



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

UNT

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Efecto de temperatura y concentración de celulasa en la obtención de azúcares reductores de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*)

(Effect of temperature and cellulase in obtaining reducing sugars from native potato peels (*Solanum tuberosum*))

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR Br. Vela Horna, Martir Orlando

ASESOR Dr. Vegas Niño, Rodolfo Moisés

HUAMACHUCO – PERÚ

2024

“Efecto de temperatura y concentración de celulasa en la obtención de azúcares reductores de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*)”

**INFORME DE INVESTIGACIÓN
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Presentado por:

Br. Vela Horna, Martir Orlando

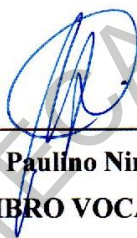
Sustentada y aprobada, ante el siguiente Jurado:



**MSc. Freddy Waldir Gómez Escobedo
PRESIDENTE**



**Dr. Daniel José Salvador Rodríguez
SECRETARIO**



**Dr. Viviano Paulino Ninaquispe Zare
MIEMBRO VOCAL**



**Dr. Rodolfo Moisés Vegas Niño
MIEMBRO ASESOR**

DEDICATORIA

Este trabajo es fruto de muchos años de formación, por tanto, dedico este trabajo a mis padres, por su esfuerzo y confiar siempre en mí. Se lo merecen.

Martir O.

BIBLIOTECA DE AGROPECUARIAS

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco profundamente a mi familia, en especial a mis padres que, gracias a su esfuerzo y sacrificio, pude culminar satisfactoriamente la carrera.

Quiero también expresar mi agradecimiento a los docentes de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la UNT, con especial mención a mi asesor, el Dr. Rodolfo Moisés Vegas Niño, quien fue fundamental al proporcionarme orientación durante todo el proceso de elaboración de este trabajo de investigación. Sus valiosos consejos me permitieron enfocar la investigación de manera efectiva.

También deseo agradecer al Ing. Lubberto Marceliano Sánchez por su apoyo invaluable y los conocimientos compartidos, que fueron esenciales para realizar la parte experimental de este informe de investigación.

El autor

BIBLIOTECA DE AGROPECUARIOS

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. Materiales	12
2.2. Métodos	12
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
3.1. Análisis proximal de las harinas de cáscara de papa	16
3.2. Obtención de azúcares reductores por hidrólisis enzimática	18
3.3. Optimización del proceso de hidrólisis	21
3.4. Análisis estadístico	27
IV. CONCLUSIONES	28
V. RECOMENDACIONES	29
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
ANEXOS	37

RESUMEN

El uso y aprovechamiento de residuos vegetales es de gran importancia, sobre todo si en la actualidad se fomenta la economía circular. En tal sentido, este trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto de la temperatura (30 – 50 °C) y concentración de celulasa (0.1 – 2 % p/v) en la obtención de azúcares reductores a partir de cáscaras de papa nativa (*Solanum tuberosum*) variedades “huevo de indio” y “huayro”. Para ello se estableció un diseño factorial completo (DCCR) con 11 tratamientos experimentales. La enzima empleada fue celulasa de *Aspergillus niger*, la cual operó a pH 5 y en una suspensión de harina de cáscara de papa del 10 % p/p durante 12 horas. El análisis proximal en las materias primas reveló una concentración de sólidos solubles de 2.15 °Brix en la variedad “huevo de indio” y 1.25 °Brix en la “huayro” con 1.33 y 1.25 % de azúcares reductores, respectivamente. Los resultados muestran que se obtuvo concentraciones de azúcares reductores (método del ácido 3.5-dinitrosalisílico) entre 9.02 – 17.66 % en la harina de cáscara de papa variedad “huevo de indio” y entre 8.38 – 19.75 % en la variedad “huayro”. La temperatura y concentración de enzima influyeron significativamente ($p < 0.05$) sobre la concentración de azúcares reductores, con la región óptima de temperatura entre 43.2 – 45 °C para las dos variedades, mientras que la concentración de enzima óptima para la variedad “huevo de indio” estuvo entre 1.82 – 1.96 % p/v y entre 1.70 – 1.88 % p/v para la variedad “huayro”.

Palabras clave: cáscara, papa nativa, temperatura, celulasa, azúcares reductores.

ABSTRACT

The use and exploitation of plant waste is of great importance, especially if we currently talk about the circular economy. In this sense, this work aimed to evaluate the effect of temperature (30 – 50 °C) and cellulase concentration (0.1 – 2 % w/v) in obtaining reducing sugars from native potato peels (*Solanum tuberosum*) varieties “huevo de indio” and “huayro”. For this purpose, a complete factorial design (DCCR) was established with 11 experimental treatments. The enzyme used was *Aspergillus niger* cellulase, which operated at pH 5 and in a 10% w/w potato peel flour suspension for 12 hours. The proximal analysis revealed a soluble solids concentration of 2.15 °Brix in the “huevo de indio” variety and 1.25 °Brix in the “huayro” with 1.33 and 1.25% reducing sugars, respectively. The results show that concentrations of reducing sugars (3.5-dinitrosalicylic acid method) between 9.02 – 17.66 % were obtained in the potato peel flour of the “huevo de indio” variety and between 8.38 - 19.75 % in the “huayro” variety. The temperature and enzyme concentration significantly influenced ($p < 0.05$) the concentration of reducing sugars, with the optimal temperature region between 43.2 – 45 °C for the two varieties, while the optimal enzyme concentration for the “huevo de indio” variety It was between 1.82 – 1.96 % w/v and between 1.70 – 1.88 % w/v for the “huayro” variety.

Keywords: peel, native potato, temperature, cellulase, reducing sugars.

I. INTRODUCCIÓN

La papa es el quinto producto agrícola más producido en el mundo con 388 millones de toneladas, detrás de la caña de azúcar (1.84 billones de toneladas), el maíz (1.13 billones de toneladas), el trigo (771 millones de toneladas) y el arroz (769 millones de toneladas). Se puede consumir fresco, deshidratado o frito como snack (Camps & Camps, 2019).

Las industrias agrícolas generan una gran cantidad de residuos anualmente. Si estos desechos se liberan en el medio ambiente sin un proceso adecuado de eliminación, pueden provocar contaminación y efectos adversos en la salud humana y animal. La mayoría de los residuos agroindustriales no son tratados ni aprovechados adecuadamente, y se eliminan a través de la quema, el vertido o el relleno sanitario sin planificación. Estos desechos sin tratamiento contribuyen a diversos problemas relacionados con el cambio climático al incrementar la emisión de gases de efecto invernadero. Además, el uso de combustibles fósiles también contribuye a la emisión de estos gases (Bos & Hamelinck, 2014).

Las papas son vegetales con alto valor nutricional y su cultivo extensivo en Europa del Este, China e India se traduce en alta disponibilidad y bajo precio durante todo el ciclo del año (Shahbandeh, 2024). En la región La Libertad (tercer productor de papa en el Perú), las Provincias de Pataz y Sánchez Carrión, son las que más papa (en cantidad y variedad) se produce, con lo que es claro suponer que la cantidad de residuos es elevada (López, 2020). Al mismo tiempo, la agroindustria de la papa genera importantes desechos. Sin embargo, se evidencia que no son aprovechados con fines de mermar la cantidad de residuos que se vierten al ambiente (Schalchli et al., 2021).

Se ha identificado que el principal uso que se le da a la cáscara de la papa en Huamachuco es principalmente para alimentación de animales como cuyes. Además, como residuo sólido en el “botadero” de la ciudad de Huamachuco llega a formar parte de compost.

Adicionalmente, Abebaw (2020) indica que, los desechos de la cáscara de papa se utilizan para producir alimentos de bajo valor nutricional para animales, fertilizantes o ser la materia prima del biogás, lo que provoca el desperdicio de abundantes materiales nutritivos que tienen propiedades antioxidantes, antibacterianas, quimiopreventivas y antiinflamatorias.

Una aplicación de los residuos de papa es como medio de cultivo para el crecimiento de microorganismos en procesos biotecnológicos. Un ejemplo es el uso de aguas residuales de papa en la producción de lípidos de origen microbiológico. También se pueden utilizar como sustrato para la biosíntesis de ácido láctico, que se utiliza a gran escala en la industria alimentaria y de fermentación, utilizando mohos de *Rhizopus arrhizus* (Kieliszek et al., 2020).

Los estudios de la química de la papa son importantes para comprender las contribuciones potenciales de este vegetal a la nutrición humana. Los beneficios para la salud de la papa están influenciados por el cultivo, el método de cocción, las condiciones de almacenamiento y otros alimentos consumidos (Jayanty et al., 2019; Morris & Taylor, 2019; Navarre et al., 2019). En las alturas de los Andes, donde se cultivan miles de variedades locales y el consumo de papa es alto, existe diferencias en su valor nutricional pudiendo afectar la salud humana (de Haan et al., 2019), es así que vitaminas hidrosolubles (como la B y C) y el potasio se eliminan de las papas cuando se hierven (Wijesinha-Bettoni & Mouillé, 2019).

Debido a que gran parte de la población consume papas en grandes cantidades, definitivamente hay un impacto en la salud. Los compuestos antiinflamatorios de la papa, incluidos el almidón resistente, la fibra y las antocianinas, pueden contribuir a la salud intestinal evitando procesos inflamatorios (Bibi et al., 2019; Reddivari et al., 2019). El almidón resistente fermentable también puede mejorar la salud del colon y reducir la

incidencia de cáncer de colon (Vanamala, 2019). Además, se ha demostrado que los compuestos polifenólicos de las papas reducen la proliferación de células madre del cáncer de colon (Jansky et al., 2019).

La cáscara de la papa posee un valor nutricional importante, compuestos principalmente por almidón, fibra dietética y proteína (Ben Jeddou et al., 2017). El perfil de metabolitos en las cáscaras de papa muestra una gran variabilidad dependiendo del genotipo (Inostroza-Blancheteau et al., 2018). Los macronutrientes más abundantes en la cáscara de papa son los carbohidratos, que representan entre 69 y 88 g/100 g en base seca. El almidón constituye del 30 al 52 % del peso seco de su contenido total de carbohidratos (Ramaswamy et al., 2013). Además, la cáscara de papa es una rica fuente de fibra dietética (Jeddou et al., 2016), cuya ingesta puede proporcionar beneficios para la salud humana, como la reducción del colesterol y un mejor control de la diabetes (fibra dietética soluble), así como la regulación de la salud intestinal (fibra dietética insoluble) (Ben Jeddou et al., 2017). En la cáscara de papa hay presencia de polisacáridos no amiláceos (30 %), proteína (18 %) y lignina soluble e insoluble en ácido (20 %) (Liang & McDonald, 2014).

En cuanto a los azúcares solubles, el contenido total en cáscara de papa es bajo, oscilando entre 0.9 y 1.0 % en base seca (Amado et al., 2014), mientras que los azúcares reductores fermentables representan solo 0.6 % en base seca (Arapoglou et al., 2010). Algunos autores han reportado la presencia de glucosa, fructosa, galactosa, ramnosa, arabinosa y sacarosa en cáscara de papa, apareciendo la glucosa como el azúcar soluble de mayor representatividad (Choi et al., 2016). En otro estudio, Jeddou et al. (2016) reportaron la siguiente composición de monosacáridos en cáscara de papa de la variedad “Spunta”: glucosa 76.25 %, galactosa 3.84 %, ramnosa 0.51 % y arabinosa 0.19 %.

El azúcar es un componente básico de las dietas de todo el mundo, aunque a nivel mundial sus usos y preferencias varían. Los carbohidratos se definen como polihidroxialdehídos y polihidroxicetonas los cuales difieren en composición y tamaño. La clasificación basada en el tamaño (peso molecular) divide los carbohidratos simples en monosacáridos (constituido de un solo carbono con 3 a 9 carbonos), disacáridos (compuestos de 2 monosacáridos), oligosacáridos (3 a 10 monosacáridos) y polisacáridos (más de 10 unidades monoméricas unidas por enlaces glucosídicos). El término "azúcar" en química se refiere a mono, di y oligosacáridos inferiores, aunque en lo que respecta a los alimentos, los azúcares representan mono y disacáridos que dan un sabor dulce. A medida que el número de unidades de monosacáridos en una molécula aumenta más allá de 2, el sabor dulce es considerablemente menos pronunciado (Awuchi et al., 2019).

Los monosacáridos que predominan en los alimentos son las pentosas (con 5 carbonos) y las hexosas (con 6 carbonos). Son productos directos de la fotosíntesis en plantas (D-glucosa, por ejemplo) o son producidos a partir de glucosa por ciertas vías metabólicas en células vegetales o animales. A diferencia de los aminoácidos que se presentan como L-isómeros, los monosacáridos naturales existen como d-isómeros, con la excepción de la L-arabinosa. Esto es muy importante porque, por ejemplo, la glucocinasa, una enzima necesaria para la utilización de glucosa para producir energía (glucólisis), puede "reconocer" y "procesar" solo D-glucosa. Como no puede "reconocer" la L-glucosa, este azúcar no es metabolizado por los mamíferos (Awuchi & Amagwula, 2021).

Los carbohidratos son un componente importante en una amplia gama de alimentos, tanto naturales como procesados. Están presentes en harinas que ofrecen diversas propiedades nutricionales y funcionales. El almidón, un tipo de carbohidrato complejo, es abundante en cereales como trigo, maíz y arroz, así como en tubérculos como las papas y en

productos procesados como el pan, la pizza y la pasta, que se elaboran a partir de harinas de cereales. Además, los azúcares son otro tipo de carbohidrato que se encuentra en nuestra dieta, principalmente en forma de sacarosa (azúcar de mesa), lactosa (presente en la leche) y glucosa y fructosa, que se encuentran de manera natural en la miel, muchas frutas y algunas verduras. Estos azúcares suelen añadirse a bebidas y alimentos preparados, como mermeladas, galletas y pasteles, junto con otros ingredientes como la leche y la miel. Algunos subproductos industriales que contienen carbohidratos se reciclan para su uso en la fabricación de diversos productos industriales, como una forma de gestión de residuos (Awuchi et al., 2019).

Los carbohidratos en los vegetales son polisacáridos que actúan como reservas de energía, como el almidón y también como componentes estructurales, en el caso de la celulosa. Además, los sacáridos y sus derivados incluyen otras biomoléculas que contribuyen al funcionamiento del sistema inmunológico, la fertilización, la prevención de enfermedades, la coagulación sanguínea y el desarrollo (Gjuladin-Hellon et al., 2019).

Los carbohidratos presentes en los alimentos aportan energía, con aproximadamente 3.87 kilocalorías por gramo de azúcares simples y entre 3.57 y 4.12 kilocalorías por gramo de carbohidratos complejos en la mayoría de los otros alimentos. Los productos procesados o refinados derivados de plantas, como dulces, galletas, azúcar de mesa, miel, refrescos, panes, galletas saladas, mermeladas, productos de frutas, pastas y cereales para el desayuno, suelen contener niveles relativamente altos de carbohidratos. En cambio, los alimentos no refinados, como los frijoles, tubérculos, arroz y frutas no procesadas, generalmente tienen cantidades más bajas de carbohidratos (Awuchi et al., 2019).

Los organismos generalmente no pueden metabolizar todos los tipos de carbohidratos para obtener energía. La glucosa es una fuente de energía casi universal y accesible. Además,

la glucosa se encuentra unida a otros componentes de las plantas, como los glucósidos. Aunque muchos organismos también pueden metabolizar otros monosacáridos y disacáridos, la glucosa suele ser metabolizada primero. Los polisacáridos son también importantes fuentes de energía, ya que muchos organismos pueden descomponer fácilmente los almidones en glucosa. Sin embargo, la mayoría de los organismos no pueden metabolizar la celulosa u otros polisacáridos como los arabinoxilanos y la quitina (Gjuladin-Hellon et al., 2019).

Algunas bacterias y protistas tienen la capacidad de metabolizar estos tipos de carbohidratos. Por ejemplo, en el caso de los rumiantes y las termitas, dependen de microorganismos para descomponer la celulosa. A pesar de que estos carbohidratos complejos no son fácilmente digeribles, desempeñan un papel crucial en la dieta humana, conocido como fibra dietética. La inclusión de fibra en la dieta no solo promueve una mejor digestión, sino que también conlleva una serie de otros beneficios para la salud (Awuchi et al., 2019).

Por otro lado, las celulasas son el grupo de enzimas que hidrolizan el enlace glucósidos β -1,4 entre las unidades de glucosa β -D en la celulosa. Las celulasas, se clasifican además en varios tipos sobre la base de sus mecanismos de ruptura de enlaces en la celulosa, lo que da como resultado el rendimiento de diferentes productos intermedios y finales. Además, los subtipos de celulasa también difieren en la secuencia de aminoácidos, el plegamiento y la estructura tridimensional. La enzima celulasa incluye tres tipos principales; 1) Endoglucanasa, 2) Exoglucanasa o cellubiohidrolasas, 3) β -Glactosidasa. Estas enzimas son el glucósido hidrolasa (GH), que actúa sinérgicamente sobre la celulosa para descomponerla y generar azúcar simple para su aplicación en la industria, por ejemplo, la industria textil, alimentaria, de piensos, pulpa y papel (van den Brink & de Vries, 2011). La

descomposición de las moléculas de celulosa en azúcares simples, celobiosa y otros oligosacáridos como producto primario comienza con la carboximetil celulasa o endoglucanasa, que reacciona en la cadena de celulosa y libera aleatoriamente una pequeña fibra con un extremo no reductor o reductor. Posteriormente, la exoglucanasa o celubiohidrolasa reacciona en los extremos libres de las fibras pequeñas para liberar la celobiosa y, finalmente, la β -glucosidasa ayuda a escindir la celobiosa hasta el producto final que es la glucosa (Qin et al., 2013).

La hidrólisis de la celulosa es un proceso complejo y sensible que requiere el tratamiento previo y la acción de una enzima en forma de grupo. La estructura compleja, compacta y rígida de la celulosa la hace lo suficientemente fuerte, por lo tanto, no se puede escindir fácilmente por la acción enzimática. Pero la celulosa es el recurso más abundante y biológicamente renovable para la producción de muchos productos y combustibles importantes. Por lo tanto, es de interés clave para las industrias hidrolizar la celulosa en glucosa o azúcares simples que luego se fermentan en etanol y muchos otros productos valiosos. La hidrólisis de la celulosa en unidades individuales, es decir, azúcar simple o glucosa o cadenas más cortas fácilmente hidrolizables, depende de algunos factores, entre ellos; cristalinidad de la celulosa (que es la región más fuerte a hidrolizar), grado de polimerización, tamaño de partícula y volumen de poro y disponibilidad de área superficial (Lynd et al., 2002; Sher et al., 2021; Yennamalli et al., 2013).

Entonces, existen diversas investigaciones que abordan este tema, en la cual la obtención de azúcares reductores se puede realizar de varias formas y a partir de diversas fuentes. Garay & Peña (2018) lograron obtener azúcares reductores a partir de cáscaras de piña mediante procesos fermentativos. Para la hidrólisis en fermentación sólida, construyeron biorreactores de tambor. Los resultados obtenidos mediante la técnica de DNS

(ácido dinitrosalicílico, por espectrofotometría) mostraron que, con aireación forzada, la concentración de azúcares reductores fue de 2.236 g/l, mientras que, sin aireación forzada, la concentración fue de 1.369 g/l.

Decheco (2019) investigó el efecto de la enzima celulasa fúngica en las cáscaras de plátano de seda para producir jarabe glucosado. El estudio se centró en la hidrólisis enzimática de las cáscaras de plátano al 30 % (p/v) a 50 °C. Se evaluó la concentración de la enzima (0.5 %, 1% y 1.5 % p/v) y el tiempo de hidrólisis (18, 24 y 30 horas). Los resultados mostraron que la concentración del 1.5 % (p/v) durante 30 horas produjo los mayores porcentajes de azúcares reductores, expresados como equivalente de dextrosa, con valores comprendidos entre 15.5 % y 30.9 % . Estos hallazgos establecieron las condiciones óptimas para producir jarabe glucosado a partir de cáscaras de plátano.

Apaza & Ramírez (2021) llevaron a cabo la optimización de la hidrólisis enzimática de la cascarilla de arroz para la producción de bioetanol. En el proceso a nivel de laboratorio, se realizó un pretratamiento mecánico que incluyó secado, molienda y tamizado de la cascarilla de arroz, seguido de un pretratamiento con peróxido de hidrógeno. Este pretratamiento liberó 62.92 mg de azúcares totales por gramo de cascarilla de arroz. En la etapa de hidrólisis enzimática, se emplearon enzimas celulasas (Celluclast 1.5 L), evaluando el tiempo (24, 48 y 72 horas) y la relación enzima/sustrato (30, 40 y 50 % p/p), manteniendo condiciones constantes de temperatura (50 °C), agitación (200 rpm), pH (5), y masa de sustrato. Las condiciones óptimas (72 horas, 50 % p/p) produjeron 24.03 g de azúcares reductores por litro de solución hidrolizada, con un rendimiento de sacarificación del 85.08 %. Los azúcares resultantes de la hidrólisis fueron fermentados para producir bioetanol.

En la región de La Libertad, la producción de papa se destaca principalmente en las áreas andinas, donde la provincia de Sánchez Carrión lidera con una producción de 151,170

toneladas, seguida por Julcán (102,570 toneladas), Otuzco (84,624 toneladas), Santiago de Chuco (70,508 toneladas), Pataz (30,175 toneladas) y Bolívar (25,431 toneladas). Aunque no se dispone de información precisa sobre la producción por variedad a nivel provincial, se sabe que en Huamachuco se cultivan ampliamente variedades como Canchan, Amarilis, Peruana, Yungay, Huayro, Amarilla, Libertena, Única, Tumbay, Huevo de Indio, entre otras (RPP, 2018).

De estas variedades hay que destacar que la variedad “Huayro” y “Huevo de indio” poseen un agradable sabor y textura y es muy apreciado en el mercado local y hogares huamachuquinos, pese a su precio superior en comparación con la Canchan o Amarilis. Su consumo se realiza básicamente sancochado previo pelado o cocido el tubérculo entero (sin pelar).

Por otro lado, el uso de enzimas en este proceso, significaría emplear alternativas limpias y amigables con el ambiente, a diferencia del empleo de ácidos o bases que perjudican al ambiente con sus vertimientos. La enzima celulasa de origen fúngico (*Aspergillus niger*) es una de las pocas enzimas que pueden hidrolizar la cáscara de papa (rica en celulosa, hemicelulosa y lignina), y obtener azúcares reductores que pueden emplearse en repostería, pastelería y similares. Sobre todo, en aquellas actividades donde se requieran el uso de harinas y sacarosa como edulcorante (Andersen, 2007).

A nivel industrial el producto obtenido representaría una materia prima importante en sistemas de fermentación para la obtención de bioetanol. O en la biotecnología para la producción enzimática. Incluso sería aplicable en la industria farmacéutica pues las formulaciones de glucosa (tabletas orales, inyecciones) están indicadas para el aporte calórico y la suplementación con carbohidratos en caso de privación de nutrientes. También se utiliza para trastornos metabólicos como la hipoglucemia (Drugbank, 2005).

Además, con este estudio pretendemos fomentar la aplicación de técnicas biotecnológicas para el tratamiento de residuos de origen agroindustrial, y mejorar la cadena de valor de productos como la papa y similares. En el ámbito académico, es importante señalar que con este estudio dejaremos constancia de la importancia que supone la obtención de azúcares reductores haciendo uso de celulosas.

Por lo anterior expuesto, la presente investigación se planteó como problema: ¿Cuál será el efecto de la temperatura (30 – 50 °C) y concentración de celulasa (0.1 – 2 % p/v) en la obtención de azúcares reductores a partir de cáscaras de papa nativa (*Solanum tuberosum*)?

Para tal fin, el objetivo general fue evaluar el efecto de la temperatura (30 – 50 °C) y concentración de celulasa (0.1 – 2 % p/v) en la obtención de azúcares reductores a partir de cáscaras de papa nativa (*Solanum tuberosum*) variedades “huevo de indio” y “huayro”. Y con ello, nos planteamos los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar fisicoquímicamente la harina de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*) variedades “huevo de indio” y “huayro”.
- ✓ Determinar el efecto de la temperatura y concentración de enzima sobre los azúcares reductores a partir de cáscaras de papa nativa (*Solanum tuberosum*) variedades “huevo de indio” y “huayro”.
- ✓ Determinar el intervalo de temperatura y concentración óptima de celulasas que permita la mayor obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*) variedades “huevo de indio” y “huayro”.

Como respuesta a priori a nuestro problema, surgió la siguiente hipótesis: A una concentración de 2 % de enzima celulasa (relación enzima/solución) con una temperatura de

40 °C se obtendrá la máxima concentración de azúcares reductores a partir de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*) variedades “huevo de indio” y “huayro”.

BIBLIOTECA DE AGROPECUARIAS

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los residuos de papa nativa (cáscara) se obtuvieron del mercado municipal de Huamachuco, de la sección “restaurants”. Los residuos fueron recolectados aproximadamente a las 2:00 pm que es la hora donde los comerciantes ya están por cerrar su ciclo laboral.

La enzima celulasa de *Aspergillus niger* fue obtenida comercialmente de la empresa Sigma Aldrich®. La hoja de especificaciones de la enzima se presenta en el Anexo 1.

2.2. Métodos

Obtención de las harinas de cáscara de papa

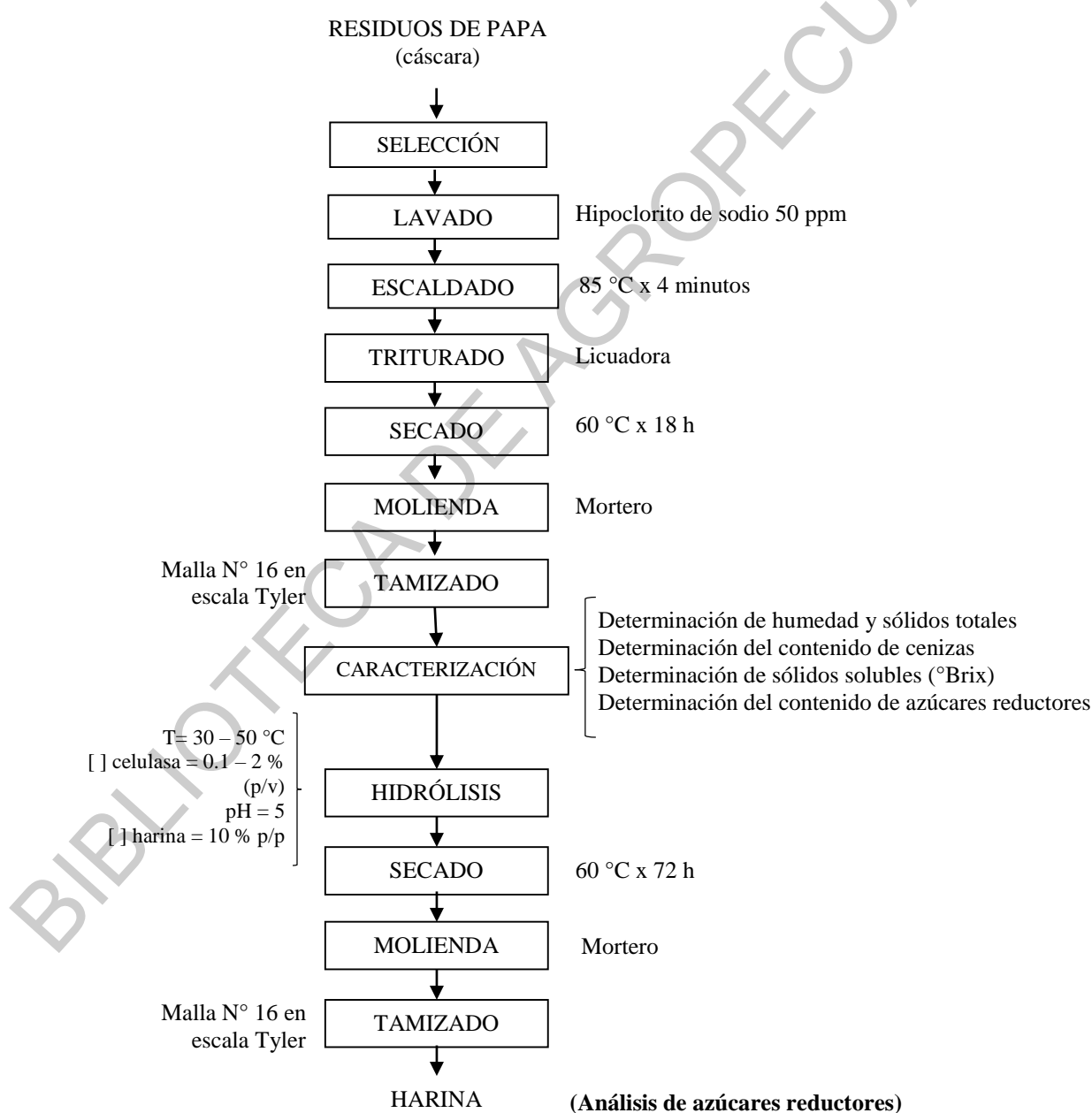
El proceso experimental que se siguió para el desarrollo de este trabajo, fue el que se presenta en la Figura 1. Los residuos de papa, consistentes en la cáscara, fueron seleccionados aquellos que presentaron uniformidad y sin señales de imperfecciones, además de clasificar aquellas que correspondan a las variedades “huevo de indio” y “huayro”. Luego fueron lavadas en agua conteniendo hipoclorito de sodio a una concentración de 50 ppm. Al cabo de esto, se escurrió el exceso de agua y se procedió a realizar un escaldado en agua destilada a 85 °C por 4 minutos. A continuación, se realizó un triturado con la ayuda de una licuadora en agua destilada a una proporción 1:1 (p/p).

Luego del triturado, la pasta obtenida fue llevada a secar en estufa a 60 °C por un periodo de 18 horas (Alonso et al., 2014). Las muestras secas fueron dispuestas en un mortero y molidas para reducir el tamaño de partícula. La harina fue tamizada en una malla con abertura inferior a 1.0 mm. Luego se procedió con la caracterización fisicoquímica.

Las harinas de las cáscaras de las dos variedades de papa (“huevo de indio” y “huayro”) fueron caracterizados (antes de ser sometidas a hidrólisis enzimática). Con lo que se determinó la humedad (ISO, 2008), cenizas (ISO, 1982), sólidos solubles (NMX-F-103, 1982), azúcares reductores (Burgos-Montañez, 2020) y pH (AOAC, 2005). Las marchas analíticas para cada análisis se detallan en los Anexos del 2 al 5 respectivamente.

Figura 1

Proceso experimental de este trabajo de investigación



La hidrólisis enzimática se llevó a cabo en un intervalo de temperatura de 30 – 50 °C a una concentración de celulasa entre 0.1 – 2 % p/v (de acuerdo al planteamiento que se presenta en la Tabla 1 y un pH constante de 5.0 (Anexo 1) por un periodo de 12 h (Ayala et al., 2020; Fernandes et al., 2019).

Los valores planteados están de acuerdo a las especificaciones de la ficha técnica de la enzima (Anexo 1). Para este caso se preparó una solución de harina de cáscara de papa al 10 % p/p para luego ser hidrolizado. Luego de la hidrólisis se procedió a secar la muestra a 60 °C por 72 horas para luego ser molidas en un mortero y tamizadas a un tamaño de partícula inferior a 1.0 mm.

Finalmente, la harina obtenida fue analizada para determinar la concentración de azúcares reductores obtenidos por el método espectrofotométrico DNS (Anexo 5).

En la Tabla 1 se presenta el diseño experimental propuesto para realizar en este trabajo. Este consta de un diseño DCCR con 2 variables independientes (concentración de celulasa y temperatura) con lo que se efectuó 11 tratamientos (considerando 3 repeticiones en el punto central).

Tabla 1*Diseño experimental de la obtención de azúcares reductores*

Trat.	Temperatura (°C)		Celulosa (% p/v)		Azúcares reductores (%)
	Cod.	Real	Cod.	Real	
1	-1	32.9	-1	0.4	
2	-1	32.9	1	1.7	
3	1	47.1	-1	0.4	
4	1	47.1	1	1.7	
5	-1.4142	30	0	1.1	
6	1.4142	50	0	1.1	
7	0	40	-1.4142	0.1	
8	0	40	1.4142	2	
9	0	40	0	1.1	
10	0	40	0	1.1	
11	0	40	0	1.1	

VI: Temperatura (°C) y Celulosa (%); VD: Azúcares reductores (%).

Análisis estadístico

Con los valores de azúcares reductores de la Tabla 1 se procedió a realizar un análisis de varianza con el software R libre, para evaluar el efecto estadístico de las variables independientes sobre la dependiente. Asimismo, se realizó el cálculo de los coeficientes de regresión del modelo matemático de segundo orden correspondiente al DCCR. También se diagramó las curvas de nivel y superficie de respuesta para visualizar la región óptima con máxima obtención de azúcares reductores.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis fisicoquímico de las harinas de cáscara de papa

En la Tabla 2 se presenta el análisis fisicoquímico de la harina de cáscara de las dos variedades de papa evaluadas. La humedad fue similar en las dos variedades estudiadas, con 9.64 y 9.96 % para “huevo de indio” y “huayro”, respectivamente. El contenido de cenizas fue superior en la variedad huayro con 4.29 % mientras que los sólidos solubles y azúcares reductores fueron ligeramente superiores en la variedad “huevo de indio” con 2.15 Brix y 1.33 %, respectivamente; sugiriendo una harina de cáscara con mayor número de extremos reductores. Presentó, además, un pH ligeramente ácido de 5.86 y 5.73 para la harina de cáscara de papa “huevo de indio” y “huayro”, respectivamente, valores inferiores al 6.5 que reportan Liang et al. (2015) para la cáscara de este tipo de tubérculo. Por otra parte, Javed et al. (2019) reportan, en cáscara de papa fresca, una concentración de cenizas entre 0.9 – 1.6 % (inferior al encontrado en este trabajo); en tanto, Jiménez-Champi et al. (2023) reportan cenizas entre 0.8 – 1.6 %, desde luego en cáscara de papa fresca (no en harina), considerando además que la cáscara de papa es rica en carbohidratos, oscilando entre 9.5 – 33.3 %.

Tabla 2

Análisis fisicoquímico de las dos variedades de harina de cáscara de papa

Componente	Unidad	Variedad	
		Huevo de indio	Huayro
Humedad	%	9.64 ± 0.27	9.96 ± 0.18
Cenizas	%	4.01 ± 0.11	4.29 ± 0.24
Sólidos solubles	Brix	2.15 ± 0.06	2.02 ± 0.11
Azúcares reductores ^a	%	1.33 ± 0.24	1.25 ± 0.19
pH	--	5.86 ± 0.07	5.73 ± 0.10

^a Expresado como glucosa equivalente (g/l)
± Desviación estándar

Los azúcares reductores en la harina de cáscara de papa, están representados por monosacáridos. Jeddou et al. (2016) indican que la composición monomérica en los polisacáridos de la cáscara de papa muestra un alto porcentaje de glucosa (76.25%), seguida de galactosa (3.84%), ramnosa (0.506%) y arabinosa (0.19%). Con estos porcentajes se puede concluir que la glucosa es el mayor constituyente de los polisacáridos, mientras que la galactosa, ramnosa y arabinosa se encuentran en la estructura ramificada (Jeddou et al., 2018). Por otra parte, Shehata et al. (2020) aislaron altos porcentajes de polisacáridos solubles en agua de la cáscara de papa, obteniendo concentrados con purezas en torno al 95%.

Es importante destacar que la composición química de la cáscara de papa varía según la zona geográfica de cultivo, las prácticas de fertilización, la variedad y el color de la papa; además, se debe considerar el grosor de la cáscara durante el pelado, ya que influye en la concentración total de carbohidratos (Pathak et al., 2015). Kinoka (2023) reporta carbohidratos totales entre 8.7 – 12.4 % con 7.8 % de almidón y cenizas entre 0.9 – 1.6 %. Reporta también una concentración de fibra dietética total de 2.5 %. Por otra parte, Arapoglou et al. (2010) en cáscara de papa reportan concentraciones de 68.7, 1.0, 0.61, 52.14 y 6.34 % para carbohidratos totales, azúcares solubles totales, azúcares reductores, almidón y cenizas, respectivamente.

La cáscara de papa, en base seca, está compuesta por almidón (25 %), polisacáridos no amiláceos (30 %), proteínas (18 %), lignina tanto soluble como insoluble en ácido (20 %), lípidos (1 %) y cenizas (6 %) (Liang & McDonald, 2014). La fracción lipídica incluye ácidos grasos de cadena larga, alcoholes, triglicéridos y ésteres de esterol. Además, se ha reportado lignina en la pared celular de las papas (Liang et al., 2014) . La cáscara de papa es rica en almidón (52 % de peso seco), con un contenido de azúcar reductor fermentable

limitado (0.6 % de peso seco). Para este propósito, la fermentación de la cáscara de papa no es prácticamente posible, por lo que se requiere una hidrólisis inicial (enzimática o ácida) de los carbohidratos para aumentar el contenido de azúcar reductor fermentable (Arapoglou et al., 2010).

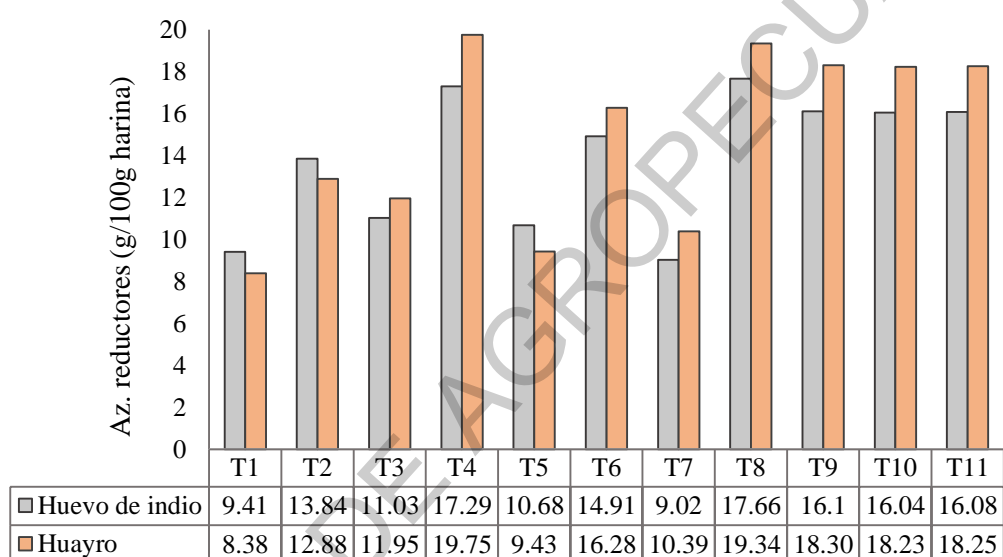
3.2. Obtención de azúcares reductores por hidrólisis enzimática

En la Figura 2 se presenta la concentración de azúcares reductores obtenidos en cada tratamiento del DCCR. Se observa que para harina de cáscara de papa de la variedad “huevo de indio” la concentración de azúcares reductores estuvo entre 9.02 – 17.66 g/100 g de harina, mientras que, en la variedad “huayro”, esta osciló entre 8.38 – 19.75 g/100 g de harina. La máxima concentración de azúcares reductores en la harina de cáscara de papa variedad “huevo de indio” se obtuvo a una temperatura de 40 °C con una concentración enzimática de 2 % p/v, en tanto que, en la harina de la variedad “huayro”, la máxima obtención se dió a 47.1 °C y 1.7 % p/v. Estos resultados son superiores al 1.42 – 2.89 % que Turini et al. (2021) obtuvieron en la hidrólisis enzimática de subproductos de arroz empleando celulasa, indican también una eficiencia de hidrólisis entre 15.32 – 22.61 %. Reportan también concentraciones de azúcares reductores entre 25.49 – 35.28, 11.72 – 16.26 y 21.73 – 25.11 % empleando amiloglucosidasa, alfa amilasa y amiloglucosidasa + celulasa, respectivamente. En estas, la máxima eficiencia estuvo entre 56.30 – 59.67 % que corresponde a la enzima amiloglucosidasa. Ran et al. (2022) emplearon celulosa comercial de la marca “Cell-DEX” para hidrolizar celulosa. Concluyen que este producto puede hidrolizar eficazmente la celulosa en el sistema de dióxido de carbono supercrítico SC-CO₂ llegando a un rendimiento de azúcar reductor de 242 mg/g de celulosa. Pagador et al. (2020) hidrolizaron cáscara de arroz con celulasas durante 60 h (37 °C, pH 5.5, 100 rpm). Como resultados, llegaron a una eficiencia del 88% en la obtención de azúcares reductores.

Claramente, la hidrólisis de celulosa conlleva a la obtención de una importante cantidad de azúcares reductores. Por ejemplo, en pulpa de eucalipto, Pagador et al. (2020) obtuvieron azúcares reductores entre 82 – 161.6 g/l con eficiencias entre 76 – 96.4 %. En tanto, en remolacha azucarera, Marzo et al. (2020) aplicaron celulosa (Celluclast ®), logrando obtener una concentración de 127.3 g/l de azúcares reductores.

Figura 2

Azúcares reductores obtenidos por hidrólisis enzimática de harina de cáscara de papa



Nota. Los valores de azúcares reductores están expresados en g/100 g de harina de cáscara de papa y corresponden a los 11 tratamientos del planteamiento DCCR para las dos variedades de papa.

En la misma línea de obtención de azúcares reductores, Amador et al. (2016) hidrolizaron quinua por tres tratamientos (con ácido sulfúrico entre 0 – 2 %, enzimática con Termamyl-AMG® y embriogénesis vegetal). Utilizando HPLC como método analítico para cuantificar la glucosa, se lograron los rendimientos más altos de liberación de glucosa mediante la hidrólisis ácida, alcanzando aproximadamente un 127 %. Le siguió la hidrólisis enzimática con un rendimiento del 96.94 %, mientras que la embriogénesis vegetal mostró un rendimiento del 0.27 %. Castillo-García et al. (2019) trabajaron con una mezcla de

enzimas: celulasas, con alto nivel de β -glucosidasas y hemicelulasas (Cellic® CTec2) para obtener azúcares reductores a partir de cascarilla de arroz. Sus resultados mostraron una máxima obtención (399.9 mg/g) en las condiciones de hidrólisis de pH = 5, T = 50 °C, t = 72 h, concentración de enzima de 0.3 ml/g, con una carga 5 % p/v. Cajo & Vásquez (2017) obtuvieron azúcares reductores entre 17.54 – 48.53 mg/g de material seco a partir de cáscara de mango. Para ello empleó complejo de celulasas a concentraciones entre 400 – 900 ppm. Por otro lado, en paja de sorgo empleando enzimas celulasas de tres fuentes fúngicas diferentes (*Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum* y *Trichoderma harzianum*), Sharma et al. (2017) reportan un rendimiento máximo de azúcares reductores de 464.2 mg/g de sustrato seco, con una concentración de sustrato del 10 %, 55 °C y después de 48 h de incubación.

La temperatura y la concentración de enzima son variables importantes que afectan la eficiencia de la hidrólisis enzimática para obtener azúcares reductores. Cada enzima tiene una temperatura óptima a la cual su actividad es máxima. Para muchas enzimas, esta temperatura está entre 30 y 50 °C en la cual catalizan la hidrólisis de los sustratos a la velocidad más alta posible (Han et al., 2012). Si la temperatura excede el rango óptimo, las enzimas pueden desnaturalizarse, proceso en el cual la estructura tridimensional de la enzima se altera, perdiendo su funcionalidad. Esto generalmente ocurre a temperaturas superiores a 50 – 60 °C, aunque depende del tipo de enzima. A temperaturas por debajo del rango óptimo, la actividad enzimática disminuye. Las moléculas de enzima y sustrato tienen menos energía cinética, resultando en una menor tasa de colisiones efectivas y, por ende, una menor tasa de reacción (He et al., 2021; Kabir & Ju, 2023).

Por otro lado, al aumentar la concentración de la enzima, la tasa de reacción también aumenta, ya que hay más sitios activos disponibles para la reacción con el sustrato. Esto es válido hasta cierto punto (Shahi et al., 2020). Una vez que todas las moléculas de sustrato

disponibles están ocupadas por las enzimas, la tasa de reacción se estabiliza y no aumentará con más enzimas. Este punto se conoce como la saturación del sustrato (Zhang et al., 2022). Aumentar la concentración de enzima más allá de la saturación no mejora la producción de azúcares reductores y puede ser económicamente ineficiente, ya que las enzimas suelen ser costosas (da Silva et al., 2020).

Entonces, para obtener la máxima eficiencia en la producción de azúcares reductores, es crucial ajustar tanto la temperatura como la concentración de la enzima a sus niveles óptimos (Sharma et al., 2017). La temperatura debe ser suficientemente alta para maximizar la actividad enzimática pero no tanto como para causar desnaturalización, mientras que la concentración de la enzima debe ser suficiente para catalizar la reacción sin llegar a un punto de ineficiencia económica (Kumari et al., 2020). A concentraciones enzimáticas óptimas y temperaturas adecuadas, la enzima mantiene su estabilidad y funcionalidad durante un tiempo prolongado, maximizando la producción de azúcares reductores (Sartori et al., 2015).

3.3. Optimización del proceso de hidrólisis

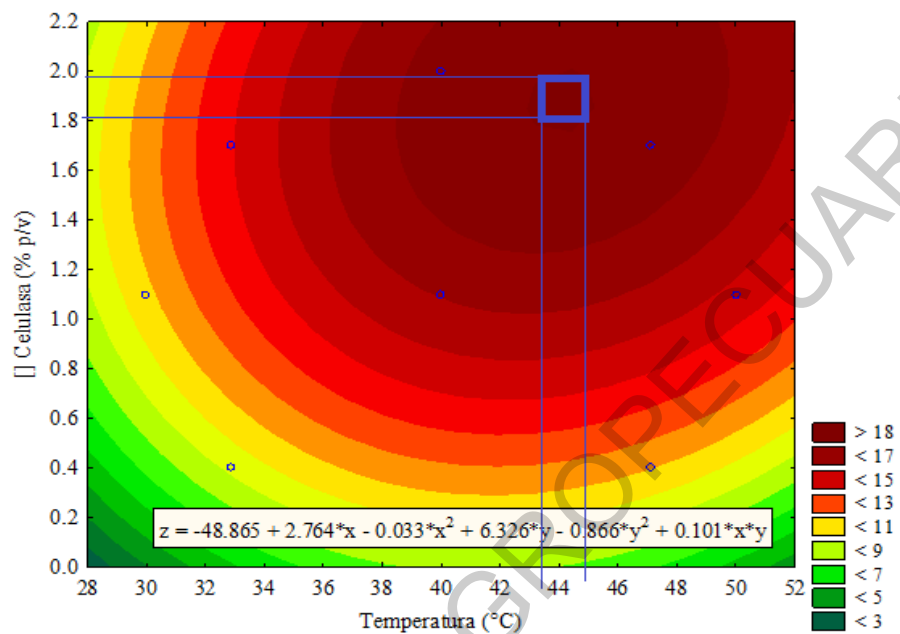
En la Figura 3 se presenta el gráfico de contornos para la obtención de azúcares reductores mediante la hidrólisis enzimática de la harina de cáscara de papa variedades “huevo de indio” (A) y “huayro” (B). Se presenta, además, la región óptima de temperatura y concentración de enzima para obtener la máxima concentración de azúcares reductores. En la Tabla 3, se presenta los coeficientes de regresión del modelo matemático que describe la concentración de los azúcares reductores en función de la temperatura y concentración de enzima para las harinas de cáscara de las dos variedades de papa. La temperatura óptima está entre 43.2 – 45 °C en ambas harinas, mientras que para la variedad huayro se requiere una concentración de enzima entre 1.82 – 1.96 % p/v, para la variedad huayro es 1.7 – 1.88 % p/v. Leuştean et al. (2010) emplearon celulasas de *Trichoderma viridae* para hidrolizar

material lignocelulósico y producir azúcares reductores. Sus parámetros óptimos fueron: relación enzima/sustrato de 0.5 UE/g de sustrato, temperatura de 48 °C, pH de 4.8 y adición de surfactante Tween 80 en una representación del 0.3 %, reportado al volumen total de líquido. El rendimiento de azúcares reductores fue de 35 mg de azúcares reductores/g de peso seco de residuo celulósico. Pratami et al. (2022) emplearon enzima del hongo *Trichoderma viride*, estableciendo como parámetros óptimos, valores de 12 h, 2.61 FPU/g y 28 °C para el tiempo, concentración de enzima y temperatura, donde obtuvieron 23.95 mg de azúcares reductores/g de sustrato a partir de una mezcla de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz. La temperatura óptima para la actividad de las celulasas generalmente está entre 40 y 60 °C. Sin embargo, esto puede variar dependiendo del origen de la enzima (bacteriana o fúngica) y de su adaptación a ambientes específicos.

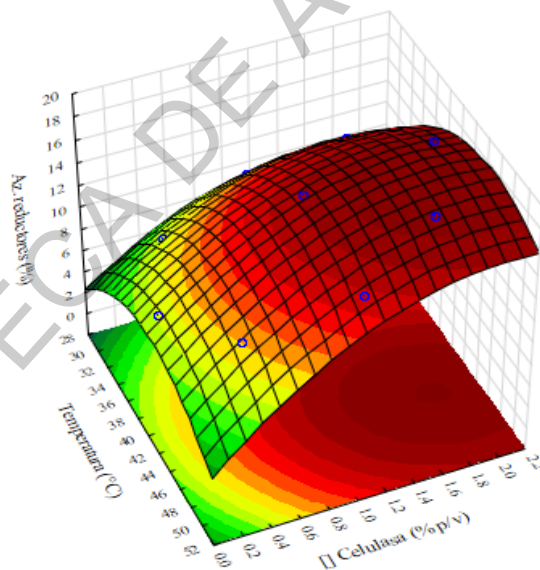
BIBLIOTECA DE AGROPECUARIAS

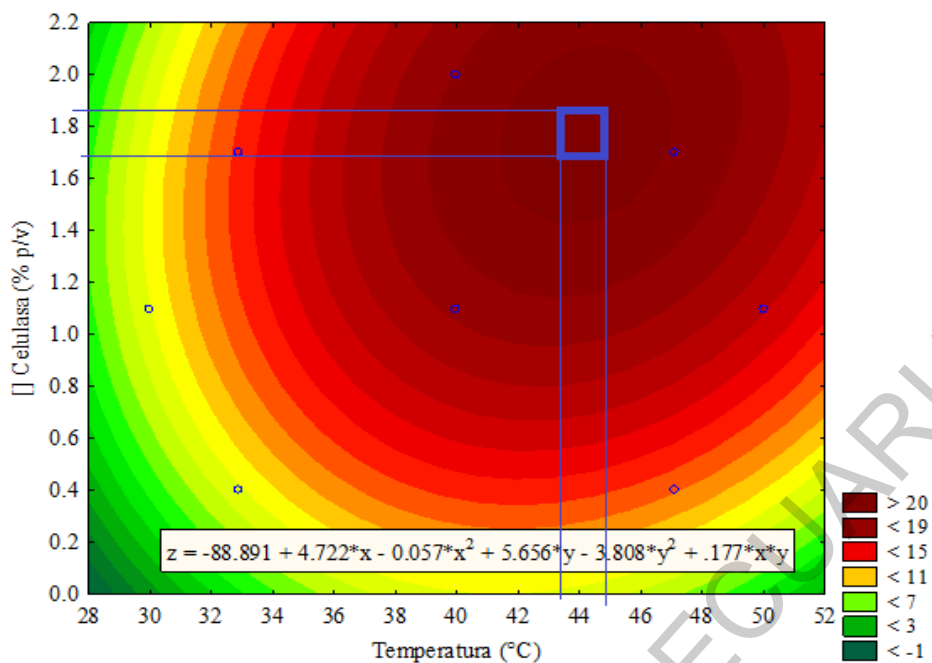
Figura 3

Gráfico de contornos y superficie de respuesta en la obtención de azúcares reductores por hidrólisis enzimática de harina de cáscara de papa variedad “huevo de indio” (A) y “huayro” (B)

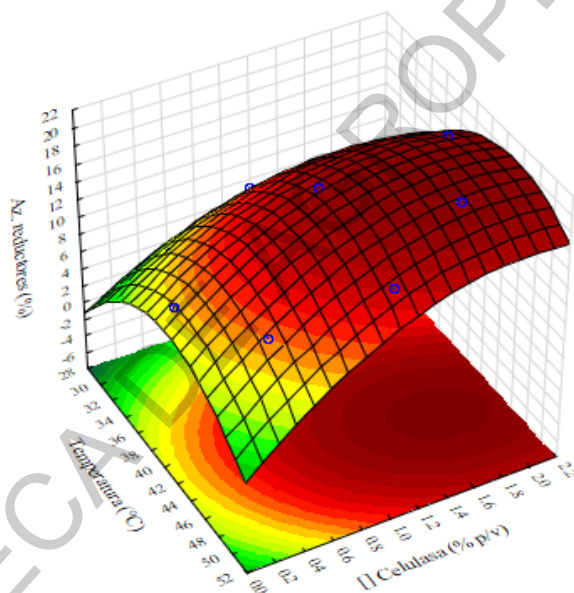


(A)





(B)



Nota. Los gráficos de contornos y superficies de respuesta para la obtención de azúcares reductores a partir de harina de cáscara de papa huevo de indio (A) y huayro (B) fueron obtenidos mediante regresión cuadrática en el software R libre.

Tabla 3

Coefficientes de regresión para la obtención de azúcares reductores (%) por hidrólisis enzimática de las dos variedades de harina de cáscara de papa

Variedad	Factor	Coef. de regresión	Error estándar	t(5)	p-valor
“Huevo de indio”	Media/intersección	-48.8647	3.431551	-14.2398	0.000031
	(1) Temperatura (°C)(L)	2.7639	0.164003	16.8526	0.000013
	Temperatura (°C)(Q)	-0.0335	0.002015	-16.6086	0.000014
	(2) [] Celulasa (% p/v)(L)	6.3261	1.142528	5.5370	0.002636
	[] Celulasa (% p/v)(Q)	-2.8660	0.226850	-12.6338	0.000055
	1L x 2L	0.1008	0.025822	3.9028	0.011377
R ² = 0.99724; R ² ajustado: 0.99449. Cuadrado medio residual = 0.0569734					
“Huayro”	Media/intersección	-88.8908	5.832125	-15.2416	0.000022
	(1) Temperatura (°C)(L)	4.7223	0.278733	16.9419	0.000013
	Temperatura (°C)(Q)	-0.0570	0.003425	-16.6341	0.000014
	(2) [] Celulasa (% p/v)(L)	5.6564	1.941795	2.9130	0.033285
	[] Celulasa (% p/v)(Q)	-3.8083	0.385545	-9.8777	0.000181
	1L x 2L	0.1768	0.043887	4.0278	0.010043
R ² = 0.99554; R ² ajustado: 0.99108. Cuadrado medio residual = 0.1645678					

Nota. Q: efecto cuadrático; L: efecto lineal

La hidrólisis de la celulosa es un proceso complejo que requiere pretratamiento y la acción conjunta de varias enzimas debido a la estructura resistente de la celulosa. Dado que la celulosa es el recurso renovable más abundante, su descomposición en glucosa y azúcares simples es crucial para producir etanol y otros productos valiosos. La eficacia de esta hidrólisis depende de factores como la cristalinidad, el grado de polimerización, el tamaño de las partículas, el volumen de los poros y la disponibilidad de la superficie (Sher et al., 2021; van den Brink & de Vries, 2011).

Asimismo, se tiene que considerar, que la temperatura óptima de una enzima varía debido a una serie de factores intrínsecos y extrínsecos que afectan tanto su estructura como su función catalítica. Uno de los principales factores es la estabilidad y flexibilidad de su

estructura tridimensional. Las enzimas dependen de interacciones no covalentes, como puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y enlaces iónicos, que pueden ser sensibles a cambios de temperatura. A temperaturas bajas, la enzima puede volverse demasiado rígida, impidiendo la dinámica necesaria para la catálisis, mientras que, a temperaturas altas, puede desnaturalizarse y perder su estructura funcional (Kabir & Ju, 2023).

El origen de la enzima también tiene un efecto importante, tal es así que, enzimas de microorganismos termófilos, que habitan en ambientes de alta temperatura, tienden a tener estructuras más estables, mientras que las enzimas de organismos mesófilos y psicrófilos están adaptadas a temperaturas moderadas y frías, respectivamente. Esta adaptación evolutiva refleja las condiciones ambientales en las que estas enzimas deben funcionar (Arcus et al., 2020).

Otro factor importante es la afinidad de la enzima por sus cofactores y sustratos. La interacción enzimática óptima con estos componentes puede cambiar con la temperatura, afectando la eficiencia catalítica. Además, la temperatura influye en la solubilidad y disponibilidad de los sustratos. A temperaturas óptimas, los sustratos suelen estar en una forma más accesible para la enzima, facilitando la reacción (Siddiqui et al., 2022).

El tipo de solvente también juega un papel, ya que la viscosidad del medio puede cambiar con la temperatura, afectando la difusión de sustratos y productos hacia y desde la enzima (Shukla et al., 2023; Zhao, 2020). Finalmente, la desnaturalización térmica es un factor crítico. Más allá de cierta temperatura, las enzimas pueden perder su estructura nativa y, por ende, su actividad catalítica. La temperatura óptima es, por lo tanto, el punto en el cual la enzima logra un equilibrio entre la estabilidad estructural, flexibilidad funcional y condiciones ambientales, maximizando su actividad sin comprometer su integridad estructural (Pettersen & Almaas, 2023; van der Ent et al., 2023).

3.4. Análisis estadístico

Mediante el análisis estadístico se establece, que la temperatura y concentración de enzima ejercen efecto significativo ($p < 0.05$) tanto de manera lineal como de manera cuadrática e interaccionada sobre la concentración de azúcares reductores a partir de harina de cáscara de papa en sus dos variedades (Tabla 4).

Tabla 4

Análisis de varianza del efecto de la temperatura y concentración de celulasa en la obtención de azúcares reductores a partir de harina de cáscara de papa

Variedad de papa	Factor	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-calc	F-tab	p-valor
"Huevo de indio"	(1) Temperatura (°C) (L)	14.8299	1	14.82986	260.294	0.1395	0.000017
	Temperatura (°C) (Q)	15.7158	1	15.71585	275.845	0.1478	0.000014
	(2) [] Celulasa (% p/v) (L)	65.8207	1	65.82074	1155.289	0.6190	0.000000
	[] Celulasa (% p/v) (Q)	9.0937	1	9.09370	159.613	0.0855	0.000055
	1L x 2L	0.8678	1	0.86782	15.232	0.0082	0.011377
	Error	0.2849	5	0.05697			
	Total, SS	103.3411	10				
$R^2 = 0.99724$; $R^2_{ajustado} = 0.99449$. Cuadrado medio residual = 0.0569734							
"Huayro"	(1) Temperatura (°C) (L)	49.2552	1	49.25522	299.300	0.2569	0.000012
	Temperatura (°C) (Q)	45.5349	1	45.53488	276.694	0.2375	0.000014
	(2) [] Celulasa (% p/v) (L)	78.2092	1	78.20923	475.240	0.4079	0.000004
	[] Celulasa (% p/v) (Q)	16.0568	1	16.05684	97.570	0.0837	0.000181
	1L x 2L	2.6698	1	2.66976	16.223	0.0139	0.010043
	Error	0.8228	5	0.16457			
	Total, SS	184.5191	10				
$R^2 = 0.99554$; $R^2_{ajustado} = 0.99108$. Cuadrado medio residual = 0.1645678							

Nota. Q: efecto cuadrático; L: efecto lineal

IV. CONCLUSIONES

La caracterización fisicoquímica de las harinas de cáscara de papa arrojó para la variedad “huevo de indio”, valores de 9.64 %, 4.01 % y 1.33 % para humedad, cenizas y azúcares reductores, respectivamente, mostró también 2.15 °Brix de sólidos solubles con un pH de 5.86. Por su parte, en la variedad “huayro”, se tuvo una humedad de 9.96 %, cenizas de 4.29 %, sólidos solubles de 2.02 °Brix, 1.25 % de azúcares reductores y 5.73 de pH.

Se encontró que, al incrementar la temperatura y la concentración de celulasa, la concentración de azúcares reductores también se incrementa. Sin embargo, al pasar de 50 °C, la concentración de azúcares reductores tiende a disminuir.

Las condiciones óptimas para los azúcares reductores en la harina de cáscara de papa variedad “huevo de indio”, fue entre 43.2 – 45.0 °C de temperatura y entre 1.82 – 1.96 % p/v para la concentración de enzima. En la harina de la variedad “huayro”, la temperatura óptima fue la misma, mientras que la concentración de enzima optima estuvo entre 1.70 – 1.88 % p/v.

Tanto la temperatura como la concentración enzimática, de manera lineal, cuadrática e interaccionada, influyen significativamente ($p < 0.05$) sobre la concentración de azúcares reductores obtenidos a partir de la harina de cáscara de papa variedades “huevo de indio” y “huayro”.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un pretratamiento químico con álcalis para romper las estructuras lignocelulósicas, especialmente la lignina y así facilitar la acción de la celulasa.

Se recomienda realizar tratamientos con vapor a alta presión a la materia prima (harina de cáscara de papa) con el propósito de aumentar la superficie disponible para la acción enzimática.

Se recomienda añadir compuestos como iones metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+}) que pueden actuar como cofactores y mejorar la actividad enzimática, así como técnicas como la inmovilización en soportes sólidos que pueden mejorar la estabilidad y reutilización de las enzimas.

BIBLIOTECA DE AGROPECUARIAS

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abebaw, G. (2020). Review on: Its potentials and application of potato peel (waste). *Journal of Aquaculture & Livestock Production*, 1(1), 1–4. [https://doi.org/10.47363/JALP/2020\(1\)104](https://doi.org/10.47363/JALP/2020(1)104)
- Alonso, J., García-Jarquín, K. Z., González-Lindo, K., & Benavente, M. (2014). Producción de harina de papa para puré instantáneo. *Nexo Revista Científica*, 27(2), 99–114. <https://doi.org/10.5377/nexo.v27i2.1946>
- Amado, I. R., Franco, D., Sánchez, M., Zapata, C., & Vázquez, J. A. (2014). Optimisation of antioxidant extraction from *Solanum tuberosum* potato peel waste by surface response methodology. *Food Chemistry*, 165, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.103>
- Amador, J. J., Crespo, C., & Alvarez, T. (2016). Obtención de azúcares reductores (glucosa) a partir en granos de quinua (*Chenopodium quínoa*) usando hidrólisis enzimática, ácida y el metabolismo de la embriogénesis vegetal. *Revista CON-CIENCIA*, 4(1), 61–71. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcfb/v4n1/v4n1_a06.pdf
- Andersen, N. (2007). *Enzymatic Hydrolysis of Cellulose. Experimental and Modeling Studies* [Tesis Doctoral, Technical University of Denmark]. <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/5466093/Afhandling+A4+format.pdf>
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the association of official analytical chemists international* (AOAC, Ed.).
- Apaza, Y. M., & Ramírez, G. K. (2021). *Optimización de la hidrólisis enzimática en cascarilla de arroz (Oryza sativa) para la obtención de bioetanol* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/8bc74e42-e645-4788-88b8-a8890120d048>
- Arapoglou, D., Varzakas, Th., Vlyssides, A., & Israilides, C. (2010). Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*, 30(10), 1898–1902. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.017>
- Arcus, V. L., van der Kamp, M. W., Pudney, C. R., & Mulholland, A. J. (2020). Enzyme evolution and the temperature dependence of enzyme catalysis. *Current Opinion in Structural Biology*, 65, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.sbi.2020.06.001>
- Awuchi, C. G., & Amagwula, I. O. (2021). Biochemistry and Nutrition of Carbohydrates. *Global Journal of Research in Agriculture and Life Sciences*, 1(1), 4–12. https://www.researchgate.net/publication/353355235_Biochemistry_and_Nutrition_of_Carbohydrates
- Awuchi, C. G., Igwe, V. S., & Echeta, C. K. (2019). The functional properties of foods and flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11), 139–160. <https://www.ijaar.org/articles/Volume5-Number11/Sciences-Technology-Engineering/ijaar-ste-v5n11-nov19-p16.pdf>
- Ayala, M. D., Galián, C., Fernández, V., Chaves-Pozo, E., García de la Serrana, D., Sáez, M. I., Galafaz Díaz, A., Alarcón, F. J., Martínez, T. F., & Arizcun, M. (2020). Influence of low dietary inclusion of the microalga *Nannochloropsis gaditana* (Lubián 1982) on performance, fish morphology, and muscle growth in

- juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Animals*, 10(12), 2270. <https://doi.org/10.3390/ani10122270>
- Ben Jeddou, K., Bouaziz, F., Zouari-Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R., & Nouri-Ellouz, O. (2017). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry*, 217, 668–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.081>
- Bibi, S., Navarre, D. A., Sun, X., Du, M., Rasco, B., & Zhu, M.J. (2019). Beneficial effect of potato consumption on gut microbiota and intestinal epithelial health. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 170–176. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09706-3>
- Bos, A., & Hamelinck, C. (2014). *Greenhouse gas impact of marginal fossil fuel use*. EOA, EBB, FEDIOL. <https://www.etipbioenergy.eu/databases/reports/266-greenhouse-gas-impact-of-marginal-fossil-fuel-use>
- Burgos-Montañez, L. J. (2020). Cuantificación de azúcares reductores del sustrato en residuos de piña con el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico. *Questionar: Investigación Específica*, 7(1), 57–66. <https://doi.org/10.29097/23461098.308>
- Cajo, S. I., & Vásquez, D. (2017). *Obtención de azúcares fermentables por hidrólisis enzimática a partir de los residuos de mango (Mangífera indica L.)* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán, Perú]. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4280/Cajo%20Guertero%20-%20V%20c3%a1squez%20Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camps, C., & Camps, Z.N. (2019). Optimized prediction of reducing sugars and dry matter of potato frying by FT-NIR spectroscopy on peeled tubers. *Molecules*, 24(5), 967. <https://doi.org/10.3390/molecules24050967>
- Castillo-García, Y., Juscamaita-Morales, J., Jorge-Montalvo, P. A., & Visitación-Figueroa, L. (2019). Pretratamiento e hidrólisis enzimática de la cascarilla de arroz. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 476–488. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.261>
- Choi, S.H., Kozukue, N., Kim, H.J., & Friedman, M. (2016). Analysis of protein amino acids, non-protein amino acids and metabolites, dietary protein, glucose, fructose, sucrose, phenolic, and flavonoid content and antioxidative properties of potato tubers, peels, and cortexes (pulp). *Journal of Food Composition and Analysis*, 50, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.011>
- da Silva, A. S., Espinheira, R. P., Teixeira, R. S. S., de Souza, M. F., Ferreira-Leitão, V., & Bon, E.P.S. (2020). Constraints and advances in high-solids enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass: a critical review. *Biotechnology for Biofuels*, 13(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01697-w>
- de Haan, S., Burgos, G., Liria, R., Rodriguez, F., Creed-Kanashiro, H.M., & Bonierbale, M. (2019). The nutritional contribution of potato varietal diversity in andean food systems: A case study. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 151–163. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09707-2>
- Deheco, A. (2019). Obtención de jarabes glucosados a partir de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca* L.) mediante hidrólisis enzimática de celulasas. *Revista de*

Investigaciones de La Universidad Le Cordon Bleu, 6(1), 65-75.
<https://doi.org/10.36955/RIULCB.2019v6n1.005>

Drugbank. (2005). *D-glucose*. <https://go.drugbank.com/drugs/DB01914>

Fernandes, H., Salgado, J. M., Martins, N., Peres, H., Oliva-Teles, A., & Belo, I. (2019). Sequential bioprocessing of *Ulva rigida* to produce lignocellulolytic enzymes and to improve its nutritional value as aquaculture feed. *Bioresource Technology*, 281, 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.068>

Garay, C.A., & Peña, N. (2018). *Obtención de azúcares reductores por medio de fermentación sólida a partir de cáscaras de piña* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América, Colombia]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6928/1/6132095-2018-2-IQ.pdf>

Gjuladin-Hellon, T., Davies, I. G., Penson, P., & Amiri Baghbadorani, R. (2019). Effects of carbohydrate-restricted diets on low-density lipoprotein cholesterol levels in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Reviews*, 77(3), 161–180. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy049>

Han, L., Feng, J., Zhang, S., Ma, Z., Wang, Y., & Zhang, X. (2012). Alkali pretreated of wheat straw and its enzymatic hydrolysis. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(1), 53–61. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822012000100006>

He, W., He, K., Sun, F., Mu, L., Liao, S., Li, Q., Yi, J., Liu, Z., & Wu, X. (2021). Effect of heat, enzymatic hydrolysis and acid-alkali treatment on the allergenicity of silkworm pupa protein extract. *Food Chemistry*, 343, 128461. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128461>

Inostroza-Blancheteau, C., de Oliveira Silva, F. M., Durán, F., Solano, J., Obata, T., Machado, M., Fernie, A. R., Reyes-Díaz, M., & Nunes-Nesi, A. (2018). Metabolic diversity in tuber tissues of native Chiloé potatoes and commercial cultivars of *Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* L. *Metabolomics*, 14(10), 138. <https://doi.org/10.1007/s11306-018-1428-7>

ISO. (1982). *Method for determination of acid-insoluble ash of pulp*.

ISO. (2008). *Method for determination of dry matter content*.

Jansky, S., Navarre, R., & Bamberg, J. (2019). Introduction to the special issue on the nutritional value of potato. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 95–97. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09708-1>

Javed, A., Ahmad, A., Tahir, A., Shabbir, U., Nouman, M., & Hameed, A. (2019). Potato peel waste-its nutraceutical, industrial and biotechnological applications. *AIMS Agriculture and Food*, 4(3), 807–823. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.3.807>

Jayant, S. S., Diganta, K., & Raven, B. (2019). Effects of cooking methods on nutritional content in potato tubers. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 183–194. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09704-5>

Jeddou, K. Ben, Bouaziz, F., Helbert, C. B., Nouri-Ellouz, O., Maktouf, S., Ellouz-Chaabouni, S., & Ellouz-Ghorbel, R. (2018). Structural, functional, and biological properties of potato peel oligosaccharides. *International Journal of Biological*

Macromolecules, 112, 1146–1155.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.004>

- Jeddou, K. Ben, Chaari, F., Maktouf, S., Nouri-Ellouz, O., Helbert, C. B., & Ghorbel, R. E. (2016). Structural, functional, and antioxidant properties of water-soluble polysaccharides from potatoes peels. *Food Chemistry*, 205, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.108>
- Jimenez-Champi, D., Romero-Orejon, F. L., Moran-Reyes, A., Muñoz, A. M., & Ramos-Escudero, F. (2023). Bioactive compounds in potato peels, extraction methods, and their applications in the food industry: a review. *CyTA - Journal of Food*, 21(1), 418–432. <https://doi.org/10.1080/19476337.2023.2213746>
- Kabir, M. F., & Ju, L.K. (2023). On optimization of enzymatic processes: Temperature effects on activity and long-term deactivation kinetics. *Process Biochemistry*, 130, 734–746. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.05.031>
- Kieliszek, M., Piwowarek, K., Kot, A. M., & Pobiega, K. (2020). The aspects of microbial biomass use in the utilization of selected waste from the agro-food industry. *Open Life Sciences*, 15(1), 787–796. <https://doi.org/10.1515/biol-2020-0099>
- Kinoka, M. (2023). Potato and potato peels: A comprehensive review on potato peels nutritional composition, bioactive compounds and its application in the food industry. *The Pharma Innovation Journal*, 12(7), 2217–2225. <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2023&vol=12&issue=7&ArticleId=21603>
- Kumari, P., Sayas, T., Bucki, P., Brown-Miyara, S., & Kleiman, M. (2020). Real-time visualization of cellulase activity by microorganisms on surface. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18), 6593. <https://doi.org/10.3390/ijms21186593>
- Leuştean, L., Georgescu, L., & Bahrim, G. E. (2010). Preliminary study for optimization of enzymatic hydrolysis of waste cellulosic materials. *Fascicle VI – Food Technology*, 35(1), 27–33. https://www.researchgate.net/publication/265041813_Preliminary_study_for_optimization_of_enzymatic_hydrolysis_of_waste_cellulosic_materials#fullTextFileContent
- Liang, S., Han, Y., Wei, L., & McDonald, A. G. (2015). Production and characterization of bio-oil and bio-char from pyrolysis of potato peel wastes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 5(3), 237–246. <https://doi.org/10.1007/s13399-014-0130-x>
- Liang, S., & McDonald, A. G. (2014). Chemical and thermal characterization of potato peel waste and its fermentation residue as potential resources for biofuel and bioproducts production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(33), 8421–8429. <https://doi.org/10.1021/jf5019406>
- Liang, S., McDonald, A. G., & Coats, E. R. (2014). Lactic acid production with undefined mixed culture fermentation of potato peel waste. *Waste Management*, 34(11), 2022–2027. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.009>
- López, E. (2020, June 1). Papa liberteña: Se cultivan alrededor de 20,000 hectáreas de papa. *Sientetrujillo*. <https://sientetrujillo.com/dia-nacional-de-papa-libertena/>

- Lynd, L. R., Weimer, P. J., van Zyl, W. H., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial cellulose utilization: Fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66(3), 506–577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>
- Marzo, C., Díaz, A. B., Caro, I., & Blandino, A. (2020). Conversion of exhausted sugar beet pulp into fermentable sugars from a biorefinery approach. *Foods*, 9(10), 1351. <https://doi.org/10.3390/foods9101351>
- Morris, W. L., & Taylor, M. A. (2019). Improving flavor to increase consumption. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 195–200. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09702-7>
- Navarre, D. A., Brown, C. R., & Sathuvalli, V. R. (2019). Potato vitamins, minerals and phytonutrients from a plant biology perspective. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 111–126. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09703-6>
- NMX-F-103. (1982). *Determinación de Grados Brix*.
- Pagador-Flores, S., Rojas, M. L., Sánchez-González, J. A., Aredo, F., Lescano-Bocanegra, L., & Linares-Luján, G. (2020). Pre-treatments applied to rice husk enzymatic hydrolysis: effect on structure, lignocellulosic components, and glucose production kinetics. *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.42>
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., & Kulkarni, B. D. (2015). Fruit peel waste as a novel low-cost bio adsorbent. *Reviews in Chemical Engineering*, 31(4). <https://doi.org/10.1515/revce-2014-0041>
- Pettersen, J. P., & Almaas, E. (2023). Parameter inference for enzyme and temperature constrained genome-scale models. *Scientific Reports*, 13(1), 6079. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32982-x>
- Pratami, M. R., Darmayanti, R. F., Nuraini, N. F., & Munawaroh, F. (2022). Hydrolysis of mixed sugarcane bagasse and rice husk using cellulase enzyme for reducing sugar production. *Journal of Biobased Chemicals*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.19184/jobc.v2i1.116>
- Qin, F.-X., Jia, S.-Y., Wang, F.-F., Wu, S.-H., Song, J., & Liu, Y. (2013). Hemin@metal–organic framework with peroxidase-like activity and its application to glucose detection. *Catalysis Science & Technology*, 3(10), 2761. <https://doi.org/10.1039/c3cy00268c>
- Ramaswamy, U. R., Kabel, M. A., Schols, H. A., & Gruppen, H. (2013). Structural features and water holding capacities of pressed potato fibre polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 93(2), 589–596. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.12.057>
- Ran, F., Wang, X., Li, H., Zhang, H., Pang, J., Wang, Z., & Li, L. (2022). High yield of reducing sugar from enzymolysis of cellulose in supercritical carbon dioxide system. *Industrial Crops and Products*, 178, 114632. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114632>

- Reddivari, L., Wang, T., Wu, B., & Li, S. (2019). Potato: An anti-inflammatory food. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 164–169. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09699-z>
- RPP. (2018, May 30). Día Nacional de la Papa: La Libertad ocupa el tercer lugar en producción nacional. *Radio Programas del Perú*. <https://rpp.pe/peru/la-libertad/dia-nacional-de-la-papa-la-libertad-ocupa-el-tercer-lugar-en-produccion-nacional-noticia-1126010>
- Sartori, T., Tibolla, H., Prigol, E., Colla, L. M., Costa, J. A. V., & Bertolin, T. E. (2015). Enzymatic saccharification of lignocellulosic residues by cellulases obtained from solid state fermentation using *Trichoderma viride*. *BioMed Research International*, 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/342716>
- Schalchli, H., Hormazábal, E., Astudillo, Á., Briceño, G., Rubilar, O., & Diez, M. C. (2021). Bioconversion of potato solid waste into antifungals and biopigments using *Streptomyces* spp. *PLOS ONE*, 16(5), e0252113. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252113>
- Shahbandeh, M. (2024). *Global potato production 2002-2022*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/382174/global-potato-production/>
- Shahi, Z., Sayyed-Alangi, S. Z., & Najafian, L. (2020). Effects of enzyme type and process time on hydrolysis degree, electrophoresis bands and antioxidant properties of hydrolyzed proteins derived from defatted *Bunium persicum* Bioss. press cake. *Heliyon*, 6(2), e03365. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03365>
- Sharma, S., Kuila, A., & Sharma, V. (2017). Enzymatic hydrolysis of thermochemically pretreated biomass using a mixture of cellulolytic enzymes produced from different fungal sources. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(5), 1577–1584. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1346-9>
- Shehata, M. G., Darwish, A. M. G., & El-Sohaimy, S. A. (2020). Physicochemical, structural and functional properties of water-soluble polysaccharides extracted from Egyptian agricultural by-products. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.aoads.2020.05.004>
- Sher, H., Zeb, N., Ali, A., Aleem, B., Iftikhar, F., Rahman, S. U., & Rashid, M. H. (2021). Microbial cellulases: A review on strain development, purification, characterization and their industrial applications. *Journal of Bacteriology and Mycology*, 8(5), 1180. <https://austinpublishinggroup.com/bacteriology/fulltext/bacteriology-v8-id1180.php>
- Shukla, V. K., Siemons, L., & Hansen, D. F. (2023). Intrinsic structural dynamics dictate enzymatic activity and inhibition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(41), 1–11. <https://doi.org/10.1073/pnas.2310910120>
- Siddiqui, K. S., Ertan, H., Poljak, A., & Bridge, W. J. (2022). Evaluating enzymatic productivity—The missing link to enzyme utility. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 6908. <https://doi.org/10.3390/ijms23136908>
- Turini, C. da S., Nogueira, R. M., Pires, E. M., & Agostini, J. da S. (2021). Enzymatic hydrolysis of carbohydrates in by-products of processed rice. *Ciência Rural*, 51(11), 1–9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200522>

- van den Brink, J., & de Vries, R. P. (2011). Fungal enzyme sets for plant polysaccharide degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91(6), 1477–1492. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3473-2>
- van der Ent, F., Skagseth, S., Lund, B. A., Sočan, J., Griese, J. J., Brandsdal, B. O., & Åqvist, J. (2023). Computational design of the temperature optimum of an enzyme reaction. *Science Advances*, 9(26). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adi0963>
- Vanamala, J. K. P. (2019). Potatoes for targeting colon cancer stem cells. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 177–182. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09700-9>
- Wijesinha-Bettoni, R., & Mouillé, B. (2019). The contribution of potatoes to global food security, nutrition and healthy diets. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 139–149. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09697-1>
- Yennamalli, R. M., Rader, A. J., Kenny, A. J., Wolt, J. D., & Sen, T. Z. (2013). Endoglucanases: insights into thermostability for biofuel applications. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1), 136. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-136>
- Zhang, H., Zhang, Z., He, D., Li, S., & Xu, Y. (2022). Optimization of enzymatic hydrolysis of *Perilla* meal protein for hydrolysate with high hydrolysis degree and antioxidant activity. *Molecules*, 27(3), 1079. <https://doi.org/10.3390/molecules27031079>
- Zhao, H. (2020). What do we learn from enzyme behaviors in organic solvents? – Structural functionalization of ionic liquids for enzyme activation and stabilization. *Biotechnology Advances*, 45, 107638. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107638>

ANEXOS

ANEXO 1

FICHA TÉCNICA DE LA ENZIMA CELULASA


www.sigmaaldrich.com

Certificate of Analysis

Product Name:	Cellulase Aspergillus niger powder, off-white, ~ 0.8units/mg	
Product Number:	22178	
Batch Number:	BCCH1890	
CAS Number:	9012-54-8	
Formula:		
Formula Weight:		
Storage Temperature:	2-8 C	
Quality Release Date:	04 FEB 2022	
Recommended Retest Date:	DEC 2027	

TEST	SPECIFICATION	RESULT
APPEARANCE (COLOR)	WHITE TO LIGHT BROWN	FAINT BROWN
APPEARANCE (FORM)	POWDER	POWDER
SOLUBILITY (COLOR)	COLORLESS TO FAINT YELLOW	ALMOST COLORLESS
SOLUBILITY (TURBIDITY)	CLEAR	CLEAR
SOLUBILITY (METHOD)	5 MG/ML IN WATER	5 MG/ML IN WATER
ENZYMATIC ACTIVITY	≥ 0.6 U/MG	1.2 U/MG
UNIT DEFINITION	1 U CORRESPONDS TO THE AMOUNT OF ENZYMES WHICH LIBERATES 1 UMOL GLUCOSE FROM CARBOXYMETHYLCELLULOSE PER MINUTE AT PH 5.0 AND 37 DEG C.	



Dr. Reinhold Schwenninger
Quality Assurance
Buchs, Switzerland

Sigma-Aldrich warrants that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

The vibrant M and Sigma-Aldrich are trademarks of Merck KGaA, Darmstadt, Germany or its affiliates. Detailed information on trademarks is available via publicly accessible resources. © 2018 Merck KGaA, Darmstadt, Germany and/or its affiliates. All Rights Reserved.



The life science business of Merck KGaA, Darmstadt, Germany operates as MilliporeSigma in the US and Canada.

Page 1 of 1

ANEXO 2

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y SÓLIDOS TOTALES (ISO, 2008)

Procedimiento experimental:

Se dispuso una cantidad conocida de muestra en un recipiente de peso conocido (previamente secado en estufa hasta peso constante). Se colocó el recipiente con la muestra en una estufa a 105 °C hasta peso constante. Posteriormente se enfrió en un desecador conteniendo gel de sílice y se pesó. El porcentaje de humedad (en gramos de agua por cada gramo de materia prima húmeda) se determinó usando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{PRMH - PRMS}{PRMH - PRS}$$

$$\% \text{ de sólidos} = (1-H) \times 100$$

Donde:

H: Humedad de la muestra (g H₂O/g materia prima)

PRMH: Peso en gramos del recipiente seco con la muestra húmeda inicial.

PRS: Peso en gramos del recipiente seco.

PRMS: Peso en gramos del recipiente con la muestra seca.

Esta determinación se realizó por triplicado.

ANEXO 3

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS (ISO, 1982)

Procedimiento experimental:

En un crisol de peso seco conocido se dispuso una cantidad de materia prima vegetal (aproximadamente 10 g). El crisol se llevó al horno de mufla y se mantuvo a una temperatura de 605 °C hasta alcanzar peso constante por 6 h. Para conseguir una combustión lenta y controlada, la materia prima vegetal se introdujo en el horno de mufla a baja temperatura, unos 105 °C, aumentándolo poco a poco, a intervalos de 50 °C, hasta llegar a 605 °C. Posteriormente se enfrió en un desecador conteniendo gel de sílice y se pesó.

El contenido en cenizas CC (en gramos de cenizas/100 gramos de materia prima, en base seca) se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{PRC - PRS}{(PRMH - PRS) * (1 - H)} * 100$$

Donde:

PRC: Peso en gramos del recipiente con las cenizas.

PRS: Peso en gramos del recipiente seco.

PRMH: Peso en gramos del recipiente seco con la muestra húmeda inicial.

H: Humedad de la muestra.

Esta determinación se realizó por triplicado.

ANEXO 4

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) (NMX-F-103, 1982)

Procedimiento:

Para determinar los sólidos solubles de la harina de residuos de papa se preparó una solución en agua destilada al 40%. Se dejó en agitación lenta (50 rpm) por 30 minutos. Al cabo del cual se tomó una muestra y se midió los grados Brix de manera directa. Para ello fue necesario el uso del refractómetro digital el cual proporcionó una lectura en °Brix a la temperatura corregida a 20°C.

Esta determinación se realizó por triplicado.

BIBLIOTECA DE AGROPECUARIAS

ANEXO 5

DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES POR ESPECTROFOTOMETRÍA (Burgos-Montañez, 2020)

El análisis en sí es el método conocido como “Método del ácido 3.5-dinitrosalicílico”, el cual se realizó de la siguiente manera:

Preparación del reactivo DNS

Se pesó 1.6 g de NaOH, 43.8 g de tartrato de Na-K y 1 g de ácido 3.5-dinitrosalicílico. Se agregó el NaOH a un vaso de precipitado con 50 ml de agua destilada hasta disolver completamente, luego se agregó el tartrato de Na-K lentamente hasta disolver por completo la solución mediante agitación magnética, y se agregó el ácido 3.5-dinitrosalicílico, protegiendo el reactivo de la luz con papel aluminio. En seguida, se aforó la solución hasta 100 ml con agua destilada y se dejó en agitación toda la noche en un frasco ámbar.

Preparación de las soluciones patrón de glucosa para la curva de calibración

Se preparó la solución patrón de glucosa con las siguientes concentraciones: 0, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 1.7, y 2.0 g/l. Se añadió 0.25 ml de cada solución y 0.25 ml del reactivo DNS en tubos tapa rosca cubiertos con papel aluminio para proteger la reacción de la luz. Los tubos se colocaron en un baño termostático a 85 °C por diez minutos. Se detuvo la reacción por enfriamiento en hielo por cinco minutos y se agregó 2.5 ml de agua destilada a cada tubo, se agitó y se realizó la lectura de la absorbancia a 540 nm en el espectrofotómetro UV-visible. La siguiente Tabla muestra en resumen las cantidades de glucosa, reactivo y agua destilada para cada muestra:

Reactivo	Blanco	Concentración (g/l)					
		0.5	0.7	1.0	1.5	1.7	2.0
Glucosa (ml)	-	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Agua (ml)	0.25	-	-	-	-	-	-
Reactivo DNS (ml)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Agua destilada (ml)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50

Determinación de la concentración de azúcares reductores en las muestras

Se preparó soluciones al 30% de cada muestra, agitando durante 30 minutos. Al cabo del cual se tomó una alícuota de 10 ml. Se añadió 0.25 ml de muestra y 0.25 ml del reactivo DNS en tubos tapa rosca cubiertos con papel aluminio para proteger la reacción de la luz.

Los tubos se colocaron en un baño maría a 85 °C por diez minutos. Se detuvo la reacción con enfriamiento en hielo por unos cinco minutos y se agregó 2.5 ml de agua destilada a cada tubo, se agitó y se realizó la lectura de la absorbancia a 540 nm en el espectrofotómetro UV-visible.

Se realizó una regresión lineal a la curva de calibración, se despejó la variable concentración en función de la absorbancia medida, y se reemplazaron los datos obtenidos.

Esta determinación se realizó por triplicado.

BIBLIOTECA DE AGROPECUARIAS

ANEXO 6

DETERMINACIÓN DEL pH (AOAC, 2005)

Este método (Método 981.12 de la AOAC) señala que se debe preparar una solución al 10 % de harina, luego dejar en reposo por una hora con agitaciones suaves durante el intervalo de tiempo, finalmente se mide el pH con un potenciómetro previamente calibrado con dos tipos de buffers 4 y 7 para tener mayor precisión, los valores son reportados con dos decimales.

Esta determinación se realizó por triplicado.

BIBLIOTECA DE AGROPECUARIAS

ANEXO 7

CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LOS AZÚCARES REDUCTORES

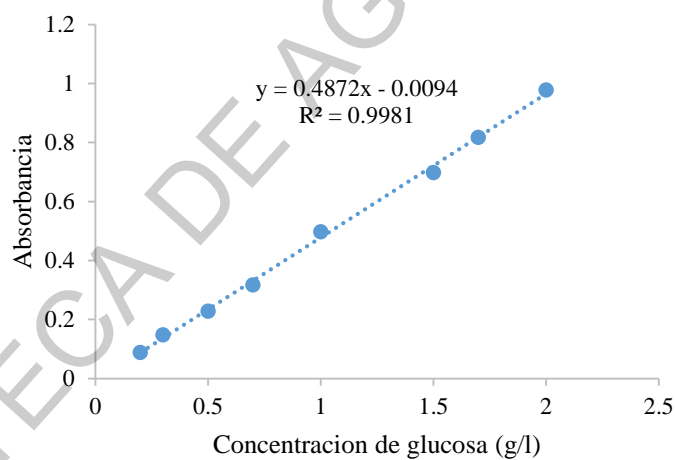
Tabla 5

Datos para la curva de calibración de la absorbancia en función a la concentración de azúcares reductores expresado como glucosa equivalente.

Reactivo	Blanco	Concentración (g/l)							
		0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	1.7	2
Glucosa (ml)	-	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Agua (ml)	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-
Reactivo DNS (ml)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Agua destilada (ml)	2.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Absorbancia		0.088	0.148	0.228	0.318	0.498	0.698	0.818	0.978

Figura 4

Curva de calibración para la cuantificación de los azúcares reductores



ANEXO 8

ABSORBANCIA MEDIDA PARA CADA TRATAMIENTO DEL DCCR

(Diseño Central Compuesto Rotable)

Tabla 6

Valores de absorbancia por tratamiento y variedad de papa (harina de cáscara)

Trat.	Huevo de indio			Huayro		
	Absorb.	[] glucosa (g/l)	Azuc. red (%)	Absorb.	[] glucosa (g/l)	Azuc. red (%)
T1	0.449	0.941	9.41	0.399	0.838	8.38
T2	0.665	1.384	13.84	0.618	1.288	12.88
T3	0.528	1.103	11.03	0.573	1.195	11.95
T4	0.833	1.729	17.29	0.953	1.975	19.75
T5	0.511	1.068	10.68	0.450	0.943	9.43
T6	0.717	1.491	14.91	0.784	1.628	16.28
T7	0.430	0.902	9.02	0.497	1.039	10.39
T8	0.851	1.766	17.66	0.933	1.934	19.34
T9	0.775	1.610	16.1	0.882	1.830	18.30
T10	0.772	1.604	16.04	0.879	1.823	18.23
T11	0.774	1.608	16.08	0.880	1.825	18.25

ANEXO 9

FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO EXPERIMENTAL

Figura 5

Selección y clasificación de las cáscaras de papa



Figura 6

Secado de las cáscaras de papa



Figura 7

Enzima celulasa de Aspergillus niger



Figura 8

Proceso de hidrólisis enzimática con temperatura controlada





FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD – CON DEPÓSITO

N° 079-2024-FAC.CC.AGROP-UNT

1. Investigadores: **VELA HORNA MARTIR ORLANDO**
DNI: N° 73811813 Código: N° 2212400214
2. Asesor: **Dr. Vegas Niño, Rodolfo Moisés**
3. Tipo de investigación: **EXPERIMENTAL**
4. Título de Trabajo de Investigación:
“Efecto de temperatura y concentración de celulasa en la obtención de azúcares reductores de cáscara de papa nativa (Solanum tuberosum)”
5. Fecha de evaluación: **08 de Octubre de 2024**
6. Software antiplagio: **TURNITIN**
7. Porcentaje de similitud permitido en el informe de originalidad: hasta el 20 %

Porcentaje de similitud obtenido	Resultado de evaluación
12%	APROBADO

Trujillo, 08 de Octubre de 2024



M. Sc. CESAR EDUARDO HONORIO JAVES
Presidente de Comité de Ética en Investigación
Facultad de Ciencias Agropecuarias

C.c. Archivo
CEH/lamch



ESCUELA PROFESIONAL – INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Acta de Sustentación de Tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

En la ciudad de Trujillo, siendo las **9:00 horas**, del día viernes **20 de setiembre de 2024** se reunió el Jurado conformado por:

Presidente(a): MSc. Freddy Waldir Gómez Escobedo
Secretario (a): Dr. Daniel José Salvador Rodríguez
Miembro Vocal: Dr. Viviano Paulino Ninaquispe Zare
Miembro Asesor: Dr. Rodolfo Moisés Vegas Niño

Para el acto de: (Marcar el que corresponde)

1. () Sustentación la Tesis intitulado:

“Efecto de temperatura y concentración de celulasa en la obtención de azúcares reductores de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*)”

Con el fin de optar al Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial por el graduado:

Br. VELA HORNA MARTIR ORLANDO


Después de concluido el acto de sustentación y luego de que el (s) mencionado(s) ha dado respuesta a las preguntas respectivas, el Jurado Evaluador, declara:


1. () Aprobado, con mención honrosa. La cual amerita su publicación
2. () Aprobado, por unanimidad
3. () Aprobado, por mayoría
4. () Desaprobado


Según el Art. 26° del Reglamento General para el otorgamiento de Grados y Títulos Profesionales de la Universidad Nacional de Trujillo, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N°274-2022/UNT.


Por lo tanto el Graduado se encuentra expedito (), impedidos () para realizar los trámites correspondientes para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Siendo las 10:00 horas se dio por terminado el acto de sustentación.


Presidente
MSc. Freddy Waldir Gómez Escobedo


Secretario
Dr. Daniel José Salvador Rodríguez


Miembro Vocal
Dr. Viviano Paulino Ninaquispe Zare


Miembro Asesor
Dr. Rodolfo Moisés Vegas Niño

F-M01.03.04-DRT/PG-03 – (Rev. 1)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

DECLARACIÓN JURADA

Los AUTORES suscritos en el presente documento DECLARAMOS BAJO JURAMENTO que somos los responsables legales de la calidad y originalidad del contenido del Proyecto de Investigación Científica, así como, del Informe de la Investigación Científica realizado.

TITULO:

Efecto de temperatura y concentración de celulasa en la obtención de azúcares reductores de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

PROY DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)	()	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)	()
PROYECTO DE TESIS PREGRADO	()	TESIS PREGRADO	(X)
PROYECTO DE TESIS MAESTRÍA	()	TESIS MAESTRÍA	()
PROYECTO DE TESIS DOCTORADO	()	TESIS DOCTORADO	()

Equipo Investigador Integrado por:

N°	Apellidos y Nombres	Facultad	Departamento Académico	Categoría Docente Asesor	Código Docente Asesor Número Matrícula del Estudiante	Autor Coautor asesor
01	Vela Horna, Martir Orlando	Ciencias Agropecuarias	Ciencias Agroindustriales	----	2212400214	Autor
02	Vegas Niño, Rodolfo Moisés	Ciencias Agropecuarias	Ciencias Agroindustriales	Asociado	5746	Asesor

Trujillo, **27 de junio** de **2024**


.....

FIRMA

DNI 73811813


.....

FIRMA

DNI 18213189

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN EN REPOSITORIO DIGITAL RENATI-SUNEDU

Trujillo, 27 de junio de 2024

Los autores suscritos del INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Titulado:

Efecto de temperatura y concentración de celulasa en la obtención de azúcares reductores de cáscara de papa nativa (*Solanum tuberosum*)

AUTORIZAMOS SU PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL, REPOSITORIO RENATI-SUNEDU, ALICIA-CONCYTEC, CON EL SIGUIENTE TIPO DE ACCESO:

- A. Acceso Abierto: (datos del autor y resumen del trabajo)
 B. Acceso Restringido
 C. No autorizo su Publicación

Si eligió la opción restringida o NO autoriza su publicación sírvase justificar _____

ESTUDIANTES DE PREGRADO: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TESIS
 ESTUDIANTES DE POSTGRADO: TESIS MAESTRÍA TESIS DOCTORADO
 DOCENTES: INFORME DE INVESTIGACIÓN OTROS

El equipo investigador Integrado por:

Nº	Apellidos y Nombres	Facultad	CONDICIÓN (NOMBRADO, CONTRATADO, EMÉRITO, estudiante, OTROS)	Código Docente (Número Matricula del Estudiante)	Autor Coautor asesor
01	Vela Horna, Martir Orlando	Ciencias Agropecuarias	otros	2212400214	Autor
02	Vegas Niño, Rodolfo Moisés	Ciencias Agropecuarias	Nombrado	5746	Asesor


 FIRMA

DNI 73811813


 FIRMA

DNI 18213189