Bioethanol Production through Fermentation of Reducing Sugars Extracted from Passion Fruit and Pineapple Peels, Lambayeque - 2026

Carlos Gabriel Martinez-Mendoza[1]; Maricarmen Baldera-Montalvan[2]; Cristian Michel Gomez-Cornejo[3]
[1,2,3]Universidad César Vallejo, Perú, cmartinezme@ucvvirtual.edu.pe, bbalderamo@ucvvirtual.edu.pe, Gcornejocm@ucvvirtual.edu.pe

Abstract - This research aimed to obtain bioethanol through the fermentation of reducing sugars extracted from passion fruit (Passiflora edulis) and pineapple (Ananas comosus) peels in the Lambayeque region, 2026. The study was applied in nature, with a quantitative approach and a quasi-experimental factorial 3×2 design, using three fermentation times (24, 48, and 72 hours) and two raw materials, with three replicates, totaling 18 experimental units. The peels were subjected to acid hydrolysis with diluted H_2SO_4 to release fermentable sugars, obtaining 10 °Brix for pineapple and 7.8 °Brix for passion fruit. Fermentation was carried out with Saccharomyces cerevisiae (1 g/L) at 34 ± 2 °C. Pineapple peel reached alcohol percentages of up to 5.0 % at 72 hours, while passion fruit reached 3.8 %. ANOVA confirmed that fermentation time (p = 0.000) and raw material type (p = 0.000) significantly influenced bioethanol production, with an R^2 of 96.42 %. Tukey's test indicated that 72 hours was the optimal time and that pineapple outperformed passion fruit in alcohol yield, demonstrating the potential of both residues for renewable biofuel production.

Keywords-- Bioethanol; Fermentation; Acid Hydrolysis; Saccharomyces cerevisiae; Agro-industrial Waste.

Obtención de bioetanol por fermentación de azúcares reductores extraídos de cáscaras de maracuyá y piña, Lambayeque - 2026

Carlos Gabriel Martinez-Mendoza[1]; Maricarmen Baldera-Montalvan[2]; Cristian Michel Gomez-Cornejo[3]
[1,2,3]Universidad César Vallejo, Perú, cmartinezme@ucvvirtual.edu.pe, bbalderamo@ucvvirtual.edu.pe, Gcornejocm@ucvvirtual.edu.pe

Resumen– ***La presente investigación se desarrolló en concordancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12, al promover la producción y el consumo responsables mediante el aprovechamiento de residuos frutales, y con el ODS 13, al contribuir a la mitigación del cambio climático mediante la valorización de residuos orgánicos para la obtención de biocombustibles. El objetivo fue obtener bioetanol mediante la fermentación de azúcares reductores extraídos de cáscaras de maracuyá (Passiflora edulis) y piña (Ananas comosus) en Lambayeque, 2026. El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental factorial 3×2, utilizando tres tiempos de fermentación (24, 48 y 72 horas) y dos materias primas, con tres repeticiones, totalizando 18 unidades experimentales. Las cáscaras fueron sometidas a hidrólisis ácida con H_2SO_4 diluido, obteniéndose 10 °Brix en piña y 7,8 °Brix en maracuyá. La fermentación se realizó con Saccharomyces cerevisiae (1 g/L) a 34 ± 2 °C. La cáscara de piña alcanzó un máximo de 5,0 % de alcohol a las 72 horas y la de maracuyá 3,8 %. El ANOVA evidenció que el tiempo de fermentación (p = 0,000) y el tipo de materia prima (p = 0,000) influyeron significativamente en la producción de bioetanol, con un R^2 de 96,42 %. La prueba de Tukey indicó que 72 horas fue el tiempo óptimo y que la piña superó al maracuyá en rendimiento alcohólico, demostrando el potencial de ambos residuos para la producción de biocombustible renovable.***

Palabras clave-- Bioetanol; Fermentación; Hidrólisis Ácida; Saccharomyces cerevisiae; Residuos Agroindustriales.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los residuos agrícolas y agroindustriales constituye uno de los principales desafíos ambientales actuales. Por su alta biodegradabilidad, estos residuos se acumulan en vertederos, donde su descomposición libera gases de efecto invernadero - principalmente metano - y agrava el cambio climático [1]. A nivel internacional, el procesamiento de frutas tropicales como la piña (*Ananas comosus*) y el maracuyá (*Passiflora edulis*) genera volúmenes considerables de cáscaras, coronas y otras fracciones no comestibles; en el caso de la piña, hasta un 60 % del peso del fruto se descarta como residuo [2], y su elevado contenido de humedad la hace particularmente vulnerable a pérdidas poscosecha [3]. Estos subproductos conservan azúcares fermentables y componentes de pared celular - celulosa, hemicelulosa y pectinas - que habitualmente se desechan sin aprovechamiento [4], pese a que estudios recientes han demostrado que su fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* permite alcanzar concentraciones de etanol compatibles con las especificaciones del combustible E85 [5].

En América Latina, la producción de piña y maracuyá también genera grandes volúmenes de residuos sin manejo adecuado [3]; investigaciones con cáscara de maracuyá reportan rendimientos estables de etanol gracias a su contenido residual de celulosa y hemicelulosa [6]. En el Perú se pierde anualmente cerca de 12,8 millones de toneladas de alimentos (47,76 % del suministro nacional), de las cuales el 44 % corresponde a frutas y hortalizas [7]; en Moquegua, los residuos de frutas de mercados locales sin aprovechar han generado proliferación de vectores, malos olores y contaminación [8]. En Lambayeque la situación se repite en el Mercado Moshoqueque de José Leonardo Ortiz - el segundo más grande del país - donde los residuos orgánicos se disponen indiscriminadamente en calles y espacios públicos [9]. Asimismo, una empresa agroindustrial de Olmos dedicada a jugos y concentrados de maracuyá generó cerca de 13 000 t de cáscara entre 2015 y 2016, de las cuales una parte se vendió como alimento para ganado a bajo costo (S/ 20 por tonelada) y el resto se dispuso en botaderos [10]; considerando un rendimiento industrial promedio de 35 %, se estima que en 2024 el procesamiento de maracuyá en el país generó alrededor de 65 267 t de residuos orgánicos [11]. Este material, rico en azúcares y materia orgánica, representa una oportunidad para su valorización mediante bioetanol, biogás o compost

En este contexto, la presente investigación evaluó la obtención de bioetanol por fermentación de azúcares reductores extraídos de cáscaras de piña y maracuyá en Lambayeque, mediante la caracterización de la biomasa, la hidrólisis ácida, la fermentación con *S. cerevisiae* y la determinación del rendimiento alcohólico. Se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es el rendimiento y la concentración del bioetanol obtenido a partir de cáscaras de piña y de maracuyá en Lambayeque, bajo condiciones de hidrólisis y fermentación con *S. cerevisiae*? El estudio se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 - producción y consumo responsables, meta 12.3 sobre reducción del desperdicio de alimentos - y con el ODS 13 - acción por el clima, meta 13.2 - al proponer la valorización de residuos orgánicos como estrategia de mitigación [12].

Su valor científico radica en cubrir un vacío regional: estudios previos evaluaron cáscaras de piña y maracuyá en Bogotá [14], el uso de levaduras comerciales y re-destilación en residuos de piña [5], y el aprovechamiento de piña Golden-MD2 con un rendimiento de 0,2878 L/kg de biomasa [15], pero en Lambayeque no existen estudios que comparen experimentalmente ambos sustratos bajo las mismas condiciones. Por ello, este trabajo compara los rendimientos de piña y maracuyá evaluando pH, tiempo de fermentación y concentración de azúcares, y reporta indicadores normalizados (g de etanol/g de biomasa seca, L de etanol/kg de cáscara fresca y rendimiento teórico respecto a los azúcares reductores). En el plano práctico, antecedentes regionales con cáscara de plátano alcanzaron 85 % de pureza y una tasa interna de retorno del 25 % [16], lo que sustenta la viabilidad económica de valorizar cáscaras de piña y maracuyá a nivel de pequeños productores o municipalidades. Socialmente, el estudio busca reducir la contaminación local derivada de la disposición inadecuada de estos residuos [16], [15]; y desde el enfoque de economía circular se orienta a revalorizar biomasa con alto contenido energético que actualmente satura los vertederos de la región [17].

A partir de lo expuesto, el objetivo general fue obtener bioetanol mediante la fermentación de azúcares reductores extraídos de cáscaras de maracuyá y piña en la región Lambayeque, 2026. Los objetivos específicos fueron: (a) caracterizar fisicoquímicamente las cáscaras de maracuyá y piña; (b) realizar la hidrólisis ácida de ambas cáscaras para la obtención de azúcares reductores; y (c) determinar el tiempo y materia prima óptimos para la obtención de bioetanol.

A. Antecedentes

En el ámbito internacional, Mgeni et al. [5] evaluaron la producción de bioetanol a partir de jugo residual de piña con levadura de panadería en India, ajustando el mosto a pH 4,5 y 20-22 °Brix; tras 72 h de fermentación obtuvieron un rendimiento de 8-10 % v/v con pureza superior tras destilación. En Colombia, Villalobos Romero et al. [14] fermentaron cáscaras de piña y maracuyá con *S. cerevisiae* (pH 4,5-5,0; ~21 °Brix), alcanzando cerca de 10 % v/v de etanol tras re-destilación. Zambrano Pazmiño [18], en Ecuador, evaluó variedades de plátano y obtuvo hasta 31,86 % de alcohol en la variedad dominicana, con un costo de 0,0037 USD/mL. Bajo un enfoque similar, Condor Collachagua [19] aprovechó residuos de pan de comedor universitario (hidrólisis ácida, pH 4,5-5,0, 20 °Brix, 72 h a 30 °C), logrando 0,28 L de etanol/kg de residuo y 85 % v/v de pureza tras re-destilación. Patiño Ardila y Torres Navarrete [15] evaluaron piña Golden-MD2 mediante fermentación simultánea a la sacarificación, obteniendo 66,18 L de bioetanol (83,51 % v/v) a partir de 230 kg procesados (0,2878 L/kg). En cuanto a caracterización de biomasa, Reis et al. [20] determinaron que harinas de cáscara de piña secadas entre 50 y 80 °C presentan baja humedad y alto valor energético, favorables para su conservación.

A nivel nacional, Toledo-Villoslada et al. [21] valorizaron residuos de plátano bellaco en Amazonas y encontraron que el tiempo de fermentación - no la dilución - determinó el rendimiento, alcanzando 60,69 % de contenido alcohólico a las 192 h. Escobar Flores [8] evaluó residuos de frutas de mercado en Moquegua bajo tres diluciones biomasa-agua, obteniendo la mayor eficiencia (0,04 g de etanol/g de biomasa) con la dilución 1:1,50. Diestra y Paucar-Menacho [21]caracterizaron harina de cáscara de maracuyá (11,25 % de humedad, 5,14 % de proteína, 63,88 % de fibra dietética y 12,93 mL/g de capacidad de retención de agua), confirmando su potencial funcional y nutricional.

A nivel local, Guevara Irigoin y Niquen Chimoy [17]obtuvieron bioetanol con más de 80 % de pureza a partir de residuos de maíz en Lambayeque mediante hidrólisis enzimática y fermentación con *S. cerevisiae*. Tirado-Malaver et al. [23] evaluaron clones mejorados de camote y destacaron el clon CIP 199071.8, con 7553,2 L de bioetanol/ha. Bances Cajusol [16], en Mórrope (Lambayeque), obtuvo bioetanol de cáscara de plátano con 85 % de pureza y una rentabilidad proyectada de S/ 266 410,61 (TIR de 25 %). En conjunto, estos antecedentes evidencian el potencial de diversos residuos agroindustriales - plátano, maíz, camote - para la producción de bioetanol en el Perú, pero ninguno compara simultáneamente piña y maracuyá en condiciones controladas en Lambayeque, vacío que la presente investigación busca cubrir.

B. Marco teórico

La fermentación alcohólica es el proceso metabólico mediante el cual azúcares reductores - glucosa y fructosa - se convierten en etanol y CO_2 por acción de levaduras en condiciones anaerobias, a través de la vía glucolítica de Embden-Meyerhof-Parnas [25]. Su eficiencia depende de la concentración inicial de sustrato, la actividad enzimática de la levadura y variables del medio como pH y temperatura, siguiendo cinéticas de tipo Monod [25]. Las cáscaras de piña y maracuyá contienen además compuestos de alto valor agregado - flavonoides, ácidos fenólicos y grupos carbonilo, cetona, aldehído y carboxilo - [26], que las enzimas hidrolíticas degradan mediante interacciones moleculares específicas que rompen y forman enlaces químicos [27], liberando azúcares fermentables. En *S. cerevisiae*, tratamientos como el ultrasonido de baja intensidad han mostrado mejorar la permeabilidad de membrana y la tolerancia al etanol, incrementando la biomasa y el rendimiento y reduciendo el tiempo de fermentación [28]. Finalmente, la destilación separa el etanol del agua según su volatilidad, pero el azeótropo etanol-agua (95,6 % v/v) limita la obtención de etanol absoluto; técnicas de re-destilación y pervaporación con

membranas de polidimetilsiloxano (PDMS) permiten superar esta barrera termodinámica [29]. La glucosa y la fructosa - azúcares reductores presentes en las cáscaras de frutas - constituyen el sustrato fundamental de este proceso [30]; en particular, la piña destaca por su elevado contenido de sacarosa, glucosa y fructosa, carbohidratos fácilmente fermentables que convierten a su cáscara en una materia prima valiosa para la producción de bioetanol [31].

II. METODOLOGÍA

A. Tipo, enfoque y diseño

La investigación fue de tipo aplicada, orientada a resolver un problema ambiental mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos de frutas tropicales [32]. Se empleó un enfoque cuantitativo, dado que se recopilaron y analizaron datos numéricos de concentración de azúcares reductores y volumen de bioetanol [33], bajo un diseño cuasi-experimental factorial 3×2, ya que se aplicaron tratamientos controlados de hidrólisis y fermentación sin poder controlar completamente todas las variables, en particular la asignación aleatoria de los grupos [34]. El alcance fue explicativo, orientado a determinar la influencia del tiempo de fermentación y el tipo de sustrato sobre el rendimiento de bioetanol [35].

B. Variables, población y muestra

La variable independiente fue la fermentación de azúcares reductores durante la hidrólisis, y la variable dependiente, el bioetanol producido. La unidad de análisis correspondió a cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis*) y piña (*Ananas comosus*) recolectadas en mercados y juguerías de Lambayeque, en buen estado sanitario, sin tratamientos previos y con un máximo de 48 h desde su extracción, conservadas a 4 °C. Se excluyeron muestras con signos de pudrición, contaminación con materiales extraños o procedencia no verificada.

La región Lambayeque genera aproximadamente 8110,22 t/año de residuos de maracuyá (62 % de subproductos sobre 13 081 t de producción) y 22,5 t/año de residuos de piña (50 % de subproductos sobre 45 t de producción), totalizando 8132,72 t/año, que constituyen la población de referencia. La muestra, seleccionada mediante muestreo no probabilístico por conveniencia [41], estuvo conformada por 18 unidades experimentales (diseño factorial 3×2 con 3 repeticiones: tres tiempos de fermentación 24, 48 y 72 h - por dos sustratos - piña y maracuyá), empleando 7 kg de cáscara de piña (15 % de azúcares reductores) y 10 kg de cáscara de maracuyá (12 %) como referencia de recolección (Tabla I).

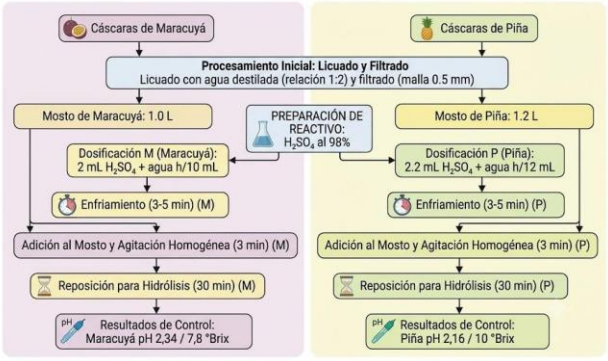
TABLA I
RESUMEN DE COHERENCIA CON EL DISEÑO EXPERIMENTAL

Factor A	Factor B	Repeticiones	Unidades experimentales
Tiempo de fermentación (24, 48, 72 h)	Tipo de sustrato (piña, maracuyá)	3	18

C. Procedimiento experimental

Las cáscaras de piña y maracuyá fueron lavadas, troceadas y licuadas con agua destilada en proporción 1:2 (materia prima: agua) hasta obtener un mosto homogéneo, filtrado con malla de 0,5 mm. El pH inicial se ajustó a 4,5 con soluciones buffer, siguiendo los protocolos de Avila et al. [36] y Campos et al. [38]. En la etapa de hidrólisis, el mosto se trató con H_2SO_4 diluido (98 % de pureza) - 2 mL para maracuyá y 2,2 mL para piña, diluidos en 10 mL y 12 mL de agua destilada, respectivamente - con base en lo descrito por Decheco [37]; tras un reposo de enfriamiento de 3 a 5 min, la solución ácida se incorporó al mosto, se agitó durante 3 min y se dejó reposar 30 min para favorecer la hidrólisis de los polisacáridos. El contenido de sólidos solubles se determinó por refractometría digital, en concordancia con los rangos reportados en la literatura para piña (9,0-10 °Brix [39]) y maracuyá (~12 °Brix [40]).

Fig. 1 Esquema operacional del proceso de hidrólisis ácida.



El mosto se pasteurizó a 65 °C, o alternativamente se trató con metabisulfito de sodio (0,05 g/L), y una vez enfriado se inoculó con *S. cerevisiae* liofilizada comercial (1 g/L), conforme a Avila [36]. La fermentación se realizó en frascos herméticos con válvula de alivio a 34 ± 2 °C, en tres tiempos - T1: 24 h, T2: 48 h, T3: 72 h, cada uno por triplicado (18 unidades experimentales; 3×2) [37], [38], registrándose variaciones de pH y °Brix durante el proceso [36]. Finalmente, cada tratamiento se filtró y se sometió a destilación simple (matraz, condensador y termómetro) [37], [38], recuperándose el bioetanol en frascos ámbar para su análisis.

D. Técnicas, instrumentos y validez

Se emplearon técnicas de observación y medición experimental directa para registrar variables físico-químicas durante la hidrólisis, la fermentación y la destilación [42],

mediante fichas de registro de laboratorio y equipos calibrados (alcoholímetro, densímetro, pH-metro digital, refractómetro, termómetro, cronómetro, balanza analítica y sensores automatizados de temperatura y presión) [42]. La validez de contenido fue revisada por especialistas en biotecnología y análisis químico [36], y la consistencia interna se garantizó mediante la triplicación de cada tratamiento, el control de variables ambientales y la verificación duplicada de los datos, procesados en Minitab v22.3.1.

E. Análisis estadístico

Se aplicó un ANOVA factorial 3×2 para evaluar el efecto del tiempo de fermentación, el tipo de sustrato y su interacción sobre el rendimiento de bioetanol [36], [40], [41], [42]. Ante diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó la prueba post hoc de Tukey, y los resultados se presentaron mediante tablas y gráficos de interacción con los valores promedio de °GL, pureza y rendimiento [43], [44].

F. Aspectos éticos

El estudio se desarrolló conforme a los principios de la Ley General del Ambiente [43] y al Reglamento del Decreto Legislativo N.° 1278 sobre gestión integral de residuos sólidos [44], priorizando el aprovechamiento responsable de residuos orgánicos sin generar impactos negativos. Asimismo, se respetaron los principios de honestidad, objetividad y veracidad del Código de Ética en Investigación de la Universidad César Vallejo [45] y el Protocolo de Seguridad en Laboratorios Médicos de la institución [46], garantizando el uso de equipo de protección personal y la disposición adecuada de los residuos generados durante la experimentación.

III. RESULTADOS

A. Caracterización fisicoquímica de las cáscaras

La harina de cáscara de maracuyá presentó un elevado contenido de carbohidratos (80,70 g/100 g), baja humedad (3,96 g/100 g), 7,88 g/100 g de proteína, 1,17 g/100 g de grasa y 6,29 g/100 g de cenizas, con un valor energético de 364,85 kcal/100 g (Tabla II). La harina de cáscara de piña registró valores aún más favorables: 83,29 g/100 g de carbohidratos, 6,74 g/100 g de humedad, 4,79 g/100 g de proteína, 1,02 g/100 g de grasa, 4,16 g/100 g de cenizas y 361,50 kcal/100 g (Tabla III). El elevado contenido de carbohidratos y la baja humedad de ambas harinas confirman su potencial como sustratos fermentables y su estabilidad para el almacenamiento previo al procesamiento.

TABLA II
COMPOSICIÓN FITOQUÍMICA DE LA HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ

Parámetro	Unidad	Resultado
Energía total	kcal/100 g	364,85
Carbohidratos	g/100 g	80,70
Grasa total	g/100 g	1,17
Humedad	g/100 g	3,96
Proteína	g/100 g	7,88
Cenizas	g/100 g	6,29

TABLA III
COMPOSICIÓN FITOQUÍMICA DE LA HARINA DE CÁSCARA DE PIÑA

Parámetro	Unidad	Resultado
Energía total	kcal/100 g	361,50
Carbohidratos	g/100 g	83,29
Grasa total	g/100 g	1,02
Humedad	g/100 g	6,74
Proteína	g/100 g	4,79
Cenizas	g/100 g	4,16

B. Hidrólisis ácida y azúcares reductores

El licuado de las cáscaras produjo 1,0 L de mosto de maracuyá y 1,2 L de mosto de piña. La hidrólisis con H_2SO_4 diluido generó un pH de 2,34 en el mosto de maracuyá y 2,16 en el de piña, condición fuertemente ácida y favorable para la ruptura de las estructuras lignocelulósicas. El contenido de sólidos solubles alcanzó 10 °Brix en piña y 7,8 °Brix en maracuyá inmediatamente después de la hidrólisis; al promediar las tres repeticiones del diseño experimental, el °Brix inicial fue de 9,8 ± 0,25 para piña y de 8,1 ± 0,26 para maracuyá (Tabla IV), confirmando una mayor disponibilidad inicial de azúcares en la cáscara de piña.

TABLA IV
BRIX INICIAL DE LAS MATERIAS PRIMAS (N = 3)

Materia prima	°Brix inicial (media ± DE)
Piña	9,8 ± 0,25
Maracuyá	8,1 ± 0,26

C. Fermentación y rendimiento alcohólico

Durante la fermentación, el °Brix disminuyó de forma progresiva en ambas materias primas conforme se prolongó el tiempo de proceso, lo que refleja el consumo de azúcares por *S. cerevisiae* (Tabla V). En correspondencia, el porcentaje de alcohol aumentó de manera sostenida entre las 24 y las 72 h en ambos sustratos (Tabla VI); en todos los tiempos evaluados, la cáscara de piña superó a la de maracuyá, en concordancia con su mayor contenido inicial de sólidos solubles.

TABLA V
BRIX FINAL POR TRATAMIENTO (MEDIA ± DE, N = 3)

Materia prima	Tiempo (h)	°Brix final
Piña	24	5,50 ± 0,10

Materia prima	Tiempo (h)	°Brix final
Piña	48	4,20 ± 0,10
Piña	72	1,30 ± 0,10
Maracuyá	24	4,70 ± 0,10
Maracuyá	48	3,60 ± 0,10
Maracuyá	72	2,20 ± 0,10

TABLA VI
PORCENTAJE DE ALCOHOL POR TRATAMIENTO (MEDIA ± DE, N = 3)

Materia prima	Tiempo (h)	Alcohol (%)
Piña	24	2,47 ± 0,32
Piña	48	3,70 ± 0,20
Piña	72	4,93 ± 0,06
Maracuyá	24	1,97 ± 0,15
Maracuyá	48	2,80 ± 0,26
Maracuyá	72	3,50 ± 0,26

D. Análisis estadístico

El diseño factorial consideró dos factores - tiempo de fermentación (24, 48 y 72 h) y materia prima (piña y maracuyá) - (Tabla VII). El ANOVA mostró que el modelo global fue altamente significativo (F = 64,55; p = 0,000); el tiempo de fermentación tuvo el mayor efecto sobre el porcentaje de alcohol (F = 116,17; p = 0,000), seguido de la materia prima (F = 77,69; p = 0,000), con una interacción tiempo × materia prima también significativa (F = 6,37; p = 0,013) (Tabla VIII). El modelo explicó el 96,42 % de la variabilidad observada (R^2 ajustado = 94,92 %; R^2 de predicción = 91,93 %; S = 0,227303) (Tabla IX), lo que confirma su adecuada capacidad predictiva y descarta sobreajuste.

TABLA VII
FACTORES DEL DISEÑO FACTORIAL

Factor	Niveles	Valores
Tiempo (h)	3	24; 48; 72
Materia prima	2	Maracuyá; Piña

TABLA VIII
ANOVA DEL DISEÑO FACTORIAL

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	16,6761	3,33522	64,55	0,000
Tiempo (h)	2	12,0044	6,00222	116,17	0,000
Materia prima	1	4,0139	4,01389	77,69	0,000
Tiempo × Materia prima	2	0,6578	0,32889	6,37	0,013
Error	12	0,6200	0,05167	-	-
Total	17	17,2961	-	-	-

TABLA IX
RESUMEN DEL MODELO FACTORIAL

S	R^2	R^2 ajustado	R^2 predicción
0,227303	96,42 %	94,92 %	91,93 %

La prueba de Tukey (95 % de confianza) confirmó diferencias significativas entre materias primas: la piña alcanzó una media de 3,700 % de alcohol (grupo A) frente a 2,756 % del maracuyá (grupo B) (Tabla X). Para el tiempo de fermentación, los tres niveles difirieron significativamente entre sí: 72 h obtuvo la mayor media (4,217 %, grupo A), seguida de 48 h (3,250 %, grupo B) y 24 h (2,217 %, grupo C) (Tabla XI), confirmando que 72 h constituye la condición más favorable dentro del rango evaluado.

TABLA X
PRUEBA DE TUKEY PARA MATERIA PRIMA

Materia prima	N	Media (%)	Grupo
Piña	9	3,700	A
Maracuyá	9	2,756	B

TABLA XI
PRUEBA DE TUKEY PARA TIEMPO DE FERMENTACIÓN

Tiempo (h)	N	Media (%)	Grupo
72	6	4,217	A
48	6	3,250	B
24	6	2,217	C

IV. DISCUSIÓN

A. Caracterización fisicoquímica

El elevado contenido de carbohidratos hallado en ambas harinas (80,70 % en maracuyá y 83,29 % en piña) coincide con lo reportado por Reis et al. [20], quienes señalan que las cáscaras de piña presentan alto contenido de carbohidratos y baja concentración de grasa; los valores de proteína (4,79 %) y grasa (1,02 %) obtenidos en este estudio son similares a los de dichos autores. De manera análoga, Campos et al. [47] caracterizaron harina de cáscara de piña seca con contenidos de humedad, proteína, cenizas y carbohidratos comparables a los encontrados aquí, con diferencias atribuibles a la variedad, el estado de madurez y las condiciones de procesamiento. Asimismo, Patiño Ardila y Torres Navarrete [15] reportaron 35,77 % de holocelulosa, 21,75 % de celulosa, 15,08 % de hemicelulosa y 10,52 % de lignina en cáscara de piña, con proteína cruda (5,10 %) y cenizas (4,99 %) cercanas a las obtenidas en esta investigación (4,79 % y 4,16 %, respectivamente).

Para la cáscara de maracuyá, el contenido de carbohidratos (80,70 %) fue superior al reportado por Diestra y Paucar-Menacho [22] (49,78 %), aunque la proteína (7,88 % frente a 5,14 %) y las cenizas (6,29 % frente a 4,93 %) resultaron del mismo orden; estas diferencias podrían deberse a las condiciones de secado y procesamiento. Ambos estudios coinciden, no obstante, en la relevancia de esta cáscara como fuente de azúcares fermentables. Una limitación de la presente investigación fue la ausencia de una caracterización lignocelulósica completa (celulosa, hemicelulosa, lignina), por lo que la evaluación del potencial fermentativo se sustentó en el análisis proximal y en la comparación con estudios previos.

B. Hidrólisis ácida

Los valores de pH (2,16 en piña; 2,34 en maracuyá) y de °Brix (10 y 7,8, respectivamente) obtenidos tras la hidrólisis evidencian que el ácido sulfúrico favoreció la ruptura parcial de las estructuras lignocelulósicas. Este resultado es coherente con Patiño Ardila y Torres Navarrete [15], quienes obtuvieron 66,18 L de bioetanol a partir de 230 kg de piña procesada gracias a una hidrólisis eficiente de celulosa y hemicelulosa, y con Condor Collachagua [19], quien - trabajando a pH 4,5-5,0 y 20 °Brix sobre residuos de pan - alcanzó 0,28 L de etanol/kg de residuo; la diferencia de pH respecto al presente estudio se explica porque las mediciones se realizaron inmediatamente después de la hidrólisis, antes del acondicionamiento previo a la fermentación. En la misma línea, Guevara Irigoin y Niquen Chimoy [17] (mostos de maíz a pH 4,5-5,0 y 18-20 °Brix) y Pino et al. [48](hidrólisis con HCl 1,0 M sobre cítricos, pH 2,00 y 15-23 °Brix) confirman que la hidrólisis ácida constituye una etapa determinante para liberar azúcares fermentables, independientemente del tipo de ácido o de biomasa empleada. De forma complementaria, Chumbes Montes [49], si bien orientada a la extracción de pectina de cáscara de maracuyá con ácido cítrico (85 °C, 60 min, pH 3), respalda la efectividad de la hidrólisis ácida para romper estructuras polisacarídicas de esta matriz vegetal. La mayor concentración de sólidos solubles obtenida en piña (10 °Brix) frente a maracuyá (7,8 °Brix) sugiere una ventaja inicial de esta materia prima durante la fermentación. Como limitación, no se contó con equipos para cuantificar directamente los azúcares reductores liberados, por lo que el °Brix se empleó como indicador indirecto.

C. Fermentación y rendimiento

El aumento del porcentaje de alcohol con el tiempo de fermentación coincide con Condor Collachagua [19], quien obtuvo entre 4 % y 5 % de alcohol con *S. cerevisiae* a partir de residuos de pan, valores cercanos al máximo de 4,9-5,0 % alcanzado en piña a las 72 h en este estudio. De modo similar, Mgeni et al. [5] y Villalobos Romero et al. [14] reportan que la fermentación con *S. cerevisiae* sobre residuos de piña y maracuyá incrementa progresivamente el etanol conforme disminuye el °Brix, en concordancia con lo observado aquí. En contraste, Nur et al. [50] obtuvieron un rendimiento de 10,2 % a partir de cáscara de piña fermentada con la misma levadura, superior al 4,9-5,0 % alcanzado en esta investigación; la diferencia podría atribuirse a que dichos autores incorporaron etapas adicionales de concentración y purificación del etanol, mientras que en este estudio solo se evaluó el alcohol obtenido durante la fermentación, sin destilación fraccionada posterior.

El análisis de varianza factorial coincide con el enfoque empleado por Santos et al. [51], quienes evaluaron mediante diseño factorial completo el efecto de la concentración de agentes de pretratamiento y el tiempo de reacción sobre la liberación de azúcares fermentables en cáscara de maracuyá, confirmando la utilidad de este diseño estadístico para optimizar procesos de valorización de residuos agroindustriales. Como limitación, la presente investigación evaluó una única dosis de *S. cerevisiae* (1 g/L) y tres tiempos de fermentación (24, 48 y 72 h), por lo que podrían existir condiciones operativas adicionales - mayor dosis de inóculo, temperaturas alternativas o tiempos superiores a 72 h - capaces de incrementar aún más el rendimiento alcohólico.

V. CONCLUSIONES

La fermentación de azúcares reductores extraídos de cáscaras de piña y maracuyá permitió obtener bioetanol a partir de ambas materias primas, destacando la cáscara de piña por su mayor contenido de carbohidratos y por alcanzar el mayor porcentaje de alcohol (5,0 %) a las 72 h de fermentación. El análisis estadístico confirmó que la materia prima, el tiempo de fermentación y su interacción influyeron significativamente en el rendimiento ($p < 0,05$).

Respecto al primer objetivo específico, la caracterización fisicoquímica evidenció que ambas cáscaras poseen un elevado contenido de carbohidratos y bajos contenidos de humedad y grasa, características favorables para su uso como sustrato fermentable; la cáscara de piña destacó por su mayor contenido de carbohidratos (83,29 g/100 g) y sólidos solubles (9,8 °Brix).

En relación con el segundo objetivo, la hidrólisis ácida de ambas cáscaras generó valores de pH de 2,16 (piña) y 2,34 (maracuyá), favoreciendo la liberación de azúcares reductores; el °Brix inicial de los mostos (9,8 en piña y 8,1 en maracuyá) disminuyó progresivamente durante la fermentación hasta 1,2-1,4 °Brix (piña) y 2,1-2,3 °Brix (maracuyá) a las 72 h, confirmando el consumo de azúcares por *S. cerevisiae*.

Con relación al tercer objetivo, tanto la materia prima como el tiempo de fermentación influyeron significativamente en la producción de bioetanol; la cáscara de piña presentó mayor rendimiento alcohólico que la de maracuyá, y las 72 h de fermentación constituyeron la condición más favorable, con un 5,0 % de alcohol. Se concluye que la fermentación de

cáscara de piña durante 72 h representa la condición óptima dentro de las evaluadas, y que ambos residuos agroindustriales constituyen materias primas viables para la producción sostenible de bioetanol en la región Lambayeque.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una caracterización lignocelulósica completa (celulosa, hemicelulosa y lignina) de las cáscaras de piña y maracuyá, para comprender mejor su potencial como materia prima y optimizar las condiciones de hidrólisis. Asimismo, se sugiere cuantificar directamente los azúcares reductores liberados mediante métodos como el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) o HPLC, y evaluar distintas condiciones de temperatura, tiempo de reacción y concentración de ácido durante la hidrólisis. Finalmente, se recomienda ampliar el rango de dosis de *S. cerevisiae* y de tiempos de fermentación, así como estudiar el efecto de la temperatura, el pH y la concentración inicial de azúcares, e incorporar etapas de destilación y purificación que permitan determinar la concentración final y la calidad del bioetanol obtenido, con miras a escalar el proceso a nivel de pequeños productores agroindustriales o proyectos piloto municipales.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad César Vallejo, sede Chiclayo, y de manera especial a su asesor, Mgtr. Walter Manuel Hoyos Alayo, por la orientación brindada durante el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

[1] A. F. Aili Hamzah, M. H. Hamzah, H. Che Man, N. S. Jamali, S. I. Siajam, y M. H. Ismail, «Recent Updates on the Conversion of Pineapple Waste (Ananas comosus) to Value-Added Products, Future Perspectives and Challenges», *Agronomy*, vol. 11, n.º 11, p. 2221, nov. 2021, doi: 10.3390/agronomy11112221.

[2] J. C. Chai, S. H. Hasmoni, N. Ihsan, y M. F. Abdul-Wahab, «From Waste to Bioenergy: A Comprehensive Review on Pineapple Waste Valorization for Biohydrogen Production», *Bioenerg. Res.*, vol. 19, n.º 1, p. 56, mar. 2026, doi: 10.1007/s12155-026-10990-9.

[3] FAO, «Reducir la pérdida de alimentos y valorizar frutas y residuos para impulsar la sostenibilidad y rentabilidad de la industria de la piña», FAO, Roma, Italia, 2024. doi: 10.4060/cd0668es.

[4] «Harnessing Fruit and Vegetable Waste for Biofuel Production: Advances and Scope for Future Development - Sharma - 2025 - eFood - Wiley Online Library». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://iadns.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/efd2.70051

[5] L. A. Mtashobya, S. T. Mgeni, y J. K. Emmanuel, «Bioethanol production from concentration fruit wastes juice using bakery yeast», *Mater Renew Sustain Energy*, vol. 14, n.º 1, p. 6, ene. 2025, doi: 10.1007/s40243-024-00283-6.

[6] K. Borah y V. V. Goud, «Bioconversion of spent passion fruit rind to ethanol: Integrating hemicellulose hydrolysis and detoxification», *Bioresource Technology Reports*, vol. 31, p. 102193, sep. 2025, doi: 10.1016/j.biteb.2025.102193.

[7] N. S. Bedoya-Perales y G. P. Dal' Magro, «Quantification of Food Losses and Waste in Peru: A Mass Flow Analysis along the Food Supply Chain», *Sustainability*, vol. 13, n.º 5, p. 2807, ene. 2021, doi: 10.3390/su13052807.

[8] T. E. Escobar Flores, «Obtención de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de frutas, Moquegua 2022», 2024, Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12819/3499

[9]. «Estrategias de renovación de la infraestructura para el ordenamiento del comercio en el mercado Moshoqueque, José Leonardo Ortiz, 2024». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.usat.edu.pe/items/2f95578a-2436-4b07-8be0-408ab92b5bab/full

[10] «EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO CON ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN DE PECTINA CONTENIDA EN EL ALBEDO DEL MARACUYÁ (Passiflora edulis)». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000100013

[11] «Veritrade | Importaciones y Exportaciones de QUICORNAC S.A.C.» Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.veritradecorp.com/es/peru/importaciones-y-exportaciones-quicornac-sac/ruc-20477793674

[12] «Agenda 2030 y ODS – ODS». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://ods.uam.es/agenda-2030-y-ods/

[13] J. S. L. Rendón, M. Á. Plata, y A. P. V. Romero, «Obtención de bioetanol a partir del corozo a través del proceso de la fermentación alcohólica.».

[14] «Alternativa de obtención de etanol a partir de los desechos de piña generados por Industrias Karpos SAS».

[15] J. M. Bances Cajusol, «Producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos en el distrito de Mórrope».

[16] M. A. Soto Velásquez, «Aprovechamiento de residuos del maíz (Zea mays) en la industria: Revisión bibliográfica», *RIVAR (Santiago)*, vol. 11, n.º 31, pp. 212-229, ene. 2024, doi: 10.35588/rivar.v10i31.5980.

[17] A. M. Zambrano Pazmiño, «Obtención de alcohol etílico a partir de la fermentación y destilación alcohólica del mosto del plátano maduro de diferentes musáceas cultivables en el cantón El Carmen.», Thesis, 2022. Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5230

[18] M. T. Condor Collachagua, «Obtención de bioetanol G2 a partir de residuos de panes de un comedor universitario utilizando levaduras del género Saccharomyces como microorganismo fermentable».

[19] C. Reis *et al.*, «Pineapple Peel Flours: Drying Kinetics, Thermodynamic Properties, and Physicochemical Characterization», *Processes*, vol. 11, p. 3161, nov. 2023, doi: 10.3390/pr11113161.

[20] J. Villoslada, I. Huamán, M. Da-Fonseca, J. Cardozo-Soarez, y L. Portal Cahuana, «BIOETHANOL FROM Musa paradisiaca WASTE AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE IN AMAZONAS, PERU», *REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL*, vol. 12, feb. 2025, doi: 10.32404/rean.v12i1.9041.

[21] S. Chuqui-Diestra y L. Paucar-Menacho, «Caracterización fisicoquímica, funcional y reológica de harina de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis SIMS)», *TAYACAJA*, vol. 4, pp. 103-110, dic. 2021, doi: 10.46908/tayacaja.v4i2.177.

[22] R. Malaver, R. Tirado-Lara, y N. Fabian-Anastacio, «COMPARACIÓN DE CLONES MEJORADOS DE CAMOTE (Ipomoea batatas [L.] Lam) EN EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE BIOETANOL DE RAÍCES RESERVANTES», *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 25, sep. 2022, doi: 10.56369/tsaes.4409.

[23] «(PDF) Modelling and analysis on the ethanol production by the Torulaspora delbrueckii yeast», *ResearchGate*, jul. 2026, doi: 10.24275/rmiq/Sim24312.

[24] M. Romero-Martínez, R. Andrade-Pizarro, y C. De Paula, «Functional compounds in tropical fruit processing by-products and intrinsic factors affecting their composition: A review», *Current Research in Food Science*, vol. 10, p. 101028, ene. 2025, doi: 10.1016/j.crfs.2025.101028.

[25] G. Scarinci *et al.*, «Enhanced metabolic entanglement emerges during the evolution of an interkingdom microbial community», *Nat Commun*, vol. 15, n.º 1, p. 7238, ago. 2024, doi: 10.1038/s41467-024-51702-1.

[26] J. Hao *et al.*, «Enhancing ethanol tolerance and metabolic activity of Saccharomyces cerevisiae during Rice fermentation by fixed-frequency ultrasound», *Food Res Int*, vol. 218, p. 116892, oct. 2025, doi: 10.1016/j.foodres.2025.116892.

[27] M. Faghih y M. Esfahanian, «Evaluation of polydimethylsiloxane membrane performance for ethanol/water mixture separation: Mathematical modeling», *Chemical Review and Letters*, vol. 8, n.º 4, pp. 659-672, jul. 2025, doi: 10.22034/crl.2025.502132.1532.

[28] «Azúcares reductores en el sector sucroenergético», - Azúcares reductores en el sector sucroenergético. Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://tecnal.com.br/es/blog/471_azucares_reductores_en_el_sector_sucroenergetico

[29] «Composición nutricional y potencial terapéutico de la cáscara de piña: una revisión exhaustiva - Mehraj - 2024 - Química y Biodiversidad - Biblioteca en línea de Wiley». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cbdv.202400315

[30] OECD y Eurostat, «Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition», *The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*, vol. 2018, oct. 2018, doi: 10.1787/9789264304604-en.

[31] «Estudio cuantitativo: definición, métodos, diseño y análisis», Compilatio. Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.compilatio.net/es/noticias/investigacion-cuantitativa

[32] C. Ramos-Galarza, «Editorial: Diseños de investigación experimental», *CienciAmérica*, vol. 10, n.º 1, pp. 1-7, feb. 2021, doi: 10.33210/ca.v10i1.356.

[33] «Clase digital 4. Definición del alcance de la investigación que se realizará: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo – Recursos Educativos Abiertos». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-4-definicion-del-alcance-de-la-investigacion-que-se-realizara-exploratorio-descriptivo-correlacional-o-explicativo/

[34] «Método de muestreo por conveniencia en la investigación», ATLAS.ti. Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://atlasti.com/es/research-hub/muestreo-de-conveniencia

[35] J. F. Murcia P, A. N. Ardila A, R. Barrera-Zapata, J. F. Murcia P, A. N. Ardila A, y R. Barrera-Zapata, «Producción de etanol a partir de piñas de rechazo de cultivos del Chocó», *Revista ION*, vol. 33, n.º 1, pp. 47-56, jun. 2020, doi: 10.18273/revion.v33n1-2020005.

[36] L. M. Avila Jiménez, «Obtención de bioetanol de segunda generación a partir del pericarpio de maracuyá (passiflora edulis f. flavicarpIa)», 2015, Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23207

[37] A. C. Decheco Egúsquiza, «Biotransformación de cáscaras de ananas comosus (piña) para la obtención de etanol en el marco de desarrollo sostenible de las regiones productoras del Perú», 2019, Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.13084/2740

[38] J. Campos-Rodriguez, K. Acosta-Coral, C. Moreno-Rojo, y L. M. Paucar-Menacho, «Maracuyá (Passiflora edulis): Composición nutricional, compuestos bioactivos, aprovechamiento de subproductos, biocontrol y fertilización orgánica en el cultivo», *Scientia Agropecuaria*, vol. 14, n.º 4, pp. 479-497, nov. 2023, doi: 10.17268/sci.agropecu.2023.040.

[39] C. C. J. Stiven, «DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM FOR A DISTILLERY».

[40] W. M. Hoyos-Alayo, J. E. Vélez-Verona, A. C. Pérez-Sandoval, y A. L. Yenque-Aguilar, «Comparative Effectiveness of Emerging and Conventional Technologies for Arsenic Removal in Drinking Water: A Systematic Review (2015–2025)», en *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2025. doi: 10.18687/LEIRD2025.1.1.216.

[41] W. M. Hoyos-Alayo, J. L. Leiva-Piedra, J. L. Amaro-Mellado, y E. Ramirez-Juidias, «Comparative evaluation of Citrus aurantifolia and Passiflora edulis peel flours as bioadsorbents for arsenic removal from drinking water», *Rev. Bras. Meio. Ambient.*, vol. 14, n.º 1, pp. 58-83, 2026, doi: 10.66205/rvbma.v14i1.1980.

[42] W. M. Hoyos-Alayo y J. L. Leiva-Piedra, «Comparative evaluation of an organic and an inorganic coagulant in the clarification of vinasse: dose optimization for BOD5 and turbidity reduction», *Rev. Interdiscip. Cienc. Aplicada.*, vol. 10, n.º 15, 2026, doi: 10.18226/25253824.v10.n15.04.

[43] E. J. Cotrina-Urbina, W. M. Hoyos-Alayo, J. L. Leiva-Piedra, y E. Ramirez-Juidias, «Determining the optimal dose of Trichoderma harzianum for the morphophysiological development of Pinus radiata seedlings in the nursery», *Rev. Bras. Meio. Ambient.*, vol. 14, n.º 2, pp. 102-126, 2026, doi: 10.66205/rvbma.v14i2.2064.

[44] S. M. Jiménez-Hernández, J. D. Velásquez-Quesquén, J. L. Leiva Piedra, W. M. Hoyos-Alayo, y C. A. Monteza Arbulu, «Bioremediation of arsenic in groundwater using residues of the fungus Suillus luteus», *Rev. Bras. Meio. Ambient.*, vol. 14, n.º 1, pp. 119-141, 2026, doi: 10.66205/rvbma.v14i1.1996.

[45] «Ley N.° 28611». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/3569-28611

[46] «Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos | SINIA». Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-decreto-legislativo-ndeg-1278-decreto-legislativo-que-aprueba

[47] «RCUN°659-2024-UCV - Actualización del Código de Ética en Investigación», Studocu. Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/economia/rcun0659-2024-ucv-codigo-de-etica-en-investigacion/124318629

[48] «PROTOCOLO DE SEGURIDAD EN LABORATORIOS MÉDICOS - UCV SAC», Studocu. Accedido: 8 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/estadistica-y-analisis-de-datos/protocolo-de-seguridad-en-laboratorios-medicos-ucv-sac/141674507

[49] C. G. dos Reis *et al.*, «Pineapple Peel Flours: Drying Kinetics, Thermodynamic Properties, and Physicochemical Characterization», *Processes*, vol. 11, n.º 11, p. 3161, nov. 2023, doi: 10.3390/pr11113161.

[50] R. Sánchez - Orozco y V.-V. José, «Hidrólisis de residuos de naranja para la obtención de carbohidratos fermentables», *Revista de Investigación y Desarrollo*, vol. 2, pp. 63-70, jul. 2017.

[51] R. D´Addosio, G. Páez, M. Marín, Z. Mármol, y J. Ferrer, «Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (Passiflora edulis f. flavicarpa Degener)», *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 22, n.º 3, pp. 241-251, jul. 2005.

[52] B. A. C. Quirós, «Producción de bioetanol a partir del corazón y la cáscara de la piña utilizando la levadura Saccharomyces Cerevisiae.».

[53] J. Zhou *et al.*, «Optimisation of the Ethanol Fermentation Process Using Hydrothermal Pretreatment of Cellulose Waste—Effect of Fermentation Pattern and Strain», *Molecules*, vol. 29, n.º 22, p. 5266, nov. 2024, doi: 10.3390/molecules29225266.