

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/index>

www.ucr.ac.cr / ISSN: 2215-2652

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/JUNIO 2024 - VOLUMEN 34 (1)





Influencia de cáscara de papa calcinada en propiedades de mezclas asfálticas en caliente

Influence of calcined potato peel on properties of hot asphalt mixes

José Andrés Chiclote Rupay¹ , Abel Alberto Muñiz Paucarmayta² 

¹ Universidad César Vallejo, Piura, Perú
correo: chrupayja@ucvvirtual.edu.pe

² Universidad César Vallejo, Piura, Perú
correo: amunizp02@ucvvirtual.edu.pe

Palabras Clave:

Cáscara de papa, contenido de vacíos, estabilidad, propiedades físico-mecánicas, resistencia al flujo.

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo determinar la influencia de la adición de cáscara de papa calcinada en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente - Huánuco, 2023. Con respecto a la metodología, se emplea un estudio cuantitativo, aplicado y de diseño experimental, aplicándose la observación y la ficha de registro en una muestra de 45 briquetas con adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 % de cáscara de papa calcinada, comparada con una muestra patrón que contiene 2.0 % de cal hidratada, donde se evalúan propiedades como el contenido de vacío, la resistencia al flujo y la estabilidad. Los resultados muestran que el mejor contenido de aire se alcanzó con el 2.0 % de adición, con un valor de 3.3% y la resistencia al flujo fue de 3.4 mm que se alcanzó con 2.0 % de adición de cáscara de papa calcinada; no obstante, la estabilidad más elevada se obtuvo con 4.0 % de adición, siendo el valor de 1,272.3 kg. Se concluye que, con una adición de 2.0 %, se logran las mejores propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas; sin embargo, no se evidenciaron variaciones significativas en la prueba de ANOVA para resistencia al flujo y la estabilidad ($p > 0.05$).

Recibido: 03/10/2023

Aceptado: 06/12/2023

Keywords:

Flow resistance, physical-mechanical properties, potato peel, stability, void content.

Abstract

The objective of this study is to determine the influence of the addition of calcined potato peel on the physical and mechanical properties of hot asphalt mixes - Huánuco, 2023. Regarding the methodology, a quantitative, applied and experimental design study is used, applying the observation and the recording sheet in a sample of 45 briquettes with additions of 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % and 8.0 % of calcined potato peel, compared with a standard sample containing 2.0 % hydrated lime, where They evaluate properties such as void content, flow resistance and stability. The results show that the best air content was 3.3 % and flow resistance was 3.4 mm, which was achieved with 2.0 % addition of calcined potato peel; However, the highest stability was obtained with 4.0 % addition, the value being 1,272.3 kg. It is concluded that, with an addition of 2.0 %, the best physical and mechanical properties of the asphalt mixtures are achieved; However, no significant variations were evident in the ANOVA test for flow resistance and stability ($p > 0.05$).

DOI: 10.15517/ri.v34i1.56959



1. INTRODUCCIÓN

La influencia de la cáscara de papa calcinada en mezclas asfálticas es un tema de creciente interés en la industria de la construcción y la ingeniería vial. En los últimos años, se ha observado un aumento en la búsqueda de alternativas sostenibles y ecoamigables para mejorar la calidad de las carreteras y reducir el impacto ambiental de la industria del asfalto. Bajo este contexto, se vio la necesidad de la incorporación de materiales orgánicos, de manera que pueden influir de manera significativa en las características de las mezclas asfálticas, por ejemplo, resistencia mecánica, la durabilidad, resistencia al envejecimiento. La utilización de la cáscara de papa calcinada contribuye a la gestión de residuos agrícolas, al reducir la cantidad de desechos orgánicos que se descartan de manera inadecuada, siendo el departamento de Huánuco la segunda región con mayor producción de papa a nivel nacional del Perú.

A nivel internacional, la Organización para las Naciones Unidas (ONU) indica que en la mayoría de los países en vías de desarrollo se evidencia una gran cantidad de vías con niveles elevados de inseguridad: bien sea por no estar pavimentadas o porque no se realiza el mantenimiento correspondiente. Así, el grave estado de las vías ocasiona accidentes de tráfico, muchos de ellos fatales, destacándose como la décima causa de muertes en el mundo en personas con edades entre 5 y 29 años, y el 93 % ocurre en países con ingresos medianos a bajos [1].

En Latinoamérica y el Caribe, según la Cámara Andina de Fomento (CAF), se estima una red vial de 3.6 millones de km (188 km por cada 1,000 km²), que apenas representa el 13.0 % de las carreteras de los países desarrollados y más del 40.0 % de la población rural no cuenta con carreteras, lo cual requiere grandes cantidades de asfalto y obliga a los países a seguir invirtiendo en propuestas de este tipo [2].

Desde un enfoque general, el pavimento asfáltico es propenso a sufrir agrietamiento como consecuencia de su baja resistencia a la tracción. En tal sentido, la propagación de microfisuras tiende a disminuir la vida útil del pavimento asfáltico para lo cual se puede recurrir a la incorporación de fibras en la mezcla asfáltica, las cuales permiten mejorar la resistencia y el módulo del pavimento [3].

Ante estos planteamientos, se tiene la percepción de que las propiedades de los aglutinantes y agregados empleados en las mezclas asfálticas tienen un rol fundamental en el desempeño del pavimento [4], ya que dichas mezclas no son más que un material trifásico conformado por una etapa de refuerzo (agregado), una etapa de matriz (asfalto) y una etapa interfacial que se va a encontrar entre el asfalto y el agregado (llamado vacío) [5].

De este modo, se destaca el hecho de que la mezcla asfáltica va a caracterizarse por tener propiedades físicas, que van a representar los atributos de un material particular, el cual estará en función del ordenamiento molecular que este pueda exhibir [6]; y propiedades mecánicas, que son las condiciones existentes entre la fuerza o carga que es aplicada sobre un material, la cual actúa como estímulo y su respuesta a este esfuerzo [7].

A nivel nacional, se aprecia que, de acuerdo con [8], el inventario de vías nacionales tiene una longitud de 173,611 km,

de las cuales el 15.6 % están vinculadas al sistema vial nacional, el 16.1 % al sistema vial departamental y el 68.3 % al sistema vial vecinal y que solamente el 17.4 % se encuentra pavimentada, lo cual sigue siendo un problema para el país porque genera retraso, colapsos en las vías y accidentes fatales. Inclusive, se destaca la relevancia de mejorar las condiciones de las vías existentes, por ejemplo, en Lima se aprecia que solo el 29.0 % de la red vial se encuentra en buen estado, mientras que el 71.0 % presenta baches y grietas [9].

El problema se origina ante el incremento en el nivel de demanda de tráfico, además, los cambios climáticos y ambientales han acelerado la reducción de las características de las mezclas asfálticas, lo cual deriva en deformaciones, grietas y fatiga del material del pavimento que compromete su vida útil, requiere mantenimientos y rehabilitaciones que incrementan los costos [10]. Eso genera un problema en la construcción de carreteras, que representa uno de los activos de mayor importancia en cada nación y su expansión se asocia con el desarrollo económico, pero también obliga a un mayor uso de mezcla asfáltica, que es el material clave en la pavimentación [11]. Sin embargo, este problema en Huánuco se ha presentado desde hace varios años, pero ha tenido un acelerado progreso en los últimos tres, donde las inversiones en mantenimiento y rehabilitación de pavimentos han sido mayores.

Estas situaciones van a perjudicar en principio a los transportistas, que deben movilizarse por las vías, y ocasiona afectaciones en sus vehículos, así como accidentes y retrasos en la vía, lo cual afecta actividades básicas como el comercio y la movilización de la mercancía. De igual manera, afecta al Estado, pues debe invertir mayores cantidades de recursos en la rehabilitación de vías. También, afecta a la industria de la construcción, que han debido seguir innovando en investigación de materiales que permitan la sustitución o alteración de la composición de los áridos minerales o cargas, de esta forma, se ha incentivado la adición de materiales poliméricos naturales para que los pavimentos de asfalto se puedan construir de manera ecológica, sostenible y respetuosa con el medio ambiente, lo cual ayuda, en última instancia, a preservar la naturaleza al reducir la demanda para materiales de fuentes naturales extraídas y mejorar, asimismo, las propiedades de las mezclas asfálticas [12].

Una alternativa de solución ha sido la incorporación de cenizas de cáscaras de frutas, cereales, hortalizas y tubérculos (las cuales son subproductos o residuos que anualmente liberan una gran masa de gases contaminantes al no ser utilizados adecuadamente), que ha venido creciendo como resultado de que su composición química es alta en minerales con una importante actividad puzolánica [13].

De hecho, existen estudios nacionales previos donde se ha comprobado la incidencia de utilizar cáscaras de frutas y otros materiales en la conformación de una mezcla asfáltica con mayores niveles de resistencia y estabilidad, como en la investigación donde se añade un 5.0 % de ceniza de paja de arroz y se optimizan los valores de las propiedades de la mezcla asfáltica con una estabilidad de 1,221 kg, un flujo de 3.47 mm y 3.93 % de vacíos de aire [14]; de igual modo, se comprobó que la incorporación de un 5.0 % de ceniza de cáscara de arroz conlleva a un incremento de 4.37 % en

la estabilidad de la mezcla asfáltica, en tanto que la resistencia a la tensión aumentó en un 1.0 %, y el porcentaje de vacío se redujo en 1.22 % [15].

Asimismo, se demostró que las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica mejoran al añadirle un 0.5 % de cenizas de caña de maíz, sobre todo la resistencia al daño por humedad que se incrementó en 6.0 % [16]; en tanto, en otro estudio, se verificó que al adicionar un 1 % de cenizas de bambú se evidencia una mejora en el flujo de 0.3 % y una reducción del porcentaje de vacío de 10.0 %, pero se redujo la estabilidad en 1.0 % al compararlo con la muestra patrón y con la agregación del 2.0 % [17].

A nivel internacional, se constató que la adición de 2.0 % de concha de manglar y cáscara de maní en la mezcla asfáltica conllevó a un máximo nivel de estabilidad de 708.1 kg y de flujo de 12.78 mm [18], mientras que, en otra investigación, se determinó que la adición de 5.0 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar mejoró la estabilidad de la mezcla asfáltica en un porcentaje de asfalto de 6.4 % [19]. En este orden de ideas, también se pudo comprobar que al adicionar 50.0 % de cenizas cáscara de arroz en una mezcla asfáltica se logró una mejora en la estabilidad con 1,247 kg, en el porcentaje de pérdida de aire con 4.1 % y en el flujo con 2.59 % [20].

En este sentido, como lo refieren la mayoría de los estudios, estos tipos de aditivos naturales han mejorado el rendimiento de las mezclas asfálticas, especialmente, en cuanto a su estabilidad y deformación. Actualmente, se ha empezado a reconocer el uso de la cáscara de papa en cenizas, visto que su alto porcentaje de almidón genera que durante su proceso de gelatinización se formen redes más consistentes y con mayor estabilidad térmica [21], lo cual puede contribuir en las condiciones de aquellos materiales que son empleados en la construcción como resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, deformación y rigidez [22].

Particularmente, la papa (*Solanum tuberosum*) va a constituir uno de los cultivos primordiales para el consumo humano, al igual que el trigo, el arroz y el maíz, destacando que, según la información suministrada por la Organización para la Agricultura y la Alimentación, China es el mayor productor de papas con una producción de 72,000,000 toneladas, seguido de Rusia con 35,718,000 toneladas e India que registra niveles de 26,280,000 toneladas [23].

En tal sentido, el Perú se ha convertido en el país que muestra la mayor diversidad de papas a nivel mundial y dispone de 8 especies domesticadas y 2,301 variedades de las más de 4,000 que se encuentran en Latinoamérica. La papa constituye el cultivo más importante de este país en cuanto a superficie sembrada y va a representar el 25.0 % del PBI agropecuario, siendo la región andina la de mayor preponderancia en virtud de las casi 600,000 pequeñas unidades agrarias que explotan comercialmente este rubro, con Huánuco como el segundo productor [24].

Además, siendo el consumo de este rubro tan generalizado y destacándose que la cáscara de la papa representa el 2.0 % de ese tubérculo, se genera una gran cantidad de residuos en el mundo que puede reaprovecharse en otras industrias, como la de la construcción [25]. Esto también representa una alternativa

para el país, dado que se producen, en promedio, 3.58 millones de toneladas de papa al año, con una superficie sembrada de 274,411 hectáreas en diecinueve regiones (concentrada en la sierra con 95 %), aportando el 13.0 % del PBI [26].

En el ámbito industrial de la papa, las cáscaras, que representan el mayor componente entre los desechos de procesamiento, se caracterizan por tener propiedades de mucha utilidad para el sector nutricional y farmacológico, tales como compuestos fenólicos (ácidos clorogénicos, ácido ascórbico, flavonoides, etc.), polisacáridos de la pared celular y fibra dietética [23].

Asimismo, las cáscaras de la papa (al ser consideradas como residuos) han sido empleadas en la alimentación animal y, en la actualidad, se han aprovechados en la producción de glicerol y de ácido láctico. A su vez, son usados como una fuente de carbono de bajo costo en la obtención de la biosíntesis de amilasas, que es un elemento frecuentemente utilizado en el sector farmacéutico, alimenticio, cosmético y textil [27].

Ante esta última consideración, algunos estudios han demostrado que la cáscara de la papa influye favorablemente en las propiedades físico- mecánicas de la mezcla asfáltica. En un trabajo nacional, se comprobó que la adición del 15.0 % de ceniza de cáscara de papa conduce a una reducción de la humedad de 6.5 % a 11.8 % y una mejora del 11.30 % en la capacidad portante del suelo. Esto obedece a que su alto contenido de almidón, que supera a la del trigo o maíz, da una gran textura que permite llenar los microespacios que quedan vacíos en una mezcla asfáltica y que, al calcinarse a una temperatura de 350 °C en aproximadamente cuatro horas, no pierde esta propiedad esencial y libera mayores cantidades de óxidos de calcio, magnesio, aluminio, hierro, sodio y silicio que elevan la resistencia a la fatiga [28].

En definitiva, vistos los grandes beneficios que se desprenden de la utilización de la cáscara de papas en las condiciones de la mezcla asfálticas y al tomar en cuenta el mal estado de las vías en la región de Huánuco, el presente trabajo se propone a determinar la influencia de la adición de cáscara de papa calcinada en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente - Huánuco, 2023.

2. METODOLOGÍA

La metodología implementada está sustentada en un estudio de tipo aplicado, ya que se orienta a mejorar las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la identificación del porcentaje óptimo que se añade de cáscara de papa calcinada. Por su parte, el nivel obedece al explicativo al intentar describir la manera en que la adición de cáscara de papa calcinada permite obtener mejores características en el asfalto para pavimento flexible, determinando precisar el porcentaje óptimo empleado.

Asimismo, la investigación recurre a un diseño experimental puro al manipularse los porcentajes de adición de cáscara de papa calcinada para observar su efecto en mezclas asfálticas en caliente para lo cual se establecen controles de variables como el tiempo y temperatura de la calcinación, el porcentaje de componentes

químicos (dióxido de silicio < 70.0 % y de azufre < 2.0 %) y requerimientos según análisis granulométrico.

Para el presente estudio, la población está compuesta por briquetas de diseño de mezcla asfáltica en caliente con incrementos de 2.0 % en peso de la ceniza de cáscara de papa; así, la cantidad total de tratamientos se especifica en el CUADRO I. De este modo, la muestra se conforma por 45 briquetas de diseño de mezcla asfáltica en caliente, tal como se desprende del CUADRO II.

CUADRO I
CANTIDAD DE TRATAMIENTOS

Tratamiento	Ceniza de cáscara de papa	Áridos minerales
M ₀	0.0%	100.0%
M ₁	2.0%	98.0%
M ₂	4.0%	96.0%
M ₃	6.0%	94.0%
M ₄	8.0%	92.0%

CUADRO II
CANTIDAD DE UNIDADES DE ESTUDIO

Tratamiento	Contenido de vacíos	Resistencia a flujo	Resistencia a la estabilidad
M ₀	3	3	3
M ₁	3	3	3
M ₂	3	3	3
M ₃	3	3	3
M ₄	3	3	3
Total	15	15	15



Fig. 1. Proceso de secado de la cáscara de papa.

La investigación recurre a la técnica de observación directa para la obtención de los datos y específicamente emplea una ficha de recopilación de información acerca de la conformación de la mezcla asfáltica al añadirle las diversas proporciones de la cáscara de papa recolectada, tal como se evidencia en las Figs. 1

y 2, donde se detalla el proceso de secado de la cáscara de papa y la obtención de las mezclas asfálticas, respectivamente.



Fig. 2. Obtención de la mezcla asfáltica.

La cáscara de papa recolectada se lleva al horno para ser calcinada y, al retirarse, se observa que este elemento orgánico se reduce en comparación con su peso inicial en un 30.0 % y se adiciona directamente sobre la mezcla asfáltica en caliente, según los porcentajes especificados, en la muestra control compuesta inicialmente con 42.60 % de piedra chanca ¾” y arena zarandeada ¼” de la cantera Pichipampa; 23.20 % de arena chancada ¼” proveniente de la cantera Higuera; 5.80% de cemento asfáltico (PEN 85-100); 2.0 % de cal hidratada y 0.40 % de agregado mejorador de adherencia Quimibond 3000.

Para tales efectos, se plantea un diseño completamente aleatorizado de un factor, según la ecuación (1):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \tag{1}$$

Donde y_{ij} es el parámetro de la mezcla asfáltica en caliente de la repetición j -ésima del i -ésimo tratamiento, μ es el efecto constante, τ_i es el efecto del tratamiento en el parámetro (adición de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 % de ceniza de cáscara de papa) y ε_{ij} corresponde a la afectación de variables aleatorias (cuya magnitud se considera mínima).

El método de análisis que se considera es la estadística descriptiva para el análisis de media y dispersión a través de tablas y figuras; así como, la estadística inferencial mediante la aplicación de la prueba ANOVA con un nivel de significancia del 5.0 %, afirmándose la existencia de diferencias significativas cuando el valor de significancia de la prueba (p) es inferior al fijado ($p < 0.05$).

Para el análisis granulométrico de los agregados, estos se ensayan con la finalidad de conocer la caracterización de cada uno de los aglomerantes y así determinar la dosificación de los aportantes según sus tamaños retenido en los tamices, teniendo en cuenta la norma ASTM D-3515 y MTC E 204. Con los agregados obtenidos de la cantera Pichipampa e Higuera se procede a realizar el análisis granulométrico de cada aglomerante por medio del tamizado para cada porcentaje del 2.0 % al 8.0 % de la ceniza de cáscara de papa como se aprecia en la Fig. 3, para luego proceder con la determinación del peso como se observa en la Fig. 4.



Fig. 3. Tamizado de aglomerantes.

En el CUADROS III y IV, se presenta el análisis granulométrico de los agregados minerales, confirmándose que los materiales pasan el tamiz ¾” y de la ceniza pasan la malla N° 30, lo cual satisface lo requerido en la norma AASHTON M303, los resultados obtenidos se grafica una curva granulométrica demostrando que cumplen lo exigido en la norma, tal como se aprecia en la Fig. 5.



Fig. 4. Determinación de pesos.

De esta manera, los materiales empleados son los siguientes:

- Grava chancada de ¾”.
- Grava zarandeada 3/8”.
- Ceniza de cáscara de papa (Filler).
- Arena chancada 3/8”.

CUADRO III
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS
MINERALES (MTC E204/ASTM D3515)

Tamiz	AASHTO t-27 (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje No retenido	Especificación AASHTO m 303		
¾”	19.05	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0
1/2”	12.50	77.3	100.0	100.0	100.0	90	100	90.3
3/8”	9.50	46.0	100.0	100.0	100.0	-	-	77.0
N° 4	4.75	2.3	95.7	95.1	100.0	44	74	55.7
N° 8	2.36	1.2	74.0	73.4	100.0	28	58	43.3
N° 50	0.30	0.0	29.7	19.8	95.3	5	21	15.2
N° 200	0.075	0.0	15.3	6.6	86.7	2	10	7.4

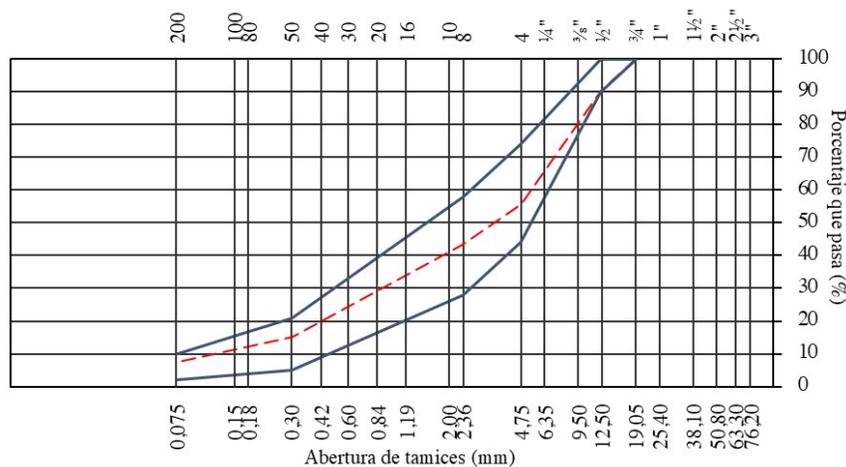


Fig. 5. Curva granulométrica de los agregados minerales (MTC E204/ASTM D3515).

CUADRO IV
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE PAPA (MTC E204/ASTM C136)

Tamiz	AASHTO t-27 (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje No retenido	Especificación AASHTO m 303		
1/2"	12.500				100.0			
3/8"	9.500		0.0	0.0				
1/4"	6.300							
Nº 4	4.750							
Nº 8	2.360							
Nº 10	2.000							
Nº 16	1.190				100.0			
Nº 20	0.840				100.0			
Nº 30	0.600	1.4	0.5	0.5	99.5	100		100
Nº 40	0.420	0.0	0.0	0.5	99.5			
Nº 50	0.300	2.7	0.9	1.3	98.7	95	-	100
Nº 80	0.177		0.0	1.3	98.7			
Nº 100	0.150		0.0	1.3	98.7			
Nº 200	0.075	54.3	17.6	19.0	81.0	80	-	100
Platillo		249.6	81.0	100.0				

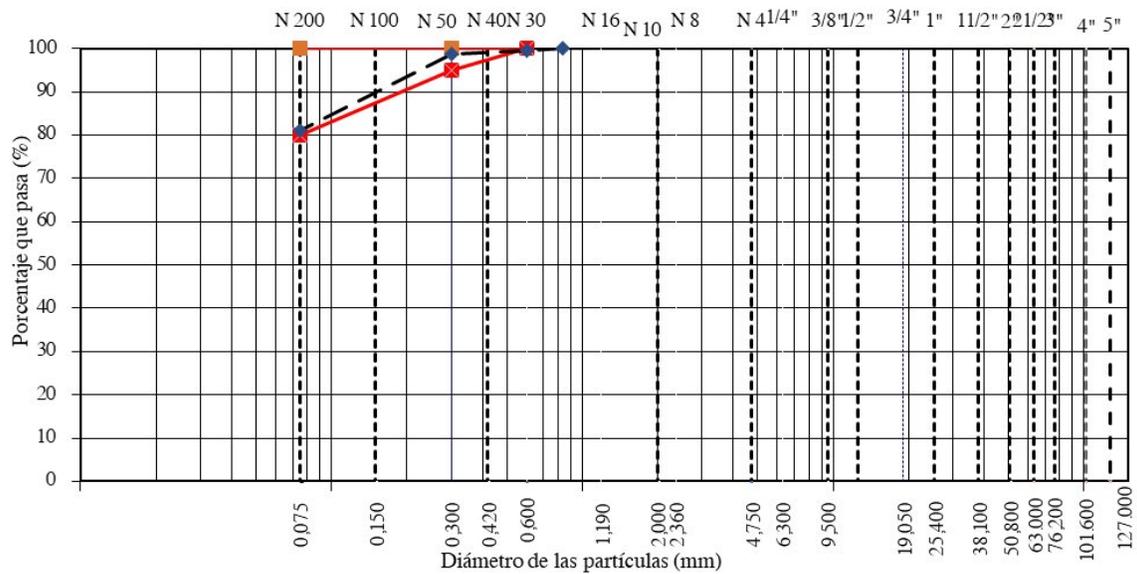


Fig. 6 Curva granulométrica de la ceniza de cáscara de papa (MTC E204/ASTM C136).

Seguidamente, se puede demostrar que la variable estudiada cumple con las indicaciones de la norma AASHTON M303, al pasar por el tamiz N° 20, se grafica su curva granulométrica y su tamizado con porcentajes retenidos, acumulados y porcentajes que pasa, tal como se detalla en el CUADRO IV y Fig. 6.

3. RESULTADOS

En el Cuadro V, se puede observar el resumen del análisis realizado a las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente al añadirle las diversas proporciones de cáscara de papas calcinadas, donde se evidencia que la mejor resistencia al flujo y el contenido de vacíos es alcanzada con las proporciones de 2.0 % de cáscaras de papas calcinadas, mientras que la estabilidad resultó mayor hasta incorporar una proporción de 4.0 % de cáscaras de papas calcinadas y a partir de allí experimenta un decremento.

En los resultados del CUADRO V, se aprecia que los indicadores evaluados presentan alta variabilidad (entre paréntesis se indica el coeficiente de variación) con una desviación estándar de 1.0 para porcentaje de vacíos (24.3 %), para el porcentaje de vacíos de agregado mineral de 1.6 (9.3 %), para flujo de 0.1 (4.3 %) y para estabilidad corregida de 27.5 (2.2 %).

De los resultados alcanzados, se comprobó que el mejor contenido de vacío, es decir, el más bajo que evita que entre agua y aire se generen futuros deterioros, es para una adición de 2.0 % de cáscara de papa con 3.3 ± 0.1 %. Asimismo, el análisis demuestra que a mayor adición de cáscara de papa calcinada se incrementa el contenido de vacíos, verificándose que se cumple con el estándar específico de 3-5 % exigido por las normas ASTM D3203-22, salvo la adición del 8.0 % que es superior al 5.0 %, tal como se puede contemplar en la Fig. 7.

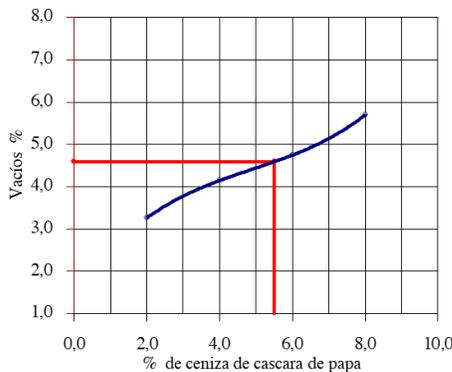


Fig. 7. Contenido de vacíos de mezclas asfálticas en caliente.

Seguidamente, se pudo determinar que la mejor resistencia al flujo, es decir, el más bajo que evita el traspaso del aire y, por tanto, retrasa aún más la fricción, es para una adición de 2.0 % de cáscara de papa calcinada con 3.4 ± 0.2 mm. De igual forma, se constató que a mayor adición de cáscara de papa se reduce la resistencia al flujo, verificándose que se cumple con el estándar específico de 2-4 mm exigidos por las normas ASTM D6927, para todas las adiciones, Con base en lo descrito en la Fig. 8.

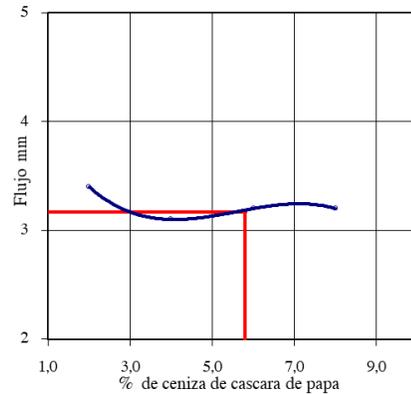


Fig. 8. Flujo de mezclas asfálticas en caliente.

En otro orden de ideas, se demostró que la mejor estabilidad, vale decir, la más alta que mejoraría la capacidad del asfalto de resistir la carga y evitar deformaciones corresponde a una adición de 4.0 % de cáscara de papa con $1,272.3 \pm 72.5$ kg. De esta manera, se constató que la estabilidad aumenta hasta una adición de 4.0 % de cáscara de papa y, a partir de esta proporción, experimenta una disminución, verificándose que se cumple con el estándar específico de 815 kg mínimo exigido por las normas ASTM D6927 para todas las adiciones, tal como se detalla en la Fig. 9.

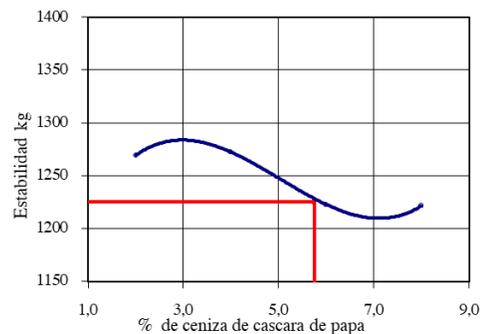


Fig. 9. Estabilidad de mezclas asfálticas en caliente.

CUADRO V
RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS
DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ANTE
DIVERSAS PROPORCIONES DE CÁSCARA DE PAPAS

Categorías	% de cemento asfáltico	Muestra control (2 % de filler-cal hidratada)	2.0 %	4.0 %	6.0 %	8.0 %	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Especificaciones técnicas
N° de golpes	5.8 %	75	75	75	75	75	-	-	75
% de vacíos	5.8 %	2.9	3.3	4.1	4.8	5.7	1.0	24.3 %	ASTM D3203-22 3 - 5
% vacíos de agregado mineral (v.ma)	5.8 %	15.1	15.4	16.5	18.5	18.9	1.6	9.3 %	14 min.
Flujo	5.8 %	3.6	3.4	3.2	3.2	3.2	0.1	4.3 %	ASTM D6927 2.4 – 3.4
Estabilidad corregida	5.8 %	1,205	1,269	1,272	1,221	1,221	27.5	2.2 %	ASTM D6927 815 min.

En el análisis inferencial realizado para determinar la influencia de la cáscara de papa calcinada en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, se tuvieron los resultados expuestos en el CUADRO VI de la aplicación de la prueba ANOVA.

De acuerdo con lo reflejado en el CUADRO VI, se tiene que, en lo concerniente al contenido de vacíos, se determinó la existencia de diferencias significativas al obtenerse un valor $F = 18.849$ ($p < 0.05$), destacándose que el mejor nivel de contenido de vacío se obtuvo al añadir una proporción de cáscaras de papa de 0.0 %.

Del propio CUADRO V, se verificó que no hay suficiente evidencia estadística para indicar que existen diferencias significativas en la resistencia al flujo. Al mismo tiempo, se demostró que no hay suficiente evidencia estadística para indicar que existen diferencias significativas en la resistencia al flujo.

Del análisis anterior, se puede indicar que las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con cáscaras de papas calcinadas varían en términos de los parámetros asignados; así, se demuestra que, ante una mayor dosificación de cáscara de papa calcinada, el contenido de vacío y la resistencia al flujo desmejora, pero la estabilidad aumenta hasta la adición de 4.0 %. Por su parte, a nivel inferencial, se comprueba que para las tres dimensiones de la variable propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas definidas por contenido de vacíos, resistencia al flujo y estabilidad solamente existe variación significativa en el contenido de vacío con las adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 %, evidenciándose un incremento (desmejora), mientras que en el resto no hubo diferencias significativas.

CUADRO VI
RESULTADOS DE LA PRUEBA ANOVA RESPECTO
A LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE CÁSCARA
DE PAPA

Dimensiones	% de adición	Valor	Gl	F	p
Contenido de vacíos (%)	0%	2.9			
	2%	3.3			
	4%	4.1	4	18.849	0.001
	6%	4.8			
	8%	5.7			
Resistencia al flujo (mm)	0%	3.6			
	2%	3.4			
	4%	3.1	4	3.451	0.051
	6%	3.2			
	8%	3.2			
Estabilidad (kg)	0%	1,205.0			
	2%	1,269.3			
	4%	1,272.3	4	1.411	0.299
	6%	1,223.7			
	8%	1,221.0			

4. DISCUSIÓN

Con respecto al contenido de vacíos de mezclas, asfálticas resultan los siguientes valores: 3.3 %, 4.1 %, 4.8 % y 5.7 % con adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 % de cáscara de papa calcinada, respectivamente, cumpliéndose con los parámetros requeridos por las normas ASTM, salvo la adición del 8.0 % que es superior al 5.0 % especificado. De esta manera, el mejor valor fue obtenido con la adición de 2.0 % de cáscara de papa con 3.3 ± 0.1 %. Aunado a esto, los resultados estadísticos reflejaron las diferencias significativas existentes en el contenido de vacío entre las distintas adiciones ($F = 18.849$, $p < 0.001$).

Los resultados anteriores se encuentran acordes con los obtenidos por [14], donde se determinó que la adición de 5.0 % de cenizas de paja de arroz en la mezcla asfáltica produjo una mejora en el contenido de vacío al registrarse un 3.93 %, mientras que en el trabajo realizado por [15], en el que se adicionó un 5.0 % de ceniza de cáscara de arroz en el asfalto se obtuvo una mejora de 1.22 % en el contenido de vacío. En lo que respecta a antecedentes internacionales, este resultado se corresponde con los alcanzados por [20], en el que evaluó la incidencia de una adición del 50.0 % de cenizas de cáscara de arroz en el desempeño de las propiedades de la mezcla asfáltica, encontrando una mejora del contenido de vacío de 4.1 %.

En lo referente a la resistencia al flujo de mezclas asfálticas, resultan los siguientes valores: 3.4 mm, 3.2 mm, 3.2 mm y 3.2 mm con adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 % de cáscara de papa calcinada, respectivamente, cumpliéndose con los requerimientos previstos en las normas ASTM de 2-4 mm. De esta manera, se evidenció que el mejor valor se obtuvo con la adición de 2.0 % de cáscara de papa con 3.4 ± 0.2 mm. Además, los resultados estadísticos reflejaron que no existen diferencias significativas en la resistencia al flujo entre las distintas adiciones ($F = 3.451$, $p = 0.051$).

En tal sentido, estos hallazgos son cónsonos con los obtenidos por [16], donde se comprobó que la adición de 0.5 % de ceniza de caña de maíz en la mezcla obtuvo que la adición de 0.5 % mejoró la resistencia al flujo en 6.0 %, en tanto que en [15] también se obtuvo un incremento de 1.0 % en la resistencia a la tensión al adicionarse un 5.0 % de ceniza de cáscara de arroz en la mezcla asfáltica.

En lo concerniente a la estabilidad de mezclas asfálticas resultan los siguientes valores: 1,269.3 kg, 1,272.3 kg, 1,221.7 kg y 1,234.0 kg con adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 % de cáscara de papa calcinada, respectivamente, mostrando conformidad con los requerimientos establecidos las normas ASTM de 815 kg. En este caso, el mejor valor se obtuvo al incorporar una proporción de 4.0 % de cáscara de papa calcinada con $1,272.3 \pm 72.5$ kg., y aunado a esto los resultados estadísticos evidenciaron la ausencia de diferencias significativas en la estabilidad entre las distintas adiciones ($F = 1.411$, $p = 0.299$).

Estos resultados son similares con los obtenidos por [28], donde se comprobó que la adición de un 15 % de ceniza de cáscara de papa en la mezcla asfáltica conllevó a una mejora de 11.30 %, mientras que en el estudio de [19] se constató que la adición

de 5.0 % de arena volcánica y ceniza de bagazo de la caña de azúcar en la mezcla asfáltica produjo una mejora de 5.0 % en la estabilidad, al igual que lo presentado en el trabajo de [20], donde se demostró que adicionar un 50.0 % de cenizas cáscara de arroz en una mezcla asfáltica generó una mejora en la estabilidad al alcanzar un valor de 1,247 kg.

Por último, se tiene al objetivo general de la investigación en el que se comprobó que las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas modificadas con cáscara de papa calcinada registraron mejores valores al añadir un 2.0 % de este material, pero fueron inferiores a la muestra patrón en lo que respecta al contenido de vacío y resistencia al flujo, por lo tanto, se determinó que la adición de cáscara de papa calcinada no influye en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente - Huánuco, 2023.

De esta forma, se tiene que estos resultados discrepan de los obtenidos en los trabajos de [14], [15] y [20] en los cuales se demostró que la adición de diversos materiales asociados a ciertos cultivos influye en las propiedades físicas – mecánicas de las mezclas asfálticas.

5. CONCLUSIONES

Después de realizada la investigación de tipo aplicada y diseño experimental puro se llegó a las conclusiones siguientes:

1. El contenido de vacíos de mezclas asfálticas modificadas con cáscara de papa calcinada presentó valores de 3.3 %, 4.1 %, 4.8 % y 5.7 % con adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 %, respectivamente. El menor valor se obtuvo con la adición de 2 % de cáscara de papa con 3.3 ± 0.1 %, demostrándose que la adición de cáscara de papa calcinada influye en el contenido de vacíos de mezclas asfálticas en caliente - Huánuco, 2023.
2. La resistencia al flujo de mezclas asfálticas modificadas con cáscara de papa calcinada presentó valores de 3.4 mm, 3.2 mm, 3.2 mm y 3.2 mm con adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 % de cáscara de papa calcinada, respectivamente. El mayor valor se obtuvo con la adición de 2.0 % de cáscara de papa con 3.4 ± 0.2 mm, comprobándose que la adición de cáscara de papa calcinada no influye en la resistencia al flujo de mezclas asfálticas en caliente - Huánuco, 2023.
3. La estabilidad de mezclas asfálticas modificadas con cáscara de papa calcinada presentó valores de 1,269.3 kg, 1,272.3 kg, 1,221.7 kg y 1,234.0 kg con adiciones de 2.0 %, 4.0 %, 6.0 % y 8.0 %, respectivamente. El mayor valor se obtuvo con la adición de 4 % de cáscara de papa calcinada con $1,272.3 \pm 72.5$ kg, demostrándose que la adición de cáscara de papa calcinada no influye en la estabilidad de mezclas asfálticas en caliente - Huánuco, 2023.
4. Se concluye que las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas modificadas con cáscara de papa calcinada presentaron mejores valores con la adición de 2.0 %, pero son inferiores a la muestra patrón en el caso del contenido de vacío y resistencia al flujo, por lo tanto, se determinó

que la adición de cáscara de papa calcinada no influye en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente - Huánuco, 2023.

AGRADECIMIENTOS

Debo reconocer el apoyo del Dr. Abel Alberto Muñiz Paucarmayta por su contribución en el diseño metodológico y realización de experimentos y al personal de la Universidad César Vallejo por permitirme el acceso a su plataforma de biblioteca virtual, mediante la cual fueron descargados, revisados y analizados distintos documentos que permitieron el desarrollo de esta investigación.

ROLES DE AUTORES

José Andrés Chiclote Rupa: Conceptualización, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, recursos, redacción - borrador original, redacción-revisión y edición.

Abel Alberto Muñiz Paucarmayta: Asesor metodológico, revisión.

REFERENCIAS

- [1] ONU, “El papel del sistema de las Naciones Unidas en la mejora de la seguridad vial para salvar vidas y la promoción del desarrollo sostenible”. UN.org. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/el-papel-del-sistema-de-las-naciones-unidas-en-la-mejora-de-la-seguridad-vial-para> (accesado en Ago. 3, 2023).
- [2] CAF, “Carreteras hacia el desarrollo”. CAF.com. <https://www.caf.com/media/4661082/impacto-caf-informe-completo-carreteras.pdf> (accesado en Ago. 3, 2023).
- [3] D. Yu, A. Jia, C. Feng, W. Liu, T. Fu y R. Qiu, “Preparation and mechanical properties of asphalt mixtures reinforced by modified bamboo fibers”, *Construction and Building Materials*, vol. 286, pp. 1-9, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122984.
- [4] M. Samir, A. Mohamady, M. Basio, A. Abdulhamid y J. Kim, “Mechanical properties of asphalt concrete modified with carbon nanotubes (CNTs)”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, pp. 1-14, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00930>.
- [5] M. Dong, W. Sun, L. Li y Y. Gao, “Effect of asphalt film thickness on shear mechanical properties of asphalt-aggregate interface”, *Construction and Building Materials*, vol. 263, pp. 1-11, 2020 doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120208.
- [6] D. López y A. Rojas, “Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos maderos plásticos”, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, no. 23, pp. 93-102, 2018.
- [7] X. Rodríguez, *Ensayos físicos*. Madrid, España: Editorial Síntesis, 2019. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, “Política Nacional Multisectorial de Seguridad Vial”, MTC, Lima, Perú, 2023.
- [8] Defensoría del Pueblo, “Seguimiento a las condiciones de infraestructura vial para el tránsito de peatones y conductores en puntos críticos de los distritos de Lima y Callao”, Defensoría del Pueblo, Lima, Perú, 2019.
- [9] O. Muñoz, D. Movilla, A. Raposeiras y D. Castro, “Estudio sobre la influencia de la ceniza de celulosa como filler de aportación en el desempeño de mezclas asfálticas frente a diferentes condiciones de deterioro”, *Conference: XX Congreso Ibero Latinoamericano Del Asfalto CILAA*, Nov. 2019, pp. 1-13.
- [10] S. Muñoz, M. Morante y H. Huáman, “Revisión sistemática del comportamiento convencional y geológico del biocompuesto asfalto-biomasas producidas”, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 2, no. 2, pp. 15-28, 2023, doi: 10.18273/revuin.v22n2-2023002.
- [11] R. Ramadhani, J. Arliansyah, E. Kadarsa, H. Rahman y R. Rosidawani, “Review of the literature on the use of rice husk ash as a sustainable filler substitute in hot rubber asphalt mixtures for road pavements’ wearing course”, *Proceedings of the 3rd Sriwijaya International Conference on Environmental Issues, SRICOENV 2022*, Oct. 2022, pp. 1-7.
- [12] T. Quynh, “Effect of several fillers on some basic mechanical properties of asphalt concrete”, *Journal of Science and Transport Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 18-25, 2022.
- [13] J. Altamirano y K. Robledo, “Influencia de la ceniza de paja de arroz en las propiedades físicas mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Jaén 2022”, Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo, Moyobamba, Perú, 2022.
- [14] A. Zambrano, “Adición de ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánica-dinámicas de un asfalto para reparación en Carabayllo 2019”, Tesis de Licenciatura, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, 2020.
- [15] R. Aduato, “Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz”, Tesis de Maestría, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2019.
- [16] H. Lau, “Evaluación del comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas de bambú, Lima – 2019”, Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo, Lima, Perú, 2019.
- [17] N. Areche, “Concreto asfáltico utilizando concha de manglar y cáscara de maní como agregados”, Tesis de Licenciatura, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2022.
- [18] W. Pacheco, “Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica y ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado”, Tesis de Licenciatura, Uni-

- versidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2022.
- [19] M. Mohiey, M. Hassan y I. Mokhtar, “Effect of rice husk ash on the performance of hot asphalt mixes”, *Mansoura Engineering Journal*, vol. 45, no. 2, pp. 8-19, 2020.
- [20] R. Vasquez, W. Vasquez y S. Muñoz, “Uso de aditivos adherentes en el diseño de mezclas asfálticas en caliente: una revisión”, *Gaceta Técnica*, vol. 22, no. 1, pp. 66-78, 2021.
- [21] C. Velez, X. Zambrano, M. Delgado, G. Burgos y C. Cedeño, “Almidones de Cáscara de Yuca (*Manihot Esculenta*) y Papa (*Solanum Tuberosum*) para Producción de Bioplásticos: Propiedades Mecánicas y Efecto Gelatinizante”, *Revista Bases de La Ciencia*, vol. 6, no. 2, pp. 137-152, 2021, doi: 10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v6i2.3293.
- [22] N. Joly, K. Souidi, D. Depraetere, D. Wils y P. Martin, “Potato By-Products as a Source of Natural Chlorogenic Acids and Phenolic Compounds: Extraction, Characterization, and Antioxidant Capacity”, *Molecules*, vol. 26, no. 1, pp. 1-15, 2021, doi: 10.3390/molecules26010177.
- [23] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - INIA, *Estudio de vigilancia tecnológica en el cultivo de papa*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, 2023.
- [24] C. López, J. Rodríguez y C. Amaya, “Aprovechamiento de cáscara de papa generada en la cafetería de Ciencias Biológicas de la UANL para la elaboración de harina rica en antioxidantes”, *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimento*, vol. 4, pp. 887-890, 2019.
- [25] MIDAGRI, “Ficha técnica de la papa”. Midagri.gob.pe. <https://www.midagri.gob.pe/portal/25-sector-agrario/papa/207-papa> (accesado en Ago. 3, 2023).
- [26] E. Sánchez-Castelblanco y J. Heredia-Martín, “Evaluación de residuos de cáscaras de papa como sustrato para la producción de amilasas a partir de *Bacillus amyloliquefaciens* A16”, *Revista Académica Colombiana de Ciencias Experimental de Física Natural*, vol. 44, no. 172, pp. 794-804, 2020, doi: 10.18257/raccefyn.1122.
- [27] B. Villanueva, “Evaluación de la ceniza de cáscara de papa en las propiedades de la subrasante Huacrachuco a Chocobamba – Huánuco 2022”, Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo, Lima, Perú, 2022.