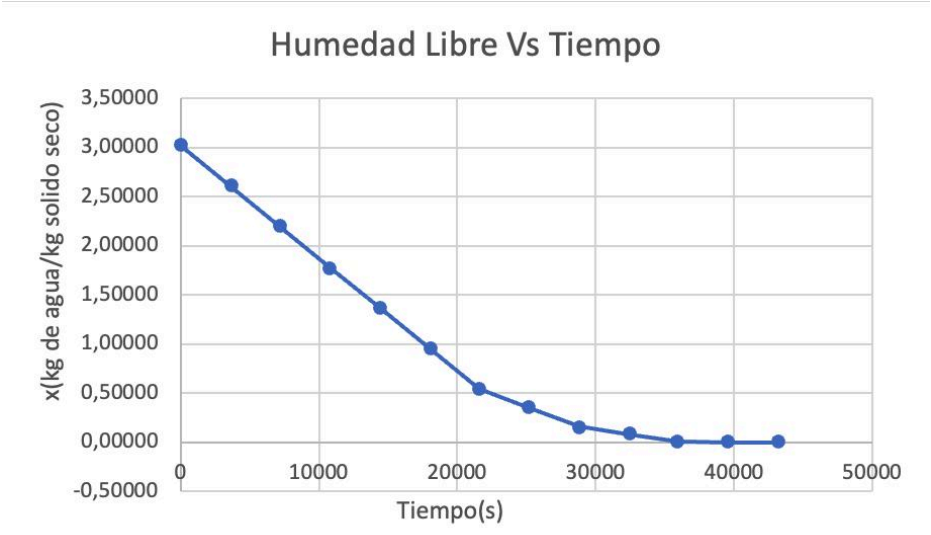
Curvas de velocidad de secado

Tabla 3. *Análisis de varianza Anova*

Tiempo (s)	m de colágeno (kg)	XT	X (kg agua/kg solido seco)	Δx/Δt	R=-(Ls/A) (dx/dt)
0	0,01923	3,03992	3,02101	-0,00011438	1,48249E-10
3600	0,01727	2,62815	2,60924	-0,00011438	1,48249E-10
7200	0,01531	2,21639	2,19748	-0,00011496	1,49005E-10
10800	0,01334	1,80252	1,78361	-0,00011496	1,49005E-10
14400	0,01137	1,38866	1,36975	-0,00011496	1,49005E-10
18000	0,0094	0,97479	0,95588	-0,00011496	1,49005E-10
21600	0,00743	0,56092	0,54201	-5,3688E-05	6,95863E-11
25200	0,00651	0,36765	0,34874	-5,3688E-05	6,95863E-11
28800	0,00559	0,17437	0,15546	-2,0425E-05	2,6473E-11
32400	0,00524	0,10084	0,08193	-2,0425E-05	2,6473E-11
36000	0,00489	0,02731	0,00840	-2,3343E-06	3,02549E-12
39600	0,00485	0,01891	0,00000	0	0
43200	0,00485	0,01891	0,00000	0	0

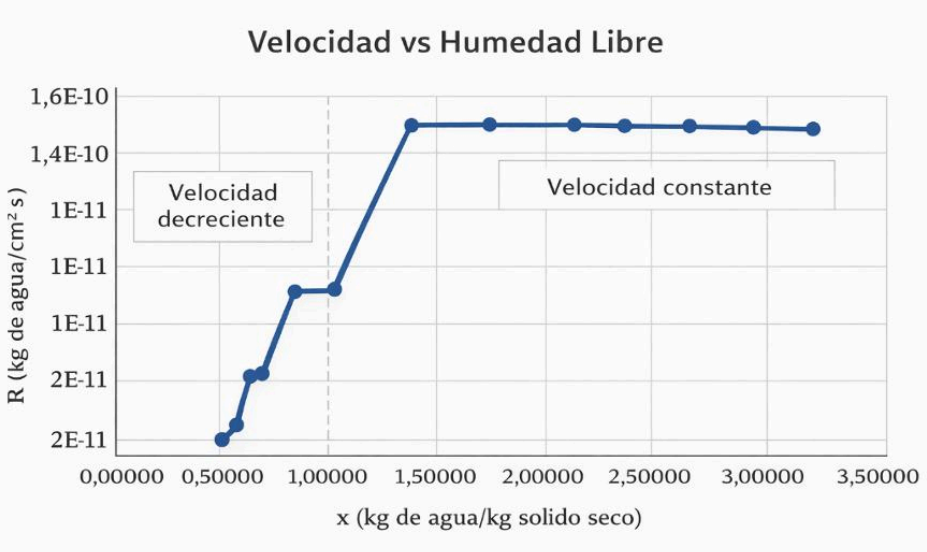
Fuente: *Elaboración propia*

Figura 2. *Humedad libre Vs Tiempo*



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 3. *Velocidad de secado Vs Humedad Libre*



Fuente: *Elaboración propia*

Determinación de la fuerza reológica – viscosidad del colágeno obtenido

Ecuación de Ostwald o ley de la potencia:

$$\sigma = K\,(y)^m$$

$$log\ \sigma = log\ K + m\ log\ y$$

Si m=1 el fluido es newtoniano

Si m < 1 es pseudoplastico

Si m>1 es dilatante

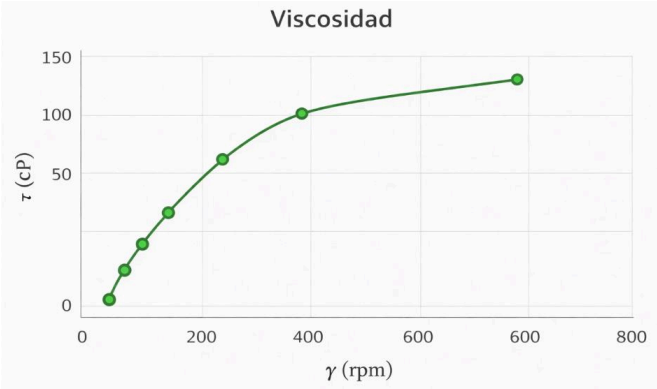
Tabla 5. *Esfuerzo de corte Vs velocidad de corte*

σ(rpm)	y (cp)
600	135
300	115
200	95
100	62
60	45
30	30
6	13
3	10

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 4. *Viscosidad del fluido en función del esfuerzo cortante en gelatina para el Colágeno*

Reograma del comportamiento reológico del colágeno en gelatina a temperatura de 4



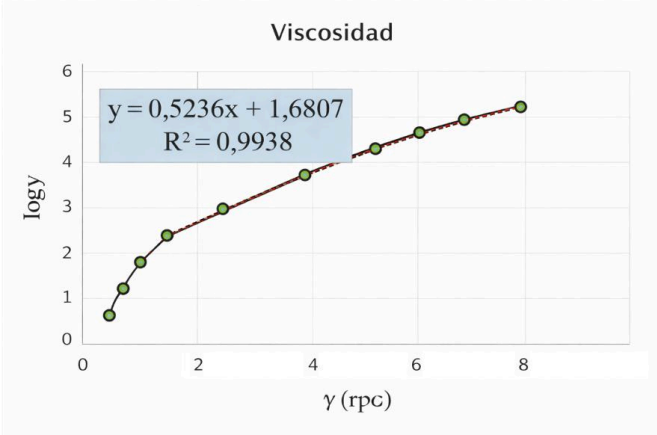
Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 6. *Arreglo de la viscosidad según el modelo Ley de la Potencia*

Log σ	Log y
6,39692966	4,90527478
5,70378247	4,74493213
5,29831737	4,55387689
4,60517019	4,12713439
4,09434456	3,80666249
3,40119738	3,40119738
1,79175947	2,56494936
1,09861229	2,30258509

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 5. *Arreglo de la viscosidad según el modelo "Ley de la Potencia"*



Fuente: *Elaboración propia*

$$y = 0{,}5236x + 1{,}6807$$

$$R^2 = 0{,}9938$$

$$y = 0{,}5236x + 1{,}6807$$

$$y = mx+b$$

$$logK=1{,}6807;\ m=0{,}5236\ \ fluido\ Pseudoplastico$$

$$K = e^{-1{,}6807} = 0{,}18624$$

Análisis fisicoquímico del colágeno hidrolizado obtenido

Tabla 7. *Análisis fisicoquímico de colágeno hidrolizado obtenido experimentalmente*

Análisis Fisicoquímico (%)	Resultados experimentales	Cristian Darío Ramos Collaguazo	Mayra Abigail Aibar Inchaustegui	Sandra Elizabeth López Sampedro y Manuel Almeida Hidalgo (2018
Humedad	7,90 %	---	---	8,03%
Proteína	39,4%	40,625% (Collaguazu, 2018)	26,68% especie lisa (Inchaustegui, 2022)	39,29% (Sandra Elizabeth, 2018)
Grasa	0,22 %	---		---
Ceniza	50,7 %	---		52,50%
Valor energético	167kcal/100g	---		
Calcio	22%	---		
Magnesio	18,7%	---		

Fuente: *Elaboración propia con los resultados de los análisis de laboratorio ITA.*

Comparación del colágeno obtenido experimentalmente con colágenos comerciales

Tabla 7. *Análisis fisicoquímico de colágeno hidrolizado obtenido experimentalmente*

INFORMACION NUTRICIONAL							
Colágeno obtenido experimentalmente			Colágenos comerciales				
			Herbalife	Vital Pro	LB	Jarmino	Zoí
Propiedad	Unidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Valor energético	Kcal/100g	167	351	394,87	336,32	378	336,32
Proteínas	g/100g	39,4	35,1	23,89	18,3	90	18,3
Grasa	g/100g	0,22	0	11,91	0,65	0,5	0,65
Vitaminas y minerales							
Calcio	g/100g	22		0,122	0,122		0,122
Magnesio	mg/100g	187		99	99		99
Carbohidratos	g/100g	1,86	35,1	53,05	69,43	0,5	69,43

Fuente: *Elaboración propia con los resultados de los análisis de laboratorio ITA.*

Discusión

Los resultados experimentales se compararon con el producto obtenido por Mayra Abigail Aibar Inchaustegui en su proyecto realizado "*Extracción de colágeno a partir de escamas de peces de río por hidrólisis mixta*".

Es posible explicar que los amplios rangos de las características fisicoquímicas que se reportan en la literatura, con especial énfasis en el contenido de proteínas, debido a que estos están influenciados por los diferentes procesos de extracción, las distintas especies, el lugar de cultivo de los animales y con gran influencia el tipo de alimentación y la temperatura de su medio de crecimiento. (Inchaustegui, 2022)

Conforme a los resultados del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia se verificó los supuestos del modelo y de que si este llegara a ser significativo: el valor de F-valúe implica que el modelo es significativo, esto indica que tan bien el modelo describe la variable de respuesta es decir el rendimiento, además que este valor se encuentra por debajo de 0.05, solo existe un 1,15% de probabilidad de que un valor F tan grande pueda ocurrir debido al ruido.

El fluido (colágeno) es no newtoniano (de tipo Pseudoplastico) en el que la viscosidad va disminuyendo al aumentar la velocidad de deformación aplicada y está afectada directamente por la temperatura que fue de 4 ,al ser un fluido no newtoniano se han propuesto varios modelos matemáticos(reológicos) para predecir la viscosidad en función de la temperatura como: ley de la potencia, Herschel Bulkley y entre otros, finalmente el ajuste de R^2 = 0,9938 permitió identificar al modelo reológico que más se acopló al producto (colágeno) siendo: Ostwald o ley de la potencia y Herschel – Bulkley. (Aguilar, 2024),sin embargo los índices probados a 20 se asemejo a los fluidos newtonianos esto quiere decir que la temperatura tiene mucha influencia sobre el comportamiento reológico de los productos.

Los resultados obtenidos del colágeno hidrolizado en polvo experimentalmente que fueron comparados con el colágeno obtenido por: Cristian Darío Ramos Collaguazo en su proyecto "Obtención y caracterización de colágeno a partir de las escamas de pescados rojo y pardo", Sandra Elizabeth López Sampedro y Manuel Almeida Hidalgo (2018) en su proyecto "Obtención de colágeno de escamas hidrolizado con rennina" el contenido de proteínas obtenido experimentalmente fue del 39,4% lo que coincide con el colágeno obtenido por dichos proyectos ,sin embargo existen otros proyectos en el que se obtuvo hasta un 87% de proteínas en las pieles lo que significa que su uso es para el sector industrial ,según la bibliografía consultada menciona que el contenido de proteínas puede variar hasta un 87% ya que depende de la especie de pez, de la zona en la que hayan sido capturados o de la región de cultivo, de los métodos de extracción y los alimentos que los organismos hayan consumido durante su vida. (Bing Wang, 2013).

Conclusiones

Se determinaron las características fisicoquímicas de las escamas de pescado, cuyos análisis indicaron que éste contiene un 34,8% de proteína; 0,32 % de grasa; 8,42% de humedad y 53,5% de ceniza, por lo que el pescado tiene un alto contenido de colágeno.

Se pudo establecer que las variables implicadas directamente sobre el rendimiento del colágeno son las concentraciones y tiempo de tratamiento de las soluciones de hidróxido de sodio y ácido acético, así como

también el tiempo de extracción, según el tiempo empleado y las cantidades de reactivos implicará de manera directa sobre la cantidad de colágeno a producir y el grado de hidrólisis.

El proceso adecuado y óptimo para la extracción de colágeno por el método de hidrólisis química según el software estadístico Desing Expert 13 fue a 0,1 M de concentración de hidróxido de sodio, con un tiempo de 3 horas;0,3M de concentración de ácido acético con un tiempo de 72 horas para la hidrólisis y un tiempo de extracción de 45 minutos en donde las variables que tuvieron mayor influencia sobre el rendimiento del colágeno fueron: el tiempo de extracción y el tiempo de hidrólisis, a estas condiciones se logró alcanzar un 5,555% de rendimiento, partiendo de 200 g de escamas.

Se observó que el tiempo óptimo para la hidrólisis básica fue de 3 horas con una concentración de 0,1M y 72 horas para la hidrólisis ácida con una concentración de 0,3M, esto se puede comprobar en la consistencia de la gelatina extraída, sin embargo, al emplear otras concentraciones y tiempos de los reactivos daba como resultado una gelatina menos compacta y con bajo rendimiento.

Los análisis fisicoquímicos del producto final colágeno hidrolizado en polvo obtenido indicaron que este tiene características de un polvo blanquecino, sin sabor ni olor, con 39,4% de proteína; 0,22% de grasa; 7,90% de humedad y 50,7% de ceniza ,además de que tiene un contenido de 18,7% de magnesio; 22% de calcio y 167 kcal de valor energético, lo cual lo convierte en un producto apto como suplemento para la salud de las personas que realizan deportes y otras actividades, debido a que con el pasar de los años se sufre de la pérdida de colágeno por lo que es necesario sustituirla en forma de suplementos.

El comportamiento reológico del producto indica que este es un fluido no newtoniano, que va perdiendo viscosidad conforme se va aplicando una velocidad de deformación que es afectado directamente por la temperatura.

Durante las pruebas experimentales, la producción tuvo un costo de 376,7 bs incluyendo gastos en materia prima, reactivos, energía eléctrica, agua potable, gas y otros gastos generales, de manera que producir 10gr de colágeno hidrolizado implica un costo unitario de 11,52bs, determinando así el precio de venta de 16,45 bs con una utilidad del 30% por cada 10gr de colágeno.

Referencias

Aguilar, J. C. (2024). Calculos de Reologia e Hidraulica.

Bing Wang, L. L.-H. (2013). Purificación y caracterización de un nuevo péptido antioxidante derivado del hidrolizado proteico de mejillón azul (Mytilus edulis).

Collaguazu, C. D. (2018). Obtencion y caracterizacion de colageno a partir de las escamas de pescados rojo y pardo. Obtenido de: https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/8f42b63c-1c3f-4d10-b116-eb5722458973

Cristina, G. H. (2022). REVISIÓN DE LA EFICACIA DE LOS SUPLEMENTOS DE COLAGENO Y ACIDO HIALURONICO EN LA SALUD DE LA PIEL Y EL APARATO LOCOMOTOR. Obtenido de: https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/54096/TFG-H2437.pdf

Inchaustegui, M. A. (2022). Extraccion de Colageno a partir de escamas de peces de rio por hidrolisis mixta. Obtenido de: https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/9120/Mayra_Tesis_Titulo_2023.PDF?sequence=1&isAllowed=y

Sandra Elizabeth, L. S. (2018). Obtencion de colageno de escamas hidrolizado con renina. Obtenido de: file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-ObtencionDeColagenoDeEscamasHidrolizadoConRennina-9736756.pdf

SERVICIO DE TELEVISIÓN POR CABLE EN LA CIUDAD DE SUCRE (COTES TV)

CABLE TELEVISION SERVICE IN THE CITY OF SUCRE (COTES TV)

Marco Antonio Montalvo Rodriguez
Universidad San Francisco Xavier
montalvo.marco@usfx.bo

Resumen

Recibido junio de 2025 / Aceptado abril de 2026

El artículo describe el servicio de televisión por cable ofrecido por COTES TV (parte de la Cooperativa de Telecomunicaciones Sucre Ltda.), la cual comenzó sus operaciones en 2001. El servicio se basa en una moderna infraestructura tecnológica de red HFC (Hybrid Fiber Coaxial), la cual constituye el núcleo principal del sistema y cubre toda la ciudad de Sucre y zonas periurbanas. Antes de COTES TV, el mercado de televisión por cable en Sucre tuvo dos empresas previas: BERLUC, que usó una red coaxial simple y tuvo una cobertura limitada antes de dejar de operar, y Multivisión, que ofreció el servicio con tecnología MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) desde el cerro Sica Sica con cobertura en toda la ciudad. Multivisión dejó de operar con la llegada de COTES TV. La Red HFC de COTES TV está compuesta por 38 nodos de distribución, cada uno con capacidad para cubrir hasta 500 "home passes" (viviendas). La transmisión inicia con fibra óptica y termina en cable coaxial, asegurando alta calidad de señal. La red permite ofrecer múltiples servicios como internet de banda ancha y telefonía IP, además de la televisión tradicional. La Cabecera de T.V. Cable está ubicada en la URA Este (Calle Guillermo Loayza #93). En ella se reciben, procesan y redistribuyen las señales. El equipamiento principal incluye 9 antenas satelitales (8 en banda C y 1 en banda Ku) para señales internacionales, y 3 antenas Yagui para recepción local. Las señales satelitales decodificadas se codifican con el sistema IBOSS, mientras que las locales se modulan con el sistema Rosa – Copernicus, un proceso que está migrando progresivamente a recepción digital por fibra óptica para mejorar la calidad. Finalmente, todas las señales se combinan con combinadores ANTEC para generar una única señal de RF, la cual se convierte en señal óptica por transmisores ópticos (ANTEC y Motorola) y se envía a la red HFC.

El sistema de codificación iBOSS de AEGIS permite controlar la emisión, gestionar paquetes de canales y enviar mensajes, incluyendo funcionalidades de encriptación y enmascaramiento. La red coaxial final cumple con estándares FCC como un $CNR \geq 43\ dB. En conclusión, COTES TV se consolida como el principal proveedor de Sucre con un servicio estable y de alta calidad basado en su avanzada red HFC de banda ancha.

Palabras clave: *COTES TV, Televisión por Cable, Red HFC (Hybrid Fiber Coaxial), IBOSS, Rosa – Copernicus, MMDS*

Abstract

The article describes the cable television service provided by COTES TV (part of the Cooperativa de Telecomunicaciones Sucre Ltda.), which began operations in 2001. The service is based on a modern HFC (Hybrid Fiber Coaxial) network infrastructure, which forms the core of the system and covers all of Sucre and nearby peri-urban areas. Prior to COTES TV, the cable television market in Sucre had two previous companies: BERLUC, which used a simple coaxial network and had limited coverage before ceasing operations, and Multivisión, which offered service using MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) technology from Sica Sica hill with city-wide coverage. Multivisión stopped operating with the arrival of COTES TV.The COTES TV HFC Network consists of 38 distribution nodes, each capable of covering up to 500 "home passes". Transmission starts with fiber optic cable and ends in coaxial cable, ensuring high signal quality. The network allows for the offering of multiple services, such as broadband internet and IP telephony, in addition to traditional television.The Cable T.V. Headend is located in the URA Este (Guillermo Loayza Street #93). It is where signals are received, processed, and redistributed. Key equipment includes 9 satellite antennas (8 in C-band and 1 in Ku-band) for international signals, and 3 Yagui antennas for local reception. Decoded satellite signals are encoded using the IBOSS system, while local signals are modulated with the Rosa – Copernicus system , a process progressively migrating to digital reception via fiber optic cable to improve quality. Finally, all signals are combined with ANTEC combiners to generate a single RF (Radio Frequency) signal, which is converted into an optical signal by optical transmitters (ANTEC and Motorola) and sent over the HFC network.The iBOSS by AEGIS encoding system allows for the control of signal emission, channel package management, and sending messages to users, including encryption and audio masking features. The final coaxial network complies with FCC standards like a $CNR \geq 43\ dB$. In conclusion, COTES TV is established as the main provider in Sucre with a stable, high-quality service based on its advanced broadband HFC network.

Key Words: *COTES TV, Cable Television, HFC Network (Hybrid Fiber Coaxial), , IBOSS, Rosa – Copernicus, MMDS.*

1. Antecedentes

El servicio de televisión por cable consiste en la difusión de señales de información, entretenimiento y educación a través de medios guiados (como fibra óptica o cable coaxial) o no guiados (por ejemplo, la atmósfera).

En la ciudad de Sucre, la primera empresa en ofrecer este tipo de servicio fue BERLUC , utilizando una red coaxial simple con cobertura limitada. Sin embargo, poco tiempo después dejó de operar.

La segunda empresa en ingresar al mercado fue Multivisión , ofreciendo el servicio mediante tecnología MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service). Este sistema utilizaba antenas pequeñas instaladas en los hogares y contaba con cobertura en toda la ciudad. La señal se transmitía desde el cerro Sica Sica, con línea de vista hacia toda la urbe. Con la llegada de COTES TV, Multivisión dejó de operar en Sucre.

2. Descripción del Servicio de COTES TV

COTES TV forma parte de la Cooperativa de Telecomunicaciones Sucre Ltda. e inició sus operaciones en el año 2001 , brindando servicios de televisión por cable bajo una infraestructura tecnológica moderna basada en una red HFC (Hybrid Fiber Coaxial).

2.2 Cabecera de T.V. Cable

La cabecera está ubicada en la URA Este (Calle Guillermo Loayza #93) . En esta instalación se encuentran todos los equipos necesarios para recibir, procesar y redistribuir las señales de televisión a través de la red HFC.

Equipamiento Principal:

Recepción satelital:

9 antenas satelitales: 8 en banda C y 1 en banda Ku.

Diámetros de 3.5 m, 4.3 m y 5 m.

Capaces de captar señales de satélites como Intelsat, SES6, Hispasat, PAS3, PAS9 entre otros.

Recepción local:

3 antenas Yagui sintonizadas a frecuencias VHF-Low, VHF-High y UHF.

Actualmente, algunos canales locales se reciben mediante enlaces de fibra óptica para mejorar la calidad de la señal.

3. Procesamiento de Señales

3.1 Señales Satelitales

Las señales provenientes del espacio son decodificadas mediante decodificadores satelitales específicos según la fuente de la señal. Luego son codificadas nuevamente usando el sistema IBOSS , asignando una nueva frecuencia para su transmisión dentro de la red.

3.2 Señales Locales

Las señales de canales locales son demoduladas mediante un sistema especializado (marca Barco) y luego moduladas con el sistema Rosa – Copernicus , encargado de asignar nuevas frecuencias.

Este proceso está siendo migrado progresivamente hacia una recepción digital a través de fibra óptica, lo cual mejora significativamente la calidad del audio y video.

4. Transmisión Final

Una vez codificadas y moduladas, todas las señales son combinadas mediante combinadores ANTEC , generando una única señal de RF (Radio Frecuencia), que posteriormente se convierte en señal óptica para ser enviada a través de la red HFC.

5. Equipamiento Tecnológico

5.1 Codificación y Control

Sistema iBOSS de AEGIS:

Permite controlar la emisión de señales, gestionar paquetes de canales y enviar mensajes a los usuarios.

Incluye funcionalidades como encriptación de video (TDSS e inversión) y enmascaramiento de audio.

Codificador Dual 4005:

Codifica señales de dos canales simultáneamente.

Posee control automático de ganancia (AGC) para mantener niveles adecuados.

Decodificador SIGMA 4500:

Utilizado en el plan Premium.

Permite ocultar canales, mostrar número de canal y controlar audio.

5.2 Modulación y Combinación

Moduladores ORION Barco :

Operan en un rango de 50 a 870 MHz.

Poseen bajo nivel de ruido y entrada auxiliar de audio y video.

Monitoreados mediante el software Rosa Copernicus .

Combinadores ANTEC :

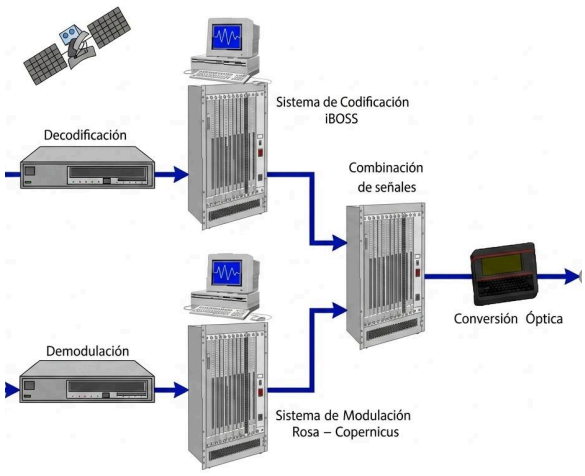
Multiplexan las señales de salida de los moduladores.

Configuración modular para obtener una señal final integrada.

6. Conversión Óptica

Los transmisores ópticos (marca ANTEC y Motorola) convierten la señal de RF a luz para su envío a través de fibra óptica. Cada nodo óptico tiene capacidad para cubrir hasta 500 hogares, asegurando una amplia cobertura.

Figura 1: *Esquema Cabecera COTES TV*



7. Red HFC de Banda Ancha

La red HFC permite ofrecer múltiples servicios además de la televisión tradicional, incluyendo internet de banda ancha y telefonía IP.

Características técnicas:

Ancho de banda downstream: 54 – 870 MHz

Ancho de banda upstream: 5 – 42 MHz

Banda de protección: 42 – 50 MHz

Topología:

Estrella desde la cabecera

Árbol ramificado (Tree & Branch) desde los nodos ópticos

La red está diseñada para tener un máximo de 3 elementos activos entre el nodo óptico y el tap más alejado, garantizando alta confiabilidad y reduciendo la distorsión de señal.

8. Nodo Óptico

Equipos fabricados por ANTEC y Motorola , diseñados especialmente para redes de banda ancha.

Principales características:

Doble entrada de fibra (redundancia)

4 salidas RF coaxiales con amplificación independiente

Amplificación de 3 etapas con híbridos GaAs y PHD

Aislamiento de puertos ruidosos

Fuente de alimentación doble (44–90 VAC)

Ancho de banda: 54 – 862 MHz (downstream), 5 – 42 MHz (upstream)

Compatible con longitudes de onda 1300 nm y 1550 nm

9. Red Coaxial

La red coaxial cumple con los estándares establecidos por la FCC:

Tabla 1: *Redes Coaxiales COTES TV*

Parámetro	Valor
CNR (Carrier to Noise Ratio)	≥ 43 dB
CTB (Composite Triple Beat)	≥ 51 dB
CSO (Composite Second Order)	≥ 51 dB
HUM (Distorsión armónica)	≤ 3 %

Componentes principales:

Taps : De 1 GHz y 12 A de paso de corriente

Cables coaxiales : .500 y .750 (distribución troncal)

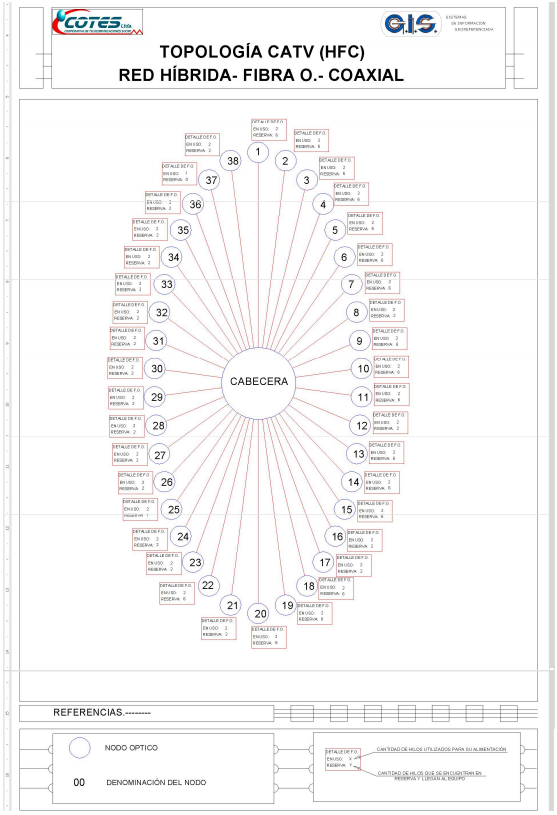
Cable RG6 : Para conexión directa con los usuarios

10. Conclusión

El sistema de televisión por cable implementado por COTES TV es una solución tecnológica avanzada basada en una red HFC de banda ancha , capaz de soportar servicios adicionales como internet de alta velocidad y telefonía IP.

Gracias a su infraestructura moderna, mantenimiento constante y equipos de alta calidad, COTES TV ofrece un servicio estable, seguro y de alta calidad, consolidándose como el principal proveedor de televisión por cable en la ciudad de Sucre.

Figura 2: *Diagrama de bloques general detallando el procesamiento y flujo de señal de COTES TV Sucre, desde la recepción satelital hasta la red HFC y la inserción de canales locales y premium.*



Conclusiones

El servicio de televisión por cable de COTES TV en Sucre, concluyendo que la empresa ha implementado una solución tecnológica avanzada que la consolida como el principal proveedor en la ciudad. Esta posición se fundamenta en su moderna infraestructura, equipos de alta calidad y mantenimiento constante, lo que se traduce en un servicio estable, seguro y de alta calidad.La principal conclusión tecnológica es que el sistema está basado en una red HFC (Hybrid Fiber Coaxial) de banda ancha, la cual no solo distribuye televisión, sino que también es capaz de soportar la oferta de servicios adicionales como internet de alta velocidad y telefonía IP.

Esta red principal abarca toda la ciudad de Sucre y zonas periurbanas, y está diseñada con una capacidad modular, compuesta por 38 nodos de distribución capaces de cubrir hasta 500 "home passes" cada uno.

Desde la perspectiva de la calidad y la ingeniería, el sistema garantiza una alta calidad de señal porque la transmisión inicia en fibra óptica y termina en cable coaxial. La red HFC opera con un ancho de banda "downstream" de 54 a 870 MHz y un "upstream" de 5 a 42 MHz.

Además, la topología de la red combina un diseño en estrella desde la cabecera y de árbol ramificado (Tree & Branch) desde los nodos ópticos, con un diseño que limita a un máximo de tres elementos activos entre el nodo y el tap más lejano para reducir la distorsión y garantizar una alta confiabilidad. Los nodos ópticos, fabricados por ANTEC y Motorola, incluyen una característica clave de doble entrada de fibra para redundancia.

En el proceso de la Cabecera de T.V. Cable, se concluye que se utilizan equipos específicos y de control: las señales satelitales decodificadas son codificadas nuevamente mediante el sistema IBOSS de AEGIS, el cual incluye control de emisión y funcionalidades de encriptación de video. Las señales locales se procesan con el sistema Rosa – Copernicus, y se está migrando progresivamente a una recepción totalmente digital a través de fibra óptica para una mejora significativa en la calidad de audio y video. Finalmente, la red coaxial cumple con los estándares de la FCC, manteniendo una Relación Portadora Ruido (CNR) $\ge 43\ dB$ y Relación Triple Batido Compuesto (CTB) $\ge 51\ dB$, lo que valida la robustez técnica del servicio ofrecido.

Referencias

Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes (ATT). (2023). Estado de situación de las telecomunicaciones en Bolivia: Primer Semestre 2023. ATT.

CommMesh. (2025, 23 de abril). Comprenda qué es la red HFC, sus ventajas y aplicaciones.

Cooperativa de Telecomunicaciones Santa Cruz (COTAS). (2024, 27 de noviembre). ¿Cuál es la diferencia entre el internet HFC y el de Fibra Óptica 100%?

Fiber Broadband Association LATAM (FBA LATAM). (2025, 23 de septiembre). Panorama de inversión en fibra óptica en América Latina 2025.

García, A. D. (2021). Evolución de las redes HFC a DOCSIS 3.1: Desafíos y oportunidades en la última milla. Revista de Ingeniería y Tecnología.

La Razón. (2025, 4 de agosto). Televisión por cable: En un año, 75.333 usuarios dejaron de usar el servicio. Economy.

Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda (MOPSV). (2024, 29 de noviembre). Gobierno anuncia desplazamiento de fibra óptica al 100% en capitales de municipio.

Precision Optical Technologies. (2024, 18 de diciembre). ¿Qué es FTTx y HFC? 5 diferencias principales, explicadas.

Televes. (2022, 10 de octubre). Redes CATV: ¿cómo han evolucionado las redes de cable para TV e internet en los últimos años? Blog Corporativo Televes.

Vargas Martinez, J. (2021). Red HFC [Informe de Proyecto Universitario]. Universidad Autónoma “Gabriel René Moreno”, Santa Cruz, Bolivia.

DESEMPEÑO DEL EQUIPO CARGADOR DE PILAS

BATTERY CHARGER PERFORMANCE

Alfredo Javier Zambrana Zelada
Universidad San Francisco Xavier
zambrana.alfredo@usfx.bo

Recibido junio de 2025 / Aceptado abril de 2026

Resumen

El presente estudio evaluó la funcionalidad del equipo cargador de pilas alcalinas REGENBOX (denominado “régénérateur de piles alcalines”), cuyo objetivo principal es prolongar la vida útil de las pilas no recargables. Este dispositivo, de diseño de código abierto y desarrollado por Thomas Ortiz y Cédric Carles, utiliza una patente de dominio público de Karl Kordesh. El RegenBox está diseñado para regenerar o recargar pilas alcalinas AA y AAA enviando corriente en forma de microimpulsos de carga lenta. La metodología incluyó el armado del circuito y el ensamblaje del equipo. Se recolectaron un total de 19 pilas alcalinas (4 AA y 15 AAA) de estado desconocido. El procedimiento de prueba consistió en medir la tensión inicial y someter las pilas (con voltajes iniciales menores a 1.5 Vcc) hasta tres ciclos de carga, con tiempos variables de hasta 560 minutos, y un lapso de espera final de tres días para la medición de la tensión resultante. Las características de salida del equipo medidas fueron una tensión pico a pico (Vpp) de1.08 \V y una frecuencia (F) de 7.78 Hz.

Los resultados demostraron que el voltaje de las pilas aumentó en función del tiempo de carga. De las 19 pilas evaluadas, 7 ya presentaban la carga nominal completa, dejando un banco de trabajo de 12 pilas. Se registró un incremento progresivo en la eficiencia del cargador, alcanzando un 41.7% de eficiencia en la primera carga (voltaje >1.40 V), un 75.0% en la segunda (>1.47 V), y un 83.3% con una tercera carga. Además, se observó que el 89.5% del total de pilas mantuvo su carga después de 30 días. Se concluyó que el equipo presenta un desempeño aceptable, incluso sugiriendo que pilas con voltajes menores a 0.9 V pueden ser sometidas a procesos de carga para regeneración. Se recomendó optimizar los parámetros, generalizar la tecnología a más tipos de pilas e implementar circuitos de automatización.

Palabras clave: *Regeneración de pilas, Pilas alcalinas, RegenBox, Voltaje, Cargador de pilas, Eficiencia energética.*

Abstract

The present study evaluated the functionality of the REGENBOX alkaline battery charger (referred to as “régénérateur de piles alcalines”), whose main objective is to extend the lifespan of non-rechargeable batteries. This open-source device, developed by Thomas Ortiz and Cédric Carles, uses a public-domain patent by Karl Kordesh. The RegenBox is designed to regenerate or recharge AA and AAA alkaline batteries by sending current in the form of slow-charge micro-pulses. The methodology included assembling the circuit and the device. A total of 19 alkaline batteries (4 AA and 15 AAA) of unknown condition were collected. The testing procedure consisted of measuring the initial voltage and subjecting the batteries (with initial voltages below 1.5 VDC) to up to three charging cycles, with variable charging times of up to 560 minutes, followed by a final waiting period of three days to measure the resulting voltage. The measured output characteristics of the device were a peak-to-peak voltage (Vpp) of 1.08 V and a frequency (F) of 7.78 Hz.

The results showed that the battery voltage increased as a function of charging time. Of the 19 batteries evaluated, 7 already had full nominal charge, leaving a working set of 12 batteries. A progressive increase in charger efficiency was recorded, reaching 41.7% efficiency in the first charge (voltage >1.40 V), 75.0% in the second (>1.47 V), and 83.3% with a third charge. Additionally, 89.5% of all batteries retained their charge after 30 days. It was concluded that the device exhibits acceptable performance, even suggesting that batteries with voltages below 0.9 V can be subjected to charging processes for regeneration. It was recommended to optimize the parameters, generalize the technology to more battery types, and implement automation circuits.

Key Words: *Battery regeneration, alkaline batteries, RegenBox, voltage, battery charger, energy efficiency.*

1. Introducción

Se procedió a la recepción de los componentes y partes del equipo cargador de pilas REGENBOX, denominado regenerador de pilas alcalinas “régénérateur de piles alcalines”, con el objetivo de generar un diagnóstico que permita comprobar su funcionalidad, principalmente de las siguientes recomendaciones de fábrica:

- Pilas alcalinas
- Tensión < 0.9 V ↣ para reciclaje
- Tensión de 0.9 V a 1.3 V ↣ para regeneración
- Tensión de 1.3 V a 1.5 V ↣ para recargar

Una vez armado el circuito y ensamblado el equipo, se recolectaron 19 pilas de estado desconocido. Codificadas se procedió a la lectura de sus tensiones, en pares se fueron cargando variando tiempos y midiendo los voltajes alcanzados en cada etapa.

Los datos obtenidos fueron registrados y analizados para determinar el cumplimiento de su funcionalidad.

2. Marco

2.1 Pilas o Baterías

Una batería se compone de un conjunto de pilas interconectadas entre sí en serie o en paralelo, y a diferencia de algunas pilas, las baterías siempre son recargables.

Las baterías están compuestas por celdas, y cada una de ellas tiene los tres componentes que también encontramos en una pila: un cátodo, un ánodo y un electrolito. Además de estos tres elementos, contienen una cámara de aire y un contenedor para todos estos elementos.

[1]Anexo 1
[2]Regenerar, recuperar sólo parte de su capacidad
[3]Recargar, consigue capacidad completa

Por tanto, las pilas conllevan un fuerte impacto ambiental y demandan un conocimiento adicional para desecharlas de forma correcta. No obstante, también es cierto que las baterías van perdiendo carga con el tiempo cuando no se utilizan. Las pilas, en cambio, mantienen su carga, aunque no estén en uso (aunque los componentes químicos que la constituyen sí se deterioran).

Las pilas serían generadores primarios de energía, ya que ellas mismas crean la electricidad a partir de la reacción química. Las baterías, sin embargo, son generadoras secundarias de energía, porque necesitan otro dispositivo primario, como es la pila, para generar energía.

Motivos por los cuales encontramos pilas o baterías recargables y pilas desechables, entre las desechables por su composición o por su forma.

➤ Baterías o pilas recargables. -

Como su nombre indica, pueden recargarse sin necesidad de desecharlas, por varias veces, lo que evita la contaminación. Entre las principales se tiene:

- **Níquel cadmio. -** Habitualmente de níquel cadmio (NiCd), pilas de níquel e hidruro metálico (NiMH) y pilas de ion de litio (Li-Ion). Las primeras suelen ser las menos habituales por su menor vida útil y cuentan con el gran problema del efecto memoria: la capacidad de carga se ve afectada si se la carga antes de que esté totalmente descargada y puede ser dañino si se libera en el medio ambiente.
- **Níquel metal hidruro. -** NiMH, son las más habituales por no presentar el efecto memoria.
- **Iones de litio. -** Populares debido a su alta capacidad de energía y su bajo efecto de memoria. Tasa de descarga más baja que las pilas NiMH y una vida útil más larga. Sin embargo, también son más costosas, degradación bastante rápida y pueden ser peligrosas si se dañan o se cargan incorrectamente, por su sensibilidad a temperaturas elevadas.
- **Polímero de iones de litio. -** Similares a las pilas de iones de litio, pero son más delgadas y flexibles, lo que las hace adecuadas para dispositivos que requieren una forma específica. Tienen una capacidad de carga alta y una vida útil más larga que las pilas NiMH, pero también pueden ser peligrosas si se dañan o se cargan incorrectamente.
- **Plomo-ácido. -** Las pilas de plomo-ácido son las pilas recargables más antiguas, tienen una vida útil más corta que otros tipos de pilas recargables. Además, contienen ácido sulfúrico, lo que las hace peligrosas si se dañan y pueden ser perjudiciales para el medio ambiente si no se reciclan adecuadamente.

➤ Pilas desechables. -

Por su composición:

- **Pilas salinas. -** Las pilas salinas funcionan con cloruro de cinc y cloruro de amonio como electrolito. Por lo general son las más baratas y las que menos duran, apenas utilizadas por ser casi siempre las pilas alcalinas las que decide comprar cada consumidor.
- **Pilas alcalinas. -** Tienen una mejor vida útil, durarán más y tienen mayor densidad de energía o lo que es lo mismo, más potencia si el aparato lo requiere. Se diferencian por su composición: utiliza hidróxido de potasio como electrolito encargado de producir la energía, en lugar del cloruro que utilizan las anteriores.
- **Pilas de zinc-carbono. -** Las pilas de zinc-carbono son una alternativa económica a las pilas alcalinas. Tienen una vida útil más corta que las pilas alcalinas y no son tan efectivas en dispositivos de alta potencia.
- **Pilas de litio. -** Las pilas de litio son más ligeras y tienen una vida útil más larga que las pilas alcalinas y de zinc-carbono. Se utilizan en dispositivos electrónicos de alta potencia, como cámaras digitales, marcapasos y audífonos, debido a su capacidad para proporcionar una tensión constante durante un período prolongado de tiempo.
- **Pilas de mercurio. -** Las pilas de mercurio se utilizan en dispositivos electrónicos de baja potencia, como cámaras de película y medidores de glucemia. Sin embargo, están siendo eliminadas gradualmente debido a preocupaciones ambientales ya que el mercurio es un metal pesado tóxico que puede ser dañino si se libera en el medio ambiente

Por su forma:

- **Las más comunes son las Pilas AA:** (UM3 o LR3), también conocidas como “doble A”, son el tamaño de pila más popular, tienen un voltaje de 1,5 V y se usan en una multitud de aplicaciones que requieren un consumo algo alto, pero no constante o demanda energética mínima de uso constante **como calculadoras o relojes de pared, respectivamente.**
- **Las Pilas AAA:** (UM4 o LR6), tienen el mismo voltaje que las AA, pero son más pequeñas. También conocidas como “triple A”, son el segundo tipo de batería más popular. Se utilizan para dispositivos pequeños como controles remotos, temporizadores que consumen menos energía debido a su menor tamaño.
- **Pilas AAAA**: no son tan comunes como las AA y AAA, utilizadas a menudo en linternas LED y punteros láser, medidores de glucosa, controles remotos de audífonos y lápices ópticos, por su buena potencia y tamaño reducido.
- **Pilas C:** perfectas para aparatos que requieren un uso frecuente como juguetes, linternas y radios portátiles, con energía segura y confiable.
- **Pilas D:** Son las más grandes de las cilíndricas, se utilizan en dispositivos que requieren un período prolongado e intensivo de energía, estas pilas funcionan mejor en linternas grandes, dispensadores de toallas de papel, sistemas de ambientadores, calefones y dispensadores de jabón.
- **Pilas de botón:** Son redondas y chatas, y pueden tener un voltaje de 1.5 V o 3 V. Se usan en relojes y calculadoras.
- **Pilas de petaca:** Son rectangulares, grandes y tienen un voltaje de 4.5 V.
- **Pilas PP3:** Son rectangulares y tienen un voltaje de 9 V.

3. Contexto

En el mercado sólo existen equipos para pilas recargables.

Tabla 1. *Equipos para pilas recargables*

Especificaciones del Producto	Detalle Visual
• Energizer 639837 - Cargador para 4 pilas AA con luz LED, sonido de estado y apagado automático por sobrecarga. (23.98 EUR)	
• Amazon Basics - Cargador para 4 pilas AA con protección contra sobrecargas y tecnología de alimentación conmutada. (13.76 EUR)	
• POWEROWL - Cargador para 8 pilas recargables AA y AAA con indicador LED de carga lenta. (25.99 EUR)	

Fuente: *Elaboración propia, 2025*

El equipo del presente proyecto, RegenBox indica presentar las siguientes funcionalidades y peculiaridades (mayo 2017)

- Invento de Karl Kordesh, químico y científico austriaco
- Desarrollado por Thomas Ortiz y Cédric Carles, gracias a una financiación colectiva.
- Prolonga la vida de las pilas no recargables
- Minimiza el efecto contaminante
- Dispositivo capaz de recargar o, más exactamente, regenerar las pilas de un solo uso
- Open source basado en una patente que ya pertenece al dominio público.
- Para uso en pilas alcalinas AA y AAA.
- Regenera o recarga, enviando corriente en forma de micro-impulsos, en una carga lenta.

Figura 2 *Características del Equipo RegenBox*



[4]*Fuente abierta que cualquiera puede inspeccionar, modificar y mejorar*

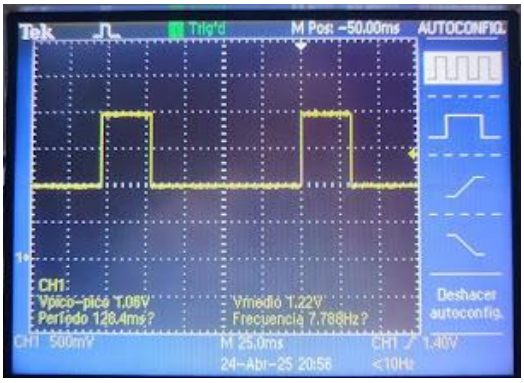


4. Metodología

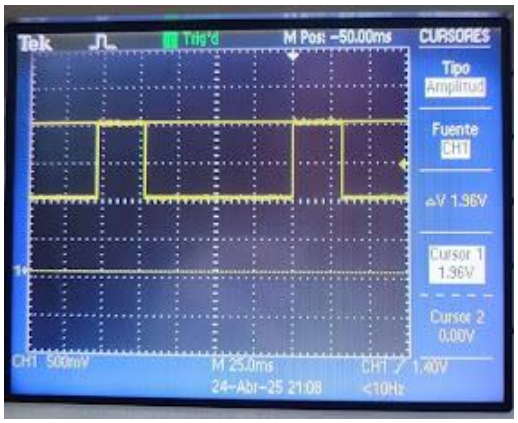
4.1 Características del equipo[5]:

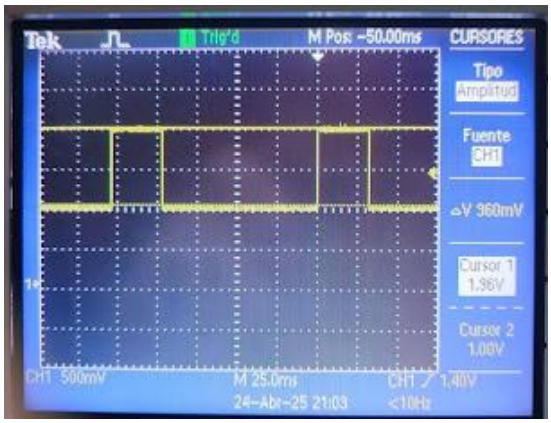
- Temperatura: Ambiental: 22 °C, servicio 0 a 40 °C
- Dimensiones: 172 * 92 * 25 mm
- Entrada: Alimentación vía adaptador USB, conector tipo B, 5 Vcc
- Salida: Vpp = 1.08 V, F = 7.78 Hz

Figura 3 *Señales del equipo*

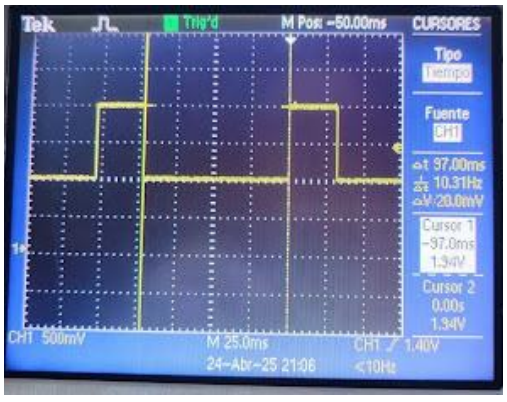


[5]*Mediciones realizadas con el Osciloscopio Tektronix TDS 2014B, Anexo 4*









4.2 Banco de pilas:

- Se recolectó un banco de 14 pilas (3 AA y 11 AAA) al que adiciona 5 pilas (1 AA y 4 AAA), de estado igualmente desconocido.
- Entrada: Alimentación vía adaptador USB, conector tipo B, 5 Vcc
- Salida: Vpp = 1.08 V, F = 7.78 Hz

4.3 Procedimiento:

[6] Anexo 3

- Se toma el Voltaje Inicial “Vo” y se procede a una primera carga en pares de pilas por un tiempo variable desde 120 minutos hasta 560 minutos (pilas con Vi > 1.5 Vcc no se cargan) midiendo el voltaje resultante “Vo”.
- A aquellas que no alcanzaron la carga, se procede a un nuevo cargado T1 por 120 minutos, obteniéndose las respectivas resultantes V1.
- Posteriormente para las que no lograron la su tensión nominal, un nuevo proceso de carga por 360 minutos, registrando el voltaje alcanzado V2
- Finalmente, un lapso de espera de tres días para realizar el registro final y proceder a analizar los datos obtenidos.

5. Registro

Tabla 2 *Registro*

Pilas	Voltaje Inicial (V)	Tiempo T0 (h:m:s)	Voltaje 0 (V)	Tiempo T1 (h:m:s)	Voltaje 1 (V)	Tiempo T2 (h:m:s)	Voltaje 2 (V)	20/02/25
~~A1~~	~~1,57~~	~~0:00:00~~						1,58
~~A2~~	~~1,51~~	~~0:00:00~~						1,52
A3	1,45	3:32:00	1,48	3:30	1,52			1,48
A4	1,46	3:32:00	1,48	3:30	1,52			1,49
~~A5~~	~~1,54~~	~~0:00:00~~						1,56
A6	1,33	3:26:00	1,39	3:30	1,47	6:00	1,474	1,38
A7	1,33	4:50:00	1,38	3:30	1,46	6:00	1,479	1,4
A8	1,31	3:26:00	1,39	3:50	1,49			1,39
A9	1,22	9:19:00	1,26	3:50	1,29	6:00	1,299	1,27
A10	1,21	9:19:00	1,25	3:50	1,30	6:00	1,218	0,01
A11	0,07	4:50:00	1,25	3:50	1,56			1,28
A12			~~1,50~~					1,5
A13			~~1,54~~					1,55
A14			1,41	3:50	1,50			1,43
A15			1,41	3:50	1,50			1,43
B0	1,16	10:33:00	1,35	3:30	1,44	6:00	1,504	1,24
~~B1~~	~~1,61~~	~~0:00:00~~						1,5
~~B2~~	~~1,61~~	~~0:00:00~~						1,67
B3			1,49	7:30	1,57			1,5
					~~Nota. No requieren carga~~			

Fuente: *Elaboración propia, 2025*

6. Análisis

- **Desempeño General**: El voltaje alcanzado aumentó con el tiempo de carga, lo que sugiere una relación positiva entre el tiempo de carga y la potencia final del sistema.
- **Eficiencia**: De 19 pilas, 7 presentan la carga completa nominal, por lo que el banco de trabajo es de 12 pilas.

- Se midió la eficiencia del sistema cargador, obteniendo un porcentaje de 41.7 % en la primera carga (>1.40 V), y con la segunda carga de 75.0 % (>1.47 v), alcanzando el 83.3 % con una tercera carga.

- Del total de pilas, 89.5 % siguen manteniendo su carga a los 30 días.

- 5.3 % presentan corrosión y sulfatación pese haber pasado todo el proceso de carga

7. Conclusiones

El equipo cargador demuestra un desempeño aceptable, más considerando el estado desconocido de las pilas, proporcionando un incremento en el voltaje a medida que transcurre el tiempo.

Por lo que se concluye que incluso pilas alcalinas con voltajes menores a 0.9 V pueden ser sometidas a procesos de carga, para regeneración y pilas con una tensión de al menos 1.31 V en 7 horas alcanzan su carga completa

[7] Sustancia ácida que reacciona con el plomo, formando cristales de sulfato de plomo

8. Recomendaciones

Optimizar los parámetros de operación con una mayor cantidad de equipos.

Generalizar la tecnología para más tipos de pilas.

Activar un sistema de selección de pilas previo, para determinar condiciones de las pilas.

Implementar circuitos adicionales como voltímetros y cronómetros que faciliten los procedimientos con miras a la automatización

9. Referencias

•Alkalay, A. (2015). Recuperación de la energía de las baterías alcalinas: el método de descarga de corriente pulsada. Journal of Power Sources, 283 , 468-472. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.03.012

Castillo-Velázquez, JI (2018). Tecnología para el tratamiento de pilas y baterías desechadas a partir de equipos electrónicos portátiles. IV Congreso Internacional de Ciencias Ambientales ANCA 2005. https://www.researchgate.net/publication/324273111

Chen, Z., Ma, Y., Zhou, Y., Yan, Z., Liu, S., Li, H., y Chen, G. (2023). Regeneración de baterías de vehículos híbridos y eléctricos: revisión del estado del arte, desafíos actuales y perspectivas futuras. Batteries, 10 (3), 101 https://doi.org/10.3390/batteries10030101

Chen, G., Liu, B., Xu, J., Zhang, C., Cheng, X., Zhang, S., Zhang, W. y Feng, Z. (2024). Gestión sostenible y ecológica de baterías de iones de litio usadas mediante el reciclaje de hidroxiácidos y la regeneración directa del material activo del electrodo positivo: una revisión. Batteries, 11 (2), 68. https://doi.org/10.3390/batteries11020068

Egelkamp, M., & Egle, L. (2024). Almacenamiento de energía libre de PFAS: investigación de alternativas para las baterías de iones de litio. Environmental Science & Technology, 58 (5), 2465-2475. https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06083

Jaimes Páez, CD, y Sequeda León, EM (2017). Valorización de la pasta anódica de pilas alcalinas gastadas a través de un proceso consecutivo de lavado, lixiviación y calcinación . Universidad Industrial de Santander. https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/36590

Hernández Hernández, OE (2019). Reciclaje de pilas alcalinas e ion litio para recuperación de metales. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000788065

Normas Técnicas para SST, https://www.mintrabajo.gob.bo/?page_id=434

Pérez-Rodríguez, A., Álvarez-García, C. y Rivas-Vázquez, I. (2020). Estudio comparativo del proceso de regeneración de baterías alcalinas usadas mediante una técnica de corriente pulsada. Journal of Energy Chemistry, 45, 24-31 https://doi.org/10.1016/j.jechem.2019.10.019

Wang, R., Huang, S., Chen, Y., Fan, Y. y Liang, B. (2020). Regeneración de materiales catódicos de baterías de iones de litio usadas con degradación mixta procedente de aplicaciones de energía y consumo. Journal of Hazardous Materials, 397 , 122756 https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122756

https://www.regenbox.org

https://ecoinventos.com

MITIGACIÓN DE RIESGOS EN LA PERFORACIÓN: SIMULACIÓN DEL DESCONTROL EN EL POZO MGD-7, CAMPO MONTEAGUDO

RISK MITIGATION IN DRILLING: SIMULATION OF THE BLOWOUT AT WELL MGD-7, MONTEAGUDO FIELD

Rodrigo Padilla Torres
Universidad San Francisco Xavier
padilla.rodrigo@usfx.bo
https://orcid.org/0009-0000-8300-4135

Recibido junio de 2025 / Aceptado abril de 2026

Resumen

La perforación de pozos de petróleo es una actividad de alto riesgo que requiere una gestión cuidadosa para prevenir incidentes graves. La metodología Bowtie es una herramienta eficaz para la gestión de riesgos, ya que permite visualizar las amenazas, las barreras preventivas y mitigantes, así como los factores de escalamiento de un peligro específico.

El incidente ocurrido en el pozo MGD-7 (Campo Monteagudo, Bolivia; 1 de diciembre de 1967) representa un evento crítico en la historia de la ingeniería petrolera boliviana, al evidenciar fallas sistémicas en los protocolos de control de pozos. El presente estudio tiene como objetivo reevaluar dicho evento mediante un enfoque multidisciplinario que integra simulación numérica y análisis histórico. Se aplicó el Método del Perforador como herramienta de simulación para estimar escenarios alternativos de respuesta. Los resultados indican que una aplicación oportuna de este método habría reducido el tiempo de control de seis meses a 1 hora y 35 minutos, con un ahorro estimado de USD 1,9 millones en costos operacionales, derivados principalmente de la perforación de pozos de alivio y la intervención del pozo afectado.

Los parámetros operativos críticos identificados (densidad del fluido: 10,7 lb/gal; ICP/FCP: 426/194 psi) permiten establecer un marco cuantitativo para el diseño de protocolos preventivos en formaciones geológicas análogas. Los hallazgos subrayan la importancia de la integración de tecnologías de monitoreo en tiempo real para reducir la ocurrencia de eventos catastróficos, respaldando modelos teóricos previamente establecidos.

Palabras clave: *Control de pozos, descontrol, simulación, tiempo de control, influjo.*

Abstract

Oil well drilling is a high-risk activity that requires careful management to prevent serious incidents. The Bowtie methodology is an effective tool for risk management, as it allows for visualization of threats, preventive and mitigating barriers, and escalation factors for a specific hazard.

The incident that occurred at the MGD-7 well (Monteagudo Field, Bolivia; December 1, 1967) represents a critical event in the history of Bolivian petroleum engineering, as it revealed systemic failures in well control protocols. This study aims to reassess the event through a multidisciplinary approach that integrates numerical simulation and historical analysis. The Driller's Method was applied as a simulation tool to estimate alternative response scenarios. The results indicate that timely application of this method could have reduced the control time from six months to 1 hour and 35 minutes, with an estimated operational cost saving of USD 1.9 million, mainly associated with the drilling of relief wells and intervention in the affected well. The identified critical operational parameters (fluid density: 10.7 lb/gal; ICP/FCP: 426/194 psi) provide a quantitative framework for the development of preventive protocols in geologically analogous formations. The findings emphasize the importance of integrating real-time monitoring technologies to reduce the occurrence of catastrophic events, supporting previously established theoretical models.

Key Words: *Well control, control time, blowout, operational risks, well MGD-7, inflow.*

Introducción

Los problemas de control de pozos constituyen un desafío permanente en la industria petrolera, debido a la gran cantidad de energía liberada durante un flujo no controlado de petróleo o gas. En este sentido, la ocurrencia de pozos descontrolados continuará representando un riesgo inherente mientras se realicen operaciones de perforación en cualquier parte del mundo (Grace, 2017).

Los eventos de descontrol en pozos petroleros representan uno de los mayores riesgos operacionales durante las fases de perforación, pudiendo generar consecuencias críticas en términos de seguridad, impacto ambiental y costos económicos. Estos accidentes no solo comprometen la integridad del pozo y la continuidad operativa, sino que también ponen en riesgo los recursos estratégicos vinculados a la

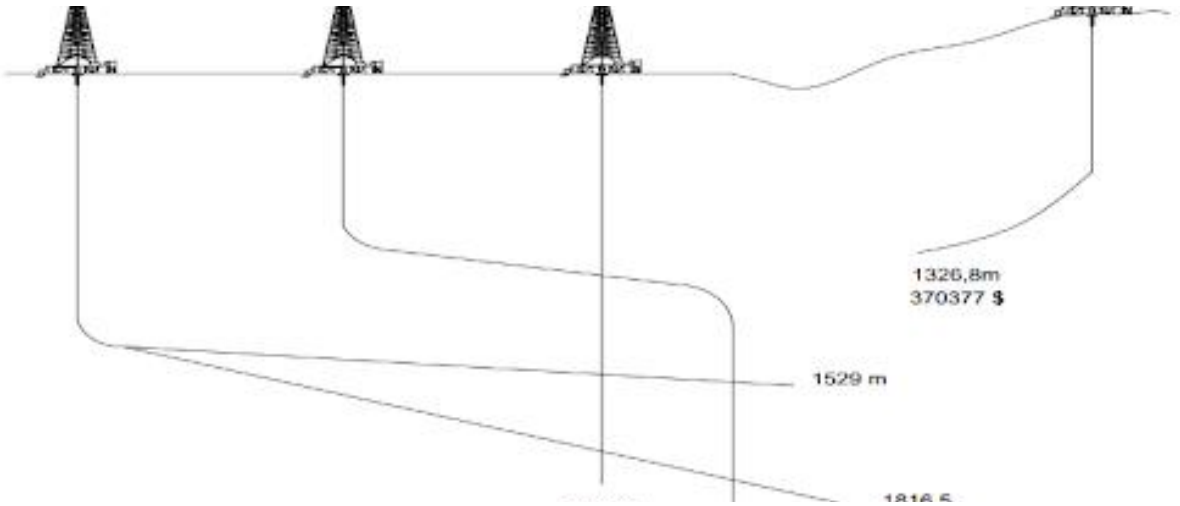
exploración y producción de hidrocarburos dentro de la cadena de valor de la industria petrolera (Ghorbani et al., 2021). Estos accidentes a menudo originados por influjos no controlados desde la formación hacia el pozo, han motivado el desarrollo de múltiples estrategias de prevención, tales como dispositivos de control de presión en superficie, que son los sistemas preventores de reventones (conocido como ***Blowout Preventer***, BOP) que permiten aislar el pozo en situaciones críticas, aplicando los métodos de cierre progresivo tanto el cierre duro o el cierre blando y los programas de capacitación acreditados internacionalmente (Jimenez Moreno et al., 2022). Sin embargo, las fallas en la detección temprana de influjos, la limitada integración de modelos multifísicos en los análisis históricos y los márgenes operativos reducidos, continúan generando escenarios de alta vulnerabilidad técnica, especialmente en contextos geológicos complejos o con equipos obsoletos (Kropla, 2008).

Aunque la industria ha avanzado con programas como el WellCAP de la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (conocida como *International Association of Drilling Contractors*, IADC) que estandarizó la capacitación con simuladores y protocolos de cierre (Jimenez Moreno et al., 2022) y mejoras operativas como en la compañía Petrobras que redujo su tasa de influjos en un 85% desde 1997 (Kropla, 2008), ya que persisten tres desafíos críticos. El primero son las limitaciones de modelos multifísicos, ya que los análisis históricos carecen de acoplamiento termohidráulico - geomecánico (WCS, 2003), por ejemplo los modelos bifásicos para lodos base agua (conocido como ***Water Based Mud***, WBM) ignoran el deslizamiento de gas en fondos de mezcla (J. An et al., 2015).

El segundo es la incertidumbre en métodos de cierre del pozo, ya que no hay consenso entre cierre duro que tiene un riesgo de golpe de ariete y el cierre blando que consiste en una apertura del estrangulador durante cierre del BOP (Yap & Laruccia, 2023). Y el tercer desafío es la dependencia de sistemas BOP, su falla por errores humanos o mantenimiento inadecuado sigue siendo un punto débil (Ghorbani et al., 2021). Uno de los casos más representativos de esta problemática fue el descontrol del pozo MGD-7, ocurrido en el Campo Monteagudo (Bolivia) en 1967, cuyo descontrol duro 6 meses, sin incendiarse in situ, que generó derrames incontrolados de hasta 1 000 barriles de petróleo por día (BPD) y graves impactos ambientales (CNIH, 1968). Este evento evidenció una brecha tecnológica significativa para la época, al carecer de BOP con ariete variable y de protocolos estandarizados de respuesta inmediata (API, 2006; Instituto Argentino del Petroleo y del Gas, 2020). A pesar de avances posteriores en simulación computacional, aún persisten desafíos técnicos para modelar con precisión la interacción entre el fluido de perforación, el gas fluyente y las condiciones termohidráulicas del pozo, especialmente en influjos superficiales (Moura, 2015) .

La Figura 1 representa el estado final, profundidad alcanzada y los costos de operación del pozo descontrolado MGD-7, junto con la trayectoria y costos de operación de los pozos de alivio MGD-8, MGD-9 y MGD-10. Los primeros dos intentos (MGD-8 y MGD-9) no lograron interceptar exitosamente el pozo descontrolado, en cambio, el pozo MGD-10 fue el único que consiguió la intersección efectiva, después de 42 días convirtiéndose en el pozo de alivio funcional y posteriormente en un pozo productor (CNIH, 1968).

Figura 1: *Esquema de perforación del pozo MGD-7 y pozos de alivio*



Fuente: *Centro Nacional de Información Hidrocarburífera (CNIH, 1968)*

Frente a este escenario, el presente estudio plantea reevaluar el evento del pozo MGD-7 mediante simulación numérica multifísica, integrando modelos termohidráulicos y ecuaciones de control bajo la Práctica Recomendada 59 del Instituto Americano del Petróleo (conocido como *American Petroleum Institute-Recommended Practice* 59, API- RP 59) y el Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG).

Esta investigación tiene como alcance el análisis del evento de descontrol del pozo MGD-7, con el fin de representar el comportamiento del influjo bajo condiciones operativas específicas. La revisión bibliográfica, junto con la integración de registros técnicos históricos, permitido establecer un marco de referencia aplicable a otros escenarios de perforación en contextos similares. De esta manera, el estudio se centra en la comprensión técnica del fenómeno y en la evaluación de metodologías de control de pozos, sin pretender agotar la totalidad de las variables involucradas en accidentes de esta naturaleza.

Metodo de revisión bibliográfica

El trabajo se desarrolló bajo dos condiciones principales, la primera correspondió al acceso a la información técnica del pozo, disponible en el Centro Nacional de Información Hidrocarburífera (CNIH) en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, cuyos registros datan de 1968. La segunda condición estuvo vinculada con la idealización del tipo de influjo utilizado en la modelación del comportamiento del pozo. Este aspecto se abordó mediante una solución iterativa alternada de control de pozos, en la cual cada subproblema (e.g., la ubicación del pozo) se resuelve tras actualizar de manera independiente las variables de otro subproblema. Para ello, se introdujo una restricción de distancia entre pozos con el fin de evitar soluciones no deseadas, lo que permitió definir un conjunto óptimo de pozos en una región acotada (Semnani et al., 2021).

Se implementó un enfoque metodológico no experimental, transversal y cuantitativo para analizar el accidente del pozo MGD-7, este diseño permitió examinar retrospectivamente las variables operativas sin manipulación

experimental, siguiendo los lineamientos establecidos por (Yin, 2017) para estudios de casos históricos en ingeniería petrolera.

Para las fuentes de datos en la investigación se basó en dos categorías principales de información. La primera fue los registros operacionales primarios del pozo MGD-7 (coordenadas: X= 40 177 759, Y=77 833 360, Z=124 29), obtenidos de los archivos técnicos de la CNIH dependiente de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos -YPFB correspondientes al período 1967-1968, estos incluyeron registros diarios de perforación, reportes de presión y análisis de fluidos (CNIH, 1968). La segunda categoría fue la documentación técnica especializada, particularmente el manual (API, 2006; Instituto Argentino del Petroleo y del Gas, 2020) sobre control de pozos y el protocolo del Instituto de Control de Pozos (conocido como Well Control Institute, WCI) (IADC IWCF, 2013), que sirvieron como marco de referencia para la validación metodológica.

Las ecuaciones usadas por el simulador *Drilling Simulator* 3 para determinar la capacidad y volumen en el llenado de la hoja de control son las que se muestran a continuación, donde se tiene a la capacidad en la parte interna (Cap_{int}) y espacio anular ($Cap_{E.An}$) respectivamente y los volúmenes internos (V_{int}) y en el espacio anular ($V_{E.An}$).

$$Cap_{int}\left(\frac{Bbl}{ft}\right) = \frac{ID^2_{herramienta}(in)}{1029.4} \quad \text{Ec. 1}$$

$$Cap_{E.An}\left(\frac{Bbl}{ft}\right) = \frac{D^2_{pozo-Herr}(in) - OD^2_{herramienta}(in)}{1029.4} \quad \text{Ec. 2}$$

$$V_{int}(Bbl) = Cap_{herr}\left(\frac{Bbl}{ft}\right) * L_{herr}(ft) \quad \text{Ec. 3}$$

$$V_{E.An}(Bbl) = Cap_{E.an}\left(\frac{Bbl}{ft}\right) * L_{herr}(ft) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde las variables a considerar son el diámetro interno de la herramienta (ID), el diámetro externo de la herramienta (OD) y la longitud de la herramienta (L_{Herr}), variables iniciales inmersas en la simulación del evento.

A continuación, se usaron las siguientes ecuaciones para determinar las presiones de circulación inicial y final (***Initial Circulating Pressure***, ICP, ***Final Circulating Pressure***, FCP), densidad de lodo de ahogo (***Kill Mud Weight***, KMW) y la presión anular máxima admisible en superficie (***Maximum Allowable Annular Surface Pressure***, MAASP) usadas por el simulador *Drilling Simulator* 3:

$$ICP(psi) = SIDPP(psi) + KRP(psi) \quad \text{Ec. 5}$$

$$FCP(psi) = KRP(psi) * \frac{KMW\left(\frac{lb}{gal}\right)}{OMW\left(\frac{lb}{gal}\right)} \quad \text{Ec. 6}$$

$$KMW(ppg) = OMW\left(\frac{lb}{gal}\right) + \frac{SIDPP(psi)}{0{,}052 * TVD(ft)} \quad \text{Ec. 7}$$

$$MAASP(psi) = \left(\rho_{fr}\left(\frac{lb}{gal}\right) - OMW\left(\frac{lb}{gal}\right)\right) * 0{,}052 * TVD_{CSG}(ft) \quad \text{Ec. 8}$$

$$\rho_{fr}\left(\frac{lb}{gal}\right) = \frac{P_{fr}(psi)}{0{,}052 * TVD_{csg}(ft)} \quad \text{Ec. 9}$$

$$P_{fr}(psi) = 0{,}052 * \rho_{prueba}\left(\frac{lb}{gal}\right) * TVD_{prueba}(ft) + P_{prueba}(psi) \quad \text{Ec. 10}$$

Donde se tiene que la presión de cierre en la tubería (***Shut in Drill Pressure***, SIDPP), presión de control de pozo (***Kick Rate Pressure***, KRP), densidad original de lodo (***Original Mud Weight***, OMW), profundidad vertical verdadera (***True Vertical Depth***, TVD), la presión de fractura (Pfr), la densidad de fractura (ρfr), y la profundidad vertical de asentamiento de la cañería de revestimiento (TVDcsg) (API, 2006; Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 2020).

En el caso de la Simulación numérica, el proceso de modelado computacional incorporó al simulador *Drilling Simulator* 3 del cual se empleó el Método del Perforador (Moura, 2015), seleccionado por su capacidad para simular escenarios de control de pozos en tiempo real, ya que el Método del Perforador es un método simple y directo a diferencia de otros métodos de control con circulación en pozos (IADC IWCF, 2013).

Las variables utilizadas para la aplicación del Método del Perforador se detallan en las siguientes tablas, y fueron extraídas del informe final del pozo MGD-7. La Tabla 1 presenta las propiedades del fluido de perforación empleado en las diferentes fases del pozo antes de su descontrol, incluyendo parámetros como densidad, viscosidad, contenido de sólidos y filtrado, los cuales resultan fundamentales para evaluar la estabilidad del pozo y la respuesta frente a un influjo. Estos datos, registrados en el archivo histórico del Centro Nacional de Información Hidrocarburífera (CNIH, 1968), constituyen la base técnica para la simulación numérica y permiten asegurar la correspondencia entre las condiciones operativas originales y los escenarios reproducidos en el Drilling Simulator 3.

Tabla 1. *Tipo de lodo y propiedades del lodo usado en el pozo MGD-7*

Programa del lodo de perforación		**Fluido usado en el pozo MGD-7**	
Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
0 – 900 m	Base agua	Viscosidad marsh	42
900 – 2 300 m	BE	ρ_{lodo} (gr/cc)	1,17
μ (cp)	45 – 60	Arena (%)	2
ρ_{lodo} (gr/cc)	1,10 – 1,15	Filtrado API	5,8
Filtrado	2-4	pH	10
Arena (%)	1		
Gel	0 – 0		
pH	10 – 12		
Solidos (%)	10		
Aceites (%)	10		

Nota: *Centro Nacional de Información Hidrocarburífera* (CNIH, 1968)

La Tabla 2 resume las especificaciones de los componentes utilizados en el pozo MGD-7, incluyendo las herramientas de fondo, la cañería de revestimiento y los elementos de la sarta de perforación (CNIH, 1968).

Tabla 1. *Datos de la herramienta*

Parámetro	**Valor**	**Parámetro**	**Valor**
OD_{TP} (in)	4 ½	Φ pozo (in)	8 5/8
ID_{TP} (in)	3,640	TVD_{pozo} (m)	1 490
L_{TP} (m)	1 097,2	ODcsg (in)	7
OD_{HW} (in)	4 ½	Wcsg (lb/ft)	35
ID_{HW} (in)	2 ¾	IDcsg (in)	6,004
L_{HW} (m)	20,8	Lcsg (m)	1 050
OD_{PM} (in)	6 ¼		
ID_{PM} (in)	3 ½		
L_{PM} (m)	192		

Nota: *Centro Nacional de Información Hidrocarburífera* (CNIH, 1968)

La Tabla 3 presenta los parámetros operativos de la bomba, junto con las presiones de cierre registradas y el volumen de ganancia acumulado en las piletas durante el evento de descontrol del pozo MGD-7 (CNIH, 1968). Estos valores permiten estimar la magnitud del influjo, la respuesta del sistema de control y la eficiencia de la bomba triplex empleada, constituyendo insumos clave para el cálculo de presiones de circulación y la simulación del control del pozo.

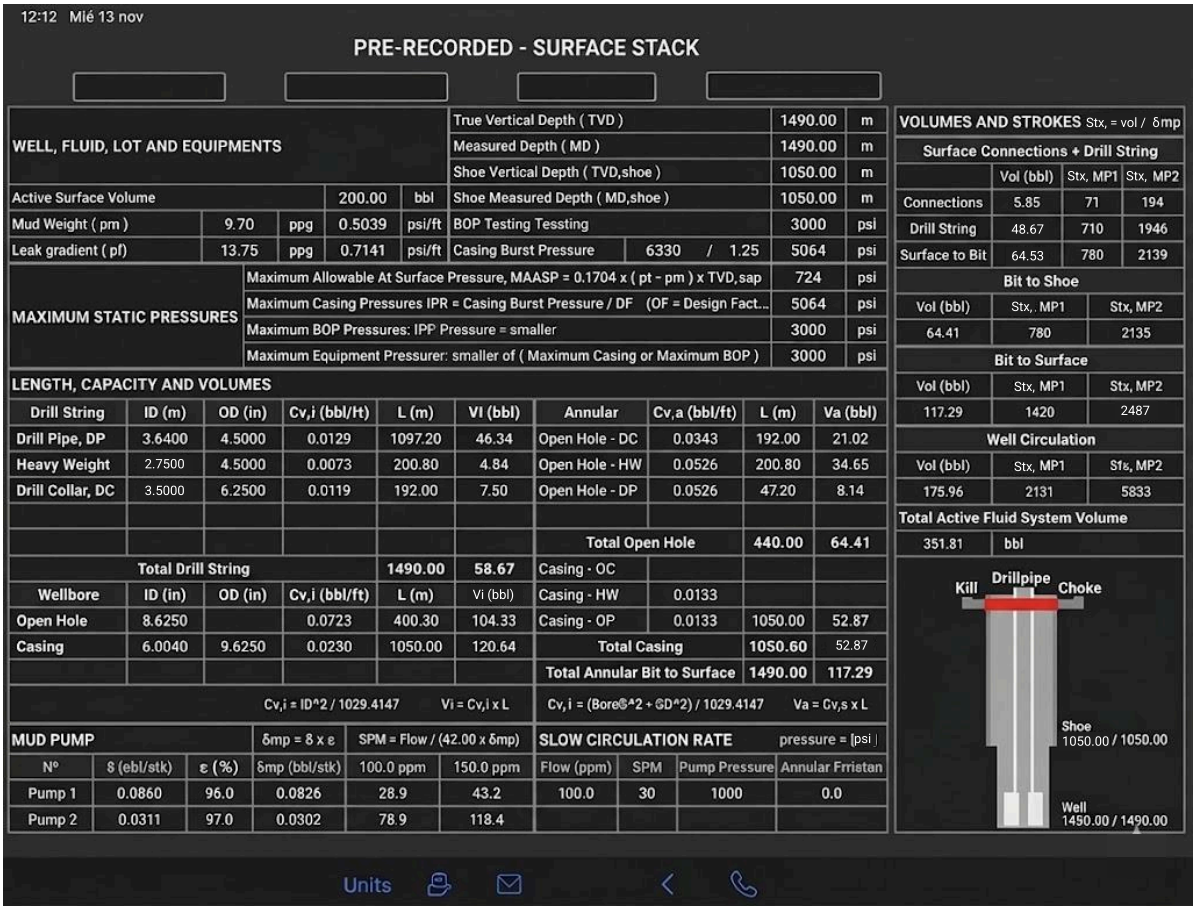
Tabla 3.*Datos de bomba y presiones de cierre*

Bomba triplex	
Ef (%)	96
Desplazamiento (bbl/stk)	0,0862
SIDPP (psi)	250
SICP (psi)	275,6
$V_{ganancia}$ (bbl)	30

Nota: *Centro Nacional de Información Hidrocarburífera* (CNIH, 1968)

A partir de la incorporación de los datos operativos del pozo MGD-7 en el simulador Drilling Simulator 3, se generó la hoja de control correspondiente a la simulación del influjo. En la Figura 2 se muestra la integración de los resultados obtenidos en cuanto a volúmenes, capacidades, características de las herramientas empleadas y otros parámetros técnicos relevantes para el análisis. La simulación fue configurada considerando los cálculos de presiones de circulación (ICP y FCP), densidad de lodo de ahogo (KMW) y presión máxima admisible en el revestimiento (MAASP), con base en ecuaciones validadas para este tipo de análisis (Moura, 2015). Adicionalmente, la hoja de control generada permitió visualizar de manera secuencial la evolución del influjo, facilitando la comparación entre parámetros reales y simulados, lo cual respalda la confiabilidad del modelo aplicado en la evaluación del caso MGD-7.

Figura 2 *Hoja de control del software*



Fuente: *Drilling Simulator 3*

Este enfoque metodológico integral aseguró la reproducibilidad de los resultados obtenidos, manteniendo al mismo tiempo la coherencia y fidelidad con las condiciones históricas reales del descontrol detectado en el pozo MGD-7.

Resultados

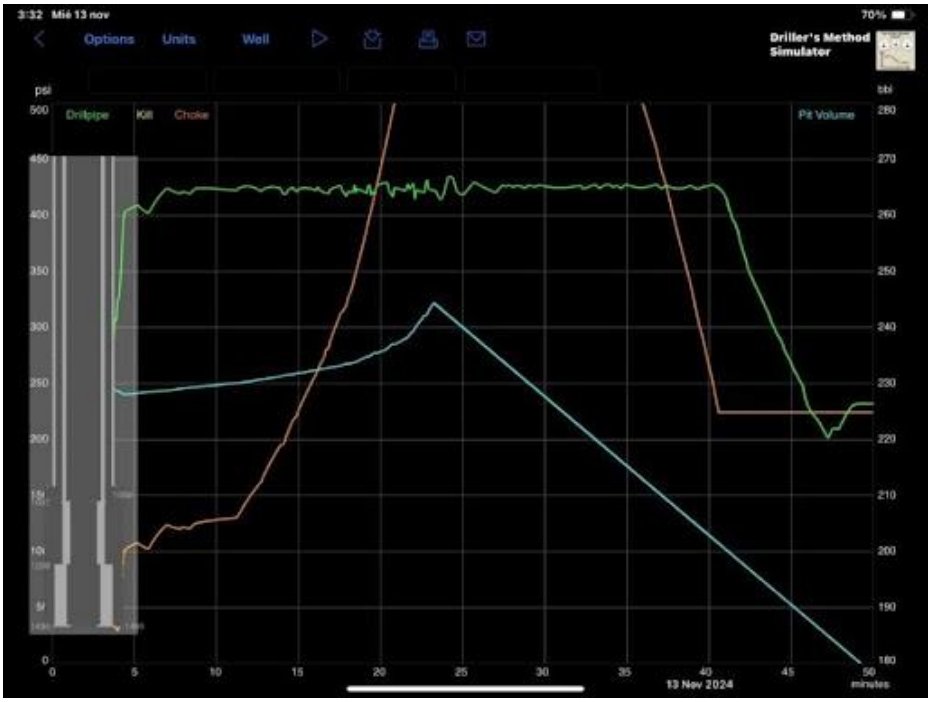
La simulación numérica permitió determinar con precisión los parámetros fundamentales para el control del pozo, la densidad óptima del fluido de ahogo se determinó en 10,7 lb/gal para mitigar el descontrol del pozo, dentro del rango operativo recomendado según normativa (API, 2006; Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 2020). Las presiones de circulación mostraron valores significativos, con una ICP de 426 psi y una FCP de 194 psi para el control del pozo, las cuales deben trabajar bajo un margen de seguridad de 80 psi, con el cual trabaja el simulador Drilling Simulator 3, ya que se debe tener en cuenta para aplicar en los métodos de control de pozos (Moura, 2015), la MAASP se calculó en 724 psi, parámetro crítico para prevenir fracturas en la formación durante las operaciones de control el cual define el límite de seguridad para la integridad del pozo, dicha presión debe controlarse entre 3 a 5 ft por encima del último tramo en el cual quedo la perforación.

El análisis comparativo reveló una reducción de más del 100% en el tiempo de respuesta cuando se aplicaron protocolos optimizados,

La simulación numérica permitió determinar con precisión los parámetros fundamentales para el control del pozo, la densidad óptima del fluido de ahogo se determinó en 10,7 lb/gal para mitigar el descontrol del pozo, dentro del rango operativo recomendado según normativa (API, 2006; Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 2020). Las presiones de circulación mostraron valores significativos, con una ICP de 426 psi y una FCP de 194 psi para el control del pozo, las cuales deben trabajar bajo un margen de seguridad de 80 psi, con el cual trabaja el

De acuerdo con la Figura 3, con el Método del Perforador, se ejecutaron dos circulaciones, la primera circulación tuvo una duración de 36 minutos con 12 segundos para desplazar el influjo y controlar el pozo, la segunda circulación tuvo una duración de 59 minutos con 16 segundos para balancear el pozo, cada circulación incluyó monitoreo continuo de parámetros dinámicos mediante algoritmos de análisis de sensibilidad en la lectura de las presiones, donde se muestra el comportamiento de las presiones de cierre.

Figura 3 *Comportamiento de las dos circulaciones,a del Perforador, empleando el software*



Fuente: *Drilling Simulator 3.*

Discusión

La evaluación de los resultados pone en evidencia que la falta de equipamiento especializado, en particular sistemas de control de presión con capacidad de cierre ajustable, fue un elemento crítico en la propagación y severidad del evento de descontrol. Esta deficiencia estructural coincide con lo identificado en otros casos emblemáticos, como el accidente de

Deepwater Horizon (Wahrendorf et al., 2011), donde se concluyó que la disponibilidad oportuna de tecnologías actualizadas no solo mitiga riesgos, sino que también puede limitar el alcance de las consecuencias técnicas y ambientales.

Desde el punto de vista económico, el análisis retrospectivo indicó que los costos diarios de operación, estimados en 50 000 USD durante

periodo activo del descontrol (CNIH, 1968), generaron pérdidas acumuladas sustanciales debido a la prolongación del evento. Este contraste evidencia que una respuesta más temprana, respaldada por un método eficaz de control, habría tenido un impacto económico favorable, reduciendo tiempos improductivos y riesgos asociados. Por tanto, el estudio refuerza la necesidad de fortalecer los estándares operativos en campos petroleros latinoamericanos mediante laincorporación de métodos de control modernos y simulaciones preventivas que permitan responder con eficiencia ante eventos de alta complejidad.

Conclusiones

A partir del análisis detallado del accidente en el pozo MGD-7 y de la simulación de escenarios de control, esta investigación no solo permite comprender las causas y consecuencias del evento, sino que también sienta las bases para la optimización de protocolos futuros. A continuación, se presentan las conclusiones estratégicas derivadas de este estudio.

Esta investigación no solo permitió estimar con mayor realismo el comportamiento del pozo durante el evento del influjo, sino que contribuyo al fortalecimiento de protocolos preventivos replicables en campos con condiciones geológicas análogas, este trabajo aporta evidencia técnica útil para la mejora de decisiones operativas ubicándose estratégicamente durante las operaciones de perforación.

Este estudio demuestra que la implementación oportuna del Método del Perforador, combinado con tecnologías de monitoreo en tiempo real, habría reducido los impactos del accidente significativamente pasando de 6 meses a 1 hora con 35 minutos para el control del pozo.

Los resultados proporcionan un marco cuantitativo para la gestión de riesgos en perforación, validando la relación directa entre protocolos estandarizados y la reducción de costos operativos, este trabajo establece un precedente técnico para operaciones en campos con características geológicas similares al del campo Monteagudo.

La implementación de simuladores para el control de pozos es muy efectiva debido a su interacción con el pozo para prevenir influjos debido a que en campo trabaja en tiempo real con todos los datos necesarios, aportando un ahorro significativo en el tiempo de control de pozos y así poder continuar con el programa de perforación establecido hasta llegar a su objetivo. La relevancia de la simulación realizada presenta ventajas y lecciones para controlar el descontrol de pozos a futuro y así poder establecer lineamientos que ayuden a disminuir aún más el tiempo de control de un pozo.

Referencias

API. (2006, julio 13). API RP 59: Recommended practice for well control operations (API, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005). API Publishing Services; Pride International/5965639001. standards@api.org.

CNIH, Y. (1968). Informe final perforacion MGD-7 (No. 1; pp. 20-79). CNIH; 1.

Ghorbani, H., Mohamadian, N., & Wood, D. A. (2021). Petroleum Well Blowouts as a Threat to Drilling Operation and Wellbore Sustainability: Causes, Prevention, Safety and Emergency Response. Journal of Construction Materials. https://doi.org/10.36756/JCM.si1.1

Grace, R. D. (2017). Blowout and well control handbook (2a ed). Gulf professional publishing. https://www.elsevier.com/books-and-journals

IADC IWCF. (2013). Well Control—Manual del Alumno. Artes Gráficas Bushi S.A.; Certificacion IADC WellCap IWCF Perforación. www.wellcontrol.la

Instituto Argentino del Petroleo y del Gas. (2020, abril 29). Sistemas de Control de Surgencia en Equipos de Torre. IAPG.

J. An, S. N. U., K. Lee, K. I. of G. and M. R., & J. Choe, N. U. (2015, octubre 20). Well Control Simulation Model of Oil-Based Muds for HPHT Wells.

Jimenez Moreno, M. A., Hernández Barajas, J. R., Jiménez Hernández, J. D. C., & Plazas Quiroga, J. G. (2022). Software academico de control de pozos petroleros MAROGA. Acta Universitaria, 32, 1-16. https://doi.org/10.15174/au.2022.3407

Kropla, S. M. (2008, marzo 8). IADC's Well Control Accreditation Program (Well Cap). SPE/IADC Drilling Conference. SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Netherlands. https://doi.org/10.2118/29341-ms

Moura, C. (2015). Drilling Simulator 3. www.wellcontrol.com.br

Semnani, A., Ostadhassan, M., Xu, Y., Sharifi, M., & Liu, B. (2021). Joint optimization of constrained well placement and control parameters using teaching-learning based optimization and an inter-distance algorithm. Journal of Petroleum Science and Engineering, 203, 108652. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108652

Wahrendorf, D. S., Bernem, K. H., Bohme, B., Brenk, V., Damian, H. P., Farke, H., Fleet, D. M., Gerdts, G., Hofer, T., Jung, K., Leuchs, H., Pastor, J., Preube, S., Theibald, N., Vob, J., & Weber, M. (2011). Deepwater Horizon – Lessons learnt for national preparedness and response strategies based on findings from the disaster and remedial action taken [PDF]. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. https://doi.org/10.5675/PG_DEEPWATER_HORIZON_2011_2

WCS. (2003). WCS-Well Control. WCS; HARVEY, LOUISIANA 7OO58. www.wellcontrol.com

Yap, R. Y., & Laruccia, M. B. (2023). Simulation of Gas Kick and Well Control Procedures. En J. Watada, S. C. Tan, P.-C. Lin, H. Yano, Y. Yabuuchi, E. Padmanabhan, & L. C. Jain (Eds.), Advances in Energy Research and Development. IOS Press. https://doi.org/10.3233/AERD230014

Yin, R. K. (2017). Case study research and applications: Design and methods (6ta ed). SAGE Publications.

ELABORACIÓN DE CREMA HIDRATANTE A BASE DE LA CÁSCARA DE ALOE VERA

DEVELOPMENT OF A MOISTURIZING CREAM FROM ALOE VERA RIND

Iselia Flores Fernandez
Universidad San Francisco Xavier
if5414865@gmail.com

Nancy E. Petersen Groc
Universidad San Francisco Xavier
petersen.nancy@usfx.bo

Recibido junio de 2025 / Aceptado abril de 2026

Resumen

La planta Vital Loe procesadora de aloe vera genera volúmenes importantes de desechos, en especial de cáscaras. Por lo que el presente estudio presenta como objetivo desarrollar una crema hidratante utilizando cáscara de aloe vera, formulada según los requerimientos del mercado. Se realizó un diseño experimental tipo factorial 23 utilizando el software Design Expert 13 trabajando con tres variables independientes: temperatura entre 20 a 30 °C, pH entre (6.5-7.5) y tiempo de homogenización entre 5 a 10 minutos. La materia prima fue sometida a un proceso de deshidratación a 45 °C, seguida por un proceso de molienda para posteriormente proceder con el tamizado. El prototipo resultante presentó textura homogénea, pH compatible con la piel y una adecuada capacidad hidratante. Los test sensoriales que se llevaron a cabo en algunas mujeres mostraron alta aceptación del producto. El análisis de mercado demuestra competitividad en precio. Se concluye que la formulación cosmética es viable, sostenible y presenta un alto potencial de aceptación.

Palabras clave: *Desarrollo nuevo producto, diseño experimental, test sensoriales, Crema hidratante, cáscara de Aloe vera.*

Abstract

The Vital Loe Aloe vera processing plant generates significant volumes of waste, particularly peels. Therefore, the objective of this study is to develop a moisturizing cream using Aloe vera peels, formulated according to market requirements. A 2^3 factorial experimental design was carried out using Design Expert 13 software, working with three independent variables: temperature (20 to 30 °C), pH (6.5–7.5), and homogenization time (5 to 10 minutes). The raw material underwent a dehydration process at 45 °C, followed by grinding and then sieving. The resulting prototype showed a homogeneous texture, skin-compatible pH, and good moisturizing capacity. Sensory tests conducted with women showed high product acceptance. Market analysis demonstrated price competitiveness. It is concluded that the cosmetic formulation is viable, sustainable, and has high acceptance potential.

Key Words: *New product development, experimental design, sensory evaluation, hydrating cream, Aloe vera rind.*

Introducción

El uso de aloe vera es cada vez más común en diferentes rubros, pero su procesamiento genera una gran cantidad de residuos, especialmente cáscaras, que suelen descartarse sin valor. De igual manera estudios recientes destacan la valorización de los subproductos del aloe vera para aplicaciones de alto valor añadido, incluyendo cosmética y materiales bioactivos.(Semerel et al., 2022)

De acuerdo a un estudio realizado en la ciudad de Tarija para analizar las hojas de aloe vera se identificó que contienen sustancias terapéuticas para la piel, además de señalar que los resultados arrojados en este proyecto fueron positivos en el entendido que la población dio la aceptación al consumo de productos en base a cáscara de aloe vera. (Bejarano, 2022)

La cáscara de aloe vera es rica en polifenoles, compuestos antioxidantes presentes en diversos alimentos, mismos que son capaces de neutralizar los radicales libres y proteger a las plantas, así como también la piel humana del daño oxidativo. Entre los bioactivos destacan aloesina y aloe-emodina, presentes en la corteza, que exhiben propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antitumorales y neuroprotectoras. (Solaberrieta et al., 2022)

Por otra parte, la aloína, un compuesto presente en la cáscara de aloe vera, que tiene diferentes comportamientos según la concentración. A bajas concentraciones, ha demostrado propiedades antiinflamatorias y regenerativas, actuando como un exfoliante suave que promueve la renovación celular. No obstante, en concentraciones elevadas o en individuos con piel sensible, puede inducir efectos adversos como irritación, reacciones alérgicas o fotosensibilidad. Por ello es muy importante regular su concentración garantizando su eficacia con seguridad dermatológica.(Sánchez et al., 2020)

No se encontraron estudios centrados específicamente en el uso de la cáscara de aloe vera como materia prima para formulaciones cosméticas, lo que abre un campo novedoso para investigación aplicada.

En este contexto, como se indica líneas supra Vital Loe ubicada en Sucre, Bolivia, otorga un gran volumen de cáscara de aloe vera,

es decir de materia prima, que teniendo propiedades curativas importantes es el insumo idóneo para el diseño de una crema, lo que motiva el presente estudio.

Métodos

Método de Revisión Bibliográfica

El método de revisión bibliográfica aplicado en este estudio tuvo un enfoque sistemático y exploratorio.

Se establecieron criterios de búsqueda y selección para identificar literatura científica reciente y relevante.

La búsqueda se realizó en bases de datos académicas donde se pudiera obtener artículos e investigaciones de acceso libre. Se utilizaron descriptores en inglés, portugués y español, combinados mediante operadores booleanos, tales como:

Aloe vera peel, polyphenols, aloin, aloe-emodin, moisturizing cream, bioactive compounds, cosmetic formulation, natural antioxidants, formulación cosmética con Aloe vera, entre otros.

Los criterios de inclusión fueron:

- Publicaciones entre 2019 y 2024.
- Investigaciones centradas en propiedades químicas, funcionales o cosméticas de la cáscara o del aloe vera.

Los criterios de exclusión incluyeron literatura sin respaldo científico, duplicados, resúmenes sin texto completo, y documentos que no permitirán acceso libre o que no se podía obtener el documento completo.

La información extraída fue analizada de forma crítica para identificar datos relevantes, respaldos, métodos y metodologías que puedan ser de interés en el desarrollo del producto cosmético propuesto.

Caracterización Fisicoquímica De La Cáscara De Aloe Vera

Una vez obtenida la materia prima (cáscara de aloe), se prosiguió al lavado de las mismas, con agua común, posteriormente con agua destilada y luego con solución de hipoclorito de sodio con el propósito de eliminar

microrganismos dañinos para la piel, para luego ser llevadas al laboratorio del Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA) de la Facultad de Tecnología, y realizar los respectivos análisis fisicoquímicos respecto a su contenido de: humedad, proteína, grasa y ceniza. Cada uno de estos análisis se realizó de acuerdo a las especificaciones que regulan las normas, fundamentalmente las establecidas

Tabla 1: *Caracterización Fisicoquímica De La Cáscara De Aloe Vera*

Caracterización Fisicoquímica De La Cáscara De Aloe Vera

Propiedad	Referencias	Descripción
Humedad	NB-074 I C S 67.060	Determinación de humedad en cereales
Proteína	NB-076 AOAC	Determinación de proteínas
Grasa	NB-103	Determinación del contenido de materia grasa en cereales
Ceniza	NB-075	Determinación del parámetro de cenizas por incineración

Fuente: *Elaboración propia*

Método Experimental

Se utilizó el método experimental porque es una técnica que desde el ámbito de la estadística permite valorar las causas y los efectos que tiene una variable sobre otra dentro de una investigación experimental, en el campo de la industria es frecuente realizar experimentos o pruebas con la intención de resolver un problema o validar una hipótesis, optimizar procesos o resolver problemas técnicos mediante pruebas planificadas y controladas. (Pulido, s. f.)

En este estudio, se utilizó un diseño factorial 23, aplicado mediante el software Design Expert 13, con el fin de identificar las condiciones óptimas para la formulación de una crema hidratante a base de cáscara de Aloe vera. Las variables independientes consideradas fueron: temperatura (20–30 °C), pH (6.5–7.5) y tiempo de homogenización (5–10 minutos). La variable de respuesta fue la calidad del producto final, evaluada en función de su textura, pH y capacidad hidratante.

Elaboración De La Crema

La recepción de la materia prima en la planta procesadora de jugos naturales y aloe vera "Vital Loe" se la realiza en canastas de 12 kg. Para su previo control de calidad, donde se controla el tamaño de la penca, su gramaje y su estado físico. Cada penca es examinada, pesada y llevada al proceso de lavado donde una vez cortado en cuadrados de 9 cm2 aproximadamente y sin pulpa se procede a lavar la cáscara con una solución de hipoclorito 15 ml de hipoclorito con 30 litros de agua se debe remojar por 30 minutos para que salga la aloína que tiene un olor y color desagradable, se debe realizar el enjuagado tres veces hasta eliminar por completo el líquido amarillo que es la aloína. La cáscara ya lavada se pondrá en las bandejas de la deshidratadora, procediendo con el pesaje correspondiente, después de este paso se meterá las bandejas al horno deshidratador a una temperatura de 45 °C.

Se realizaron 32 pruebas de las cuales algunas salían mascarilla también crema exfoliante pero no se lograba la textura de la crema que se deseaba, motivo por el cual se procedió a una molienda más fina y se logró determinar las proporciones adecuadas que en sometieron a un baño maría en un rango de 65 a 70°C con el afán de una mejor incorporación de los ingredientes, posteriormente reposar por 5 minutos debe estar a 30°C, esperar a que entre a temperatura ambiente, disolver la crema y está lista para usarla, con el cuidado de mantener en lugar fresco y seco para su conservación.

En el proceso se trabajó solo a dos niveles como se enuncia previamente, esto debido a que un mayor número de niveles implica mayor número de muestras, por lo que dificulta la realización de los tratamientos.

Tabla 2: *Factores Y Niveles Del Diseño Experimental 2k*

Factor A		Factor B		Factor C	
Temperatura		pH		Tiempo	
Nivel					
Bajo (°C)	Alto (°C)	Bajo	Alto	Bajo (min)	Alto (min)
20	30	6,5	7,5	5	10

Fuente: *Elaboración propia*

Las variables controladas que influyeron en el proceso de elaboración de la crema fueron: **Temperatura, pH y Tiempo de proceso.**

Las variables anteriormente mencionadas influyeron en la variable de respuesta:

➤ Rendimiento del proceso en la elaboración de la crema.

El análisis Anova permite la obtención de los siguientes datos de relevancia, obteniéndose un valor F del modelo de 89,26 implica que el modelo es significativo. Sólo hay un 0,01% de posibilidades de que se produzca un valor F tan grande debido al ruido.

Tabla 3: *Análisis de varianza Anova*

Source	Sum Of Squares	Df	Mean Square	F - Value	P - Value	
Model	0.8539	7	0.1220	89.26	< 0.0001	significant
A-Temperatura	0.0060	1	0.0060	4.40	0.0521	
B-pH	0.1233	1	0.1233	90.20	< 0.0001	
C-Tiempo	0.3553	1	0.3553	259.95	< 0.0001	
AB	0.0683	1	0.0683	49.95	< 0.0001	
AC	0.0523	1	0.0523	38.24	< 0.0001	
BC	0.1908	1	0.1908	139.62	< 0.0001	
ABC	0.0580	1	0.0580	42.45	< 0.0001	
Pure Error	0.0219	16	0.0014			
Cor Total	0.8758	23				

Fuente: *Elaboración propia en base a Desing Expert 13.*

Los valores de p inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso B, C, AB, AC, BC, ABC son términos del modelo significativos. Los valores superiores a 0,1000 indican que los términos del modelo no son significativos. Si hay muchos términos de modelo insignificantes (sin contar los necesarios para respaldar la jerarquía), la reducción del modelo puede mejorar su modelo.

Tabla 4 *Rendimiento*

Std. Dev.	0.0370	R^2	0.9750
Mean	0.4708	Adjusted R^2	0.9641
C.V. %	7.85	Predicted R^2	0.9641
		Adeq Precisión	28.7360

Fuente: *Elaboración propia en base a Desing Expert 13.*

El R^2 previsto de 0,9438 concuerda razonablemente con el R^2 ajustado de 0,9641; es decir, la diferencia es inferior a 0,2

La precisión mide la relación señal-ruido. Es deseable una proporción mayor que 4. Su ratio de 28,736 indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio de diseño.

Es importante conocer los costos relacionados al proceso productivo para poder calcular el precio de venta, y de esta manera determinar si el producto es o no competitivo en el mercado.

Para lo que se determina los costos de producción para 50 gramos, que ascienden a 5.50 Bs con una utilidad del 30% queda en un precio de venta de 7.85 Bs, que de acuerdo a una investigación del mercado debe ajustarse.

Por lo que mediante una investigación de mercados inicial se toma contacto con futuros clientes, para conocer qué es lo que piensan sobre el producto y tomar las acciones y/o decisiones pertinentes.

Resultados

Se valida la hipótesis: es poder elaborar una crema hidratante a base de cáscara de Aloe vera. Las pruebas experimentales demostraron que realizando los ajustando el proceso de molienda es posible obtener la textura propia de una crema y no así de mascarilla o exfoliante.

En la fase experimental se contemplaron tres parámetros clave en las pruebas –Temperatura, pH y tiempo de homogenización- logrando las condiciones finales del producto sobre la base de un modelo significativo. Los datos resultantes se encuentran en la Tabla 5.

En el análisis económico, se identificó que los costos incurridos en el proceso de producción son accesibles, sin embargo, es aconsejable realizar una investigación del mercado a mayor profundidad que permita determinar las condiciones que permitan un posicionamiento efectivo del producto garantizando la penetración efectiva del segmento objetivo.

El producto pretende llegar a un amplio mercado, sin distinción de género, edad ni tipo de piel, reforzando el potencial comercial del producto. Pero en la investigación inicial de mercado que se realiza comparando el producto con la competencia directa identificada, se pudo encontrar percepciones variadas con relación a los atributos del producto, si bien el aroma y textura fueron valorados positivamente el aspecto visual de la presentación no fue de su agrado. En términos de efectividad, el producto fue valorado por su capacidad humectante y por no tener una textura grasa. En este punto, como se señala en el párrafo previo, se debe trabajar sobre las preferencias del mercado puesto que, al evaluar el conjunto de características, el prototipo no fue el favorito.

Cabe señalar que los consumidores están dispuestos a pagar un precio superior al calculado, motivo por el cual se identifica una oportunidad de mejora al ajustar las características menos valoradas logrando una mayor aceptación con una incidencia

Discusión

Se compra los resultados obtenidos del prototipo con las cremas comerciales de Nivea de Aloe vera y Extracto Aloe vera.

Tabla 5: *Comparación de fisicoquímica de cremas*

Análisis Fisicoquimico	Resultados Experimentales	Nivea De Aloe Vera	Extra Aloe Vera
Vitamina E	10,8%	25%	5,25%
Carbohidratos	1,86%	3,5%	2,5%
Grasas	3,8%	2,12%	3,12%
Proteínas	0,85%	3%	3,5%
Potasio	12,8%	8%	10%
Fibra	0,3%	0,6%	1,5%

Fuente: *Elaboración propia en base a datos obtenidos experimentalmente en el Instituto de Tecnología de Alimentos* (I.T.A.)

Los resultados experimentales se compararon con diferentes cremas hidratantes para la piel con composiciones diferentes en su información experimental.

De igual manera se pudo evaluar los precios de acuerdo a las presentaciones y valores en el mercado

Tabla 6: *Comparación de Precios con Cremas Comerciales*

	CREMAS COMERCIALES		
Crema de La Cáscara de Aloe vera, 50g (Bs)	Nivea de Aloe vera, 100g (Bs)	Equilibra extra Aloe vera, 100g (Bs)	Nivea, 100g (Bs)
7,85	20	30	25

Nota: Elaboración propia en base a datos obtenidos experimentalmente comparados con el mercado de la ciudad de Sucre.

Las comparaciones se realizaron con diferentes cremas comerciales a diferentes costos, con la comparación se pudo evidenciar que el costo es mínimo de la crema elaborada.

Se confirma que la cáscara de Aloe vera es eficaz para formular una crema hidratante, coincidiendo con investigaciones de las propiedades cosméticas de los subproductos vegetales. Por ejemplo con en el estudio de la caracterización y estudio tópico del hidrogel de Aloe vera en el proceso de cicatrización de heridas (Characterization and Topical Study of Aloe Vera Hydrogel on Wound-Healing Process, s. f.) incorporaron extratco de Aloe vera en una matriz polimérica (PVP) y se observó una mejora en la estabilidad y liberación sostenida de los compuestos bioactivos coincidiendo con la formulación del prototipo elaborado en el que se logra una emulsión estable con adecuada textura y eficacia en la humectación.

Por otra parte en un estudio aunque más antigüo, en el que el 2006 se analizó el efecto hidratant de formulaciones cosméticas qie continene extracto de Aloe vera en diferentes concentraciones evaluadas mediante técnicas de bioingeniería cutánea(Dal'Belo et al., 2006) demostró que concentraciones

entre 0.1 a 0.5 % de extracto de Aloe gel incrementan significativamente la hidratación, en concordancia con los resultados obtenidos que sugieren una posible ventaja del uso del subproducto, cáscara de Aloe vera, por su capacidad humectante.

Los componentes como polifenoles y antraquinonas presentes en la cáscara están asociados a las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y regenerativas (Añibarro-Ortega et al., 2021) pueden explicar la alta humedad percibida en la investigación de mercados realizada con el prototipo resultante de la presente investigación.

Para finalizar se puede señalar que los resultados obtenidos respaldan las tendencias observadas en la literatura del aprovechamiento del Aloe vera así como de su cáscara.

Con la presente investigación se pretende promover la sostenibilidad y el aprovechamiento de los beneficios cosméticos de la cáscara de Aloe vera.

Conclusiones

▣ El proceso adecuado y óptimo para la deshidratación fue de 16 horas a una temperatura de 45°C. Se utilizó esta temperatura porque si la temperatura es mayor la cáscara tiende a carbonizarse

▣ Los análisis fisicoquímicos realizados a la cáscara de aloe vera indicaron que posee un 6,25% de colágeno y que es bajo en grasa de 0,23%por lo tanto cuenta con las condiciones adecuadas para la elaboración de la crema.

▣ Se pudo determinar las variables implicadas directamente sobre el rendimiento son la temperatura, pH y el tiempo implicara la producción de la crema. Se trabajó con temperaturas de 20 – 30 °C, con un pH de 6,5 – 7,5 y un tiempo de 5 – 10 min, se utilizó estas variables porque a mayor temperatura llega a espesar más la crema, si el pH es mayor a 7,5 la piel llega a perder agua y se deshidrata en este estado, la capa externa de la piel, o epidermis, no puede funcionar como barrera protectora, el tiempo determinó la homogeneización de los aceites y materia prima.

▣ Se deben ajustar algunos parámetros de acuerdo a las percepciones que se dieron en la investigación de mercados, pero el producto inicialmente elaborado cumple con su característica hidratante.

▣ El producto de crema hidratante a base de cáscara de Aloe vera es viable técnica y económicamente.

Referencias

Añibarro-Ortega, M., Pinela, J., Ćirić, A., Lopes, E., Molina, A. K., Calhelha, R. C., Soković, M., Ferreira, O., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Extraction of Aloesin from Aloe vera Rind Using Alternative Green Solvents: Process Optimization and Biological Activity Assessment. Biology, 10(10), 951. https://doi.org/10.3390/biology10100951

Bejarano, A. C. L. (2022). ELABORACIÓN DE GEL NATURAL DE PENCA DE SÁBILA (Aloe Vera) CULTIVADA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA, PARA USO TÓPICO. Repositorio UAJMS. https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/165

Characterization and Topical Study of Aloe Vera Hydrogel on Wound-Healing Process. (s. f.). Recuperado 30 de junio de 2025, de https://www.mdpi.com/2073-4360/13/22/3958?utm_source=chatgpt.com

Dal'Belo, S. E., Rigo Gaspar, L., & Berardo Gonçalves Maia Campos, P. M. (2006). Moisturizing effect of cosmetic formulations containing Aloe vera extract in different concentrations assessed by skin bioengineering techniques. Skin Research and Technology, 12(4), 241-246. https://doi.org/10.1111/j.0909-752X.2006.00155.x

Pulido, H. G. (s. f.). Análisis y diseño de experimentos.

Sánchez, M., González-Burgos, E., Iglesias, I., & Gómez-Serranillos, M. P. (2020). Pharmacological Update Properties of Aloe Vera and its Major Active Constituents. Molecules, 25(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/molecules25061324

Semerel, J., John, N., Dehaen, W., & Fardim, P. (2022). Valorization of Aloe barbadensis Miller. (Aloe vera) Processing Waste. Journal of Renewable Materials, 0(0), 1-31. https://doi.org/10.32604/jrm.2022.023449

Solaberrieta, I., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2022). Valorization of Aloe vera Skin By-Products to Obtain Bioactive Compounds by Microwave-Assisted Extraction: Antioxidant Activity and Chemical Composition. Antioxidants, 11(6), 1058. https://doi.org/10.3390/antiox11061058

IngeniaTEC

UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER
DE CHUQUISACA

Facultad de Ciencias y Tecnología

2026