

# Valorization of agro-industrial waste in a circular economy environment: Grape pomace as a source of bioactive compounds for its application in nanotechnology

Asmat-Campos, D.<sup>1,2\*</sup>, Bravo Huivin, E.<sup>3</sup>, Avalos-Vera, V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte, Dirección de Investigación y Desarrollo, Trujillo, Perú

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte, Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Trujillo, Perú

<sup>3</sup> Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Empresarial, Trujillo, Perú

<sup>4</sup> Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial, Trujillo, Perú

**Abstract**– *The wine industry is one of the most important agricultural activities in the world. However, the activities of the transformation process (pisco, wine) generate large amounts of by-products and waste, this is how it is estimated that the waste generated in the world production of grapes for winemaking reaches an approximate of 8.5 million tons per year. In this research, a similar context is evaluated, but on a smaller scale, specifically in the department of La Libertad in Peru, considered the third largest producer of grapes nationwide. The reuse of waste is also considered in order to extract bioactive compounds which have turned out to be excellent chemical reducing agents; For this, an extract in alcoholic solvent 96% rich in metabolites has been prepared for use as a reducing agent of the precursor silver nitrate, a process that has led to the obtaining of silver nanoparticles (NP Ag), this by reducing the ions. In this sense, the focus of this research is aimed at generating technology such as nanotechnology, and in this way giving it a better value, in turn laying the foundations to add this process within a circular economy.*

**Keywords:** *Agro-industrial waste, circular economy, bioactive compounds, silver nanoparticles, green synthesis.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.23>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

# Valorización de residuos agroindustriales en un entorno de economía circular: Orujo de uva como fuente de compuestos bioactivos para su aplicación en nanotecnología

## Valorization of agro-industrial waste in a circular economy environment: Grape pomace as a source of bioactive compounds for its application in nanotechnology

Asmat-Campos, D.<sup>1,2\*</sup>, Bravo Huivin, E.<sup>3.</sup>, Avalos-Vera, V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte, Dirección de Investigación y Desarrollo, Trujillo, Perú

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte, Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Trujillo, Perú

<sup>3</sup> Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Empresarial, Trujillo, Perú

<sup>4</sup> Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial, Trujillo, Perú

**Resumen-** La industria del vino, es una de las actividades agrícolas más importantes en el mundo. Sin embargo, las actividades propias del proceso de transformación (pisco, vino) genera grandes cantidades de subproductos y residuos, es así como se estima que los residuos generados en la producción mundial de uvas para la vinificación alcanzan un aproximado de 8.5 millones de toneladas anuales. En esta investigación se evalúa un contexto similar, pero a escala menor, específicamente en el departamento de La Libertad en Perú, considerado el tercer mayor productor de uva a nivel nacional. También se considera el reaprovechamiento de los residuos con el objetivo de extraer compuestos bioactivos los cuáles han resultado ser excelentes agentes reductores químicos; para ello se ha elaborado extracto en solvente alcohólico 96% rico en metabolitos para su uso como agente reductor del precursor nitrato de plata, proceso que ha llevado consigo a la obtención de nanopartículas de plata (NP Ag), esto mediante la reducción de los iones. En ese sentido, el enfoque de esta investigación está dirigido a generar alta tecnología como lo es la nanotecnología, y de esta forma otorgarle una mejor valorización, a su vez sentar las bases para añadir este proceso dentro de una economía circular.

**Palabras clave:** Residuos agroindustriales, economía circular, compuestos bioactivos, nanopartículas de plata, síntesis verde.

**Abstract-** The wine industry is one of the most important agricultural activities in the world. However, the activities of the transformation process (pisco, wine) generate large amounts of by-products and waste, this is how it is estimated that the waste generated in the world production of grapes for winemaking reaches an approximate of 8.5 million tons per year. In this research, a similar context is evaluated, but on a smaller scale, specifically in the

department of La Libertad in Peru, considered the third largest producer of grapes nationwide. The reuse of waste is also considered in order to extract bioactive compounds which have turned out to be excellent chemical reducing agents; For this, an extract in alcoholic solvent 96% rich in metabolites has been prepared for use as a reducing agent of the precursor silver nitrate, a process that has led to the obtaining of silver nanoparticles (NP Ag), this by reducing the ions. In this sense, the focus of this research is aimed at generating technology such as nanotechnology, and in this way giving it a better value, in turn laying the foundations to add this process within a circular economy.

**Keywords:** Agro-industrial waste, circular economy, bioactive compounds, silver nanoparticles, green synthesis.

### I. INTRODUCCIÓN

La industria de vinos y piscos está vinculada directamente a la producción de uva y, en los últimos años, ha tenido un incremento importante [1]. Sin embargo, este crecimiento involucra algunos problemas en cuanto al notable crecimiento en la generación de residuos; siendo el bagazo u orujo (cáscaras y semillas) y las lías (sedimentos sólidos) los residuos más abundantes del proceso de vinificación [2]. Una alternativa de aprovechamiento de estos residuos que ha cobrado interés es el de su uso como fuente de compuestos fenólicos, los cuales representan entre el 0.09 - 0.35 % del peso del orujo seco [3]. Es importante resaltar que a pesar de que estos residuos se utilicen como como piensos, abonos y fertilizantes, la mayor parte se elimina sin ser reutilizado [2], pese a que los residuos

de la producción vinícola continen compuestos bioactivos que pueden ser utilizados como un agente reductor para la síntesis de nanopartículas [4], pues según investigaciones relacionadas a la caracterización de residuos de uvas (Asmat-Campos, Juárez-Cortijo et al.) sostiene que existen diversidad de frutos en la naturaleza que contienen potenciales compuestos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, etc.) siendo uno de ellos los presentes en el orujo de uva [5].

El actual modelo de producción y gestión en las empresas agroindustriales están llevando al planeta a una situación insostenible, pues el sistema económico se desmarca del ciclo de la naturaleza, es así como la economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción de los elementos [6].

Por otro lado, en la actualidad nace un gran interés por la nanotecnología, ya que es un campo importante de la investigación moderna [7] que se ocupa de la síntesis, estrategia y manipulación de la estructura de partículas que van desde aproximadamente 1-100 nm [8], dentro de este rango de tamaño las propiedades (químicas, físicas y biológicas) cambian en formas fundamentales tanto en átomos / moléculas individuales y su volumen correspondiente [9]. Las nanopartículas se desarrollan para exhibir rasgos como mayor resistencia, reactividad química o conductividad en comparación con el mismo material a otras escalas mayores [10], además su principal característica es que se puede controlar su tamaño y forma mediante la síntesis [4].

Asimismo las aplicaciones de las nanopartículas están evolucionando gracias a sus propiedades basadas en su distribución y morfología [11] debido a que está perenne en diversos campos como el cuidado de la salud, la cosmética, la biomedicina, la alimentación, la administración de genes de fármacos, el medio ambiente, la salud, la mecánica, la óptica, las industrias químicas, la electrónica, las industrias espaciales, la ciencia energética, la catálisis, los emisores de luz transistores de un solo electrón, dispositivos ópticos no lineales y aplicaciones fotoelectroquímicas [9]. Esto incluye la producción de materiales a nanoescala posteriormente en la investigación o utilización de sus misteriosas propiedades fisicoquímicas y optoelectrónicas [12].

Por consiguiente, la síntesis de nuevas nanopartículas basadas en el concepto de nanotecnología verde o biosíntesis está ganando adeptos durante los últimos años [13], a raíz que se emplea materiales de residuos orgánicos no solo reduce los costos de este proceso, sino que también reducen el uso de reactivos químicos peligrosos [14]. La necesidad de biosíntesis de nanopartículas aumentó a medida que los procesos físicos y químicos eran más costosos [15]. Frecuentemente, la producción de nanopartículas a partir de un método sintético puede conducir a la presencia de productos tóxicos en la superficie de éstas, pudiendo tener efectos adversos en las aplicaciones médicas [11]. Esto no es un problema cuando se trata de nanopartículas biosintéticas [16].

En base a los conceptos anteriores, la presente investigación está enmarcado dentro del contexto de la reutilización de los

residuos agroindustriales, específicamente los generados por la producción vinícola en la Región La Libertad, en Perú, con el objetivo de replantear dentro del esquema de economía circular, el obtener compuestos bioactivos orgánicos los cuáles puedan utilizarse en metodologías innovadoras dentro de un campo de alta investigación como lo es la nanotecnología, es así como se presenta datos relacionados a la producción en el sitio geográfico en mención, los residuos agroindustriales generados, evaluaciones de los compuestos bioactivos presentes, y su aplicación en la biosíntesis de nanopartículas de plata, asimismo una comparativa breve a nivel de protocolos y costos respecto a otros métodos altamente nocivos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Recopilación de información

La recopilación de datos fue mediante la aplicación de la técnica de la revisión documental y trabajo de gabinete, para ello, se efectuó la búsqueda en publicaciones de revistas indexadas en la base de datos Scopus, como también información de procedencia gubernamental como lo son los boletines informativos del Ministerio de Agricultura del Perú, en la cual se obtuvieron datos en relación con la producción anual de uva, exportación y porcentaje de participación en la producción de las regiones del Perú.

Como palabras claves para la búsqueda se emplearon: Ministerio de Agricultura, orujo de uva, producción de uva y residuos sólidos vitivinícolas.

### B. Biosíntesis de nanopartículas de plata (NP Ag)

La síntesis se realizó mediante el método de química verde, teniendo como precursor químico al nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) Merck (N° CAS 5979-45-6), para ello se preparó una solución stock de 1M diluido en 10 mL de agua ultrapura, luego se extrajo 50 uL y aforó a 50 mL, obteniéndose de esa forma la concentración ideal para el proceso de síntesis. El extracto se preparó empleando hollejos residuales de uva tinta de mesa (*Vitis vinifera* var. Gross Collman) procedente de Cascas (provincia de Gran Chimú, región La Libertad, Perú), como residuo proveniente de la producción de vino. Los residuos fueron secados a 45°C por 72 horas en una estufa de convección forzada UN55 PLUS (Memmert GmbH Co. KG, Alemania); posteriormente el extracto se elaboró en base a solvente etanólico de 96° (v/v), agitándose a 300 rpm durante 30 minutos, finalmente la mezcla se centrifugó a 3000 rpm durante 15 min, eliminando el sedimento residual y almacenando el sobrenadante en frascos ámbar. Las nanopartículas se elaboraron mediante la mezcla entre el precursor previamente preparado y el extracto de residuos de uva bajo agitación magnética (300 rpm) a 60°C, hasta posteriormente llevarlo a pH 10. El extracto resultó ser un excelente reductor orgánico por poseer grupos fenólicos.

### C. Caracterización del extracto y NP Ag

El coloide de NP ZnO fue inicialmente caracterizado por espectrofotometría UV-Vis (Hewlett Packard, 8452, CA, EE.UU) en el rango de 340-800 nm, con el objetivo de evaluar la presencia del pico de absorbancia óptica, asimismo se ha considerado evaluar la forma y el tamaño de las nanoestructuras mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis de composición elemental por EDS (Tescan Vega 3, Brno, Rep. Checa), la identificación de materiales (grupos funcionales) en función a su absorción en el espectro de infrarrojo fue por FTIR (Thermo Scientific, Nicolet iS50, Alemania).

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de uva en Perú ha crecido en la última década a una tasa promedio anual del 15%, incrementando de 196,6 mil toneladas a 690,0 mil toneladas. Dicho crecimiento es originado por los tratados comerciales con EE. UU, Unión Europea y China, también, por la expansión progresiva de la superficie de cosecha, la cual creció al 9,6% y en 4,9% anual, debido a una mejora sucesiva de los rendimientos por hectárea. En el año 2014 el Perú se ubicó en el puesto 24 de 94 países que producen uva y el 4to en a nivel de América del Sur. Asimismo, ocupó el puesto 21 con respecto a la productividad por hectárea, alcanzando 21,498,1 kg/ha.

En el caso de esta investigación, evaluamos el caso puntual del departamento de La Libertad, ubicado en la zona norte del Perú, considerado la tercera región con mayor productividad y actividad transformativa de la uva (2019). La información de productividad recopilada data del año 2010 hasta el 2019 (Fig. 1), en donde se puede observar que también existe un notable crecimiento, con puntos de inflexión en los periodos del 2017 al 2018, su descenso fue originado por la afectación sufrida por el “Fenómeno del Niño Costero”, anomalía que tiene como característica un elevado incremento de lluvias, los cuales causaron impacto en la fertilidad de la producción, así como en la infraestructura de riego, principalmente en la zona de la costa norte del país.

La participación del Departamento de La Libertad frente al total de la producción nacional de uva representa para el año 2016 el 7,2%, para el 2018 el 9% y para el 2019 el 8,10%.

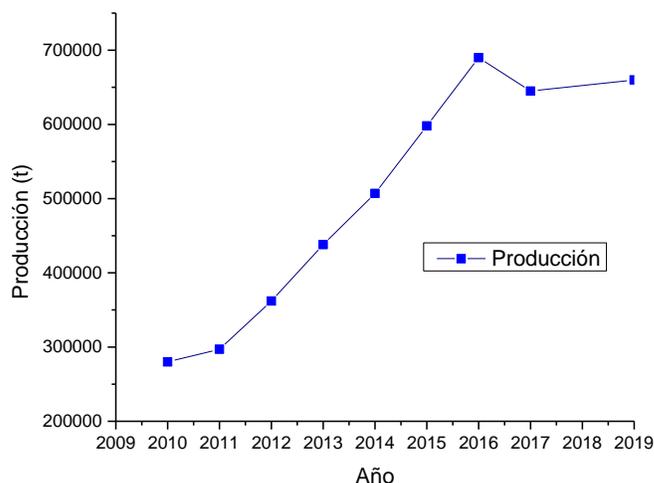


Fig. 1. Evolución de la producción de uva en el departamento de La Libertad, Perú.

En la Fig. 2 se muestra el desarrollo productivo del sembrío de uva en Perú, además del porcentaje vinculado al proceso de exportación y transformación, en esta última se hace énfasis en cuantificar la cantidad de residuos sólidos orgánicos que genera la industria vinculada a este fruto; es así como, para el año 2019 se ha tenido un total de 60.3 millones de toneladas, una cantidad bastante importante para que diversidad de normas medioambientales den énfasis en su buen procesamiento, sin embargo la realidad es otra, pasando a ser un agente contaminante y desaprovechando la reutilización de los metabolitos que contiene.

Para la cuantificación inicialmente se analizó la cantidad de producción total anual de uva, información prevista en el boletín del Ministerio de Agricultura del Perú, de este mismo se extrajeron datos como la cantidad total en miles de toneladas hasta el 2017. No obstante, para la cuantificación de residuos se tomaron datos al año 2019, puesto que no se encontró información actualizada de años previos.

Los residuos de uva están conformados de tallo, pepas y piel, sin embargo, en este último se encuentran los compuestos bioactivos que pueden usarse en la producción de nanopartículas metálicas, materia orgánica que corresponde a 30,1 mil toneladas anuales en el departamento de La Libertad.

En base a los resultados antes mencionados, se observa un muy buen potencial de residuos (orujo) que pueden tener diversidad de aplicaciones, el enfoque de esta investigación está dirigido a generar tecnología de alta precisión como lo es la nanotecnología, y de esta forma otorgarle una mejor valorización, a su vez sentar las bases para añadir este proceso dentro de una economía circular.

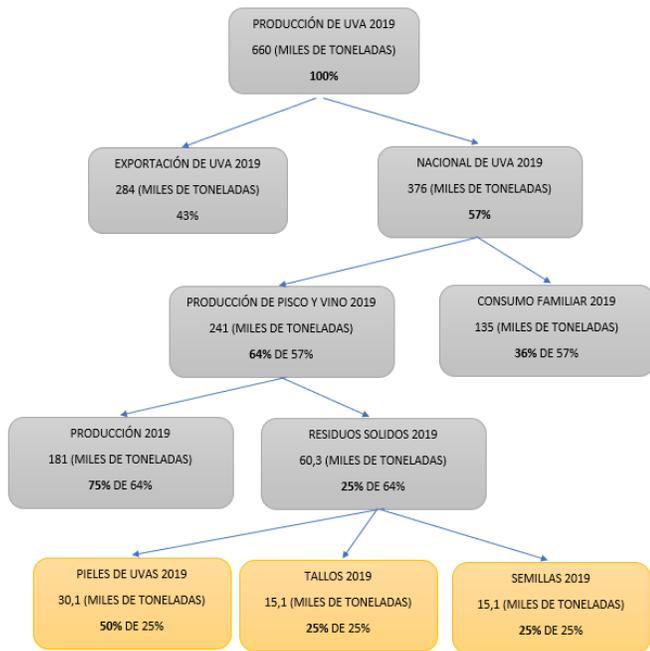


Fig. 2. Desarrollo del proceso productivo y transformativo de la uva en el departamento La Libertad (Perú), con énfasis en la cuantificación de residuos de uva (orujo).

Para la obtención del total de residuos agroindustriales (Figura 3), se empleó el porcentaje de participación correspondiente a la producción de la región en mención, y el porcentaje de residuos que genera la producción de pisco y vino (Figura 2).

El orujo representa una fuente rica en diversos productos de alto valor añadido como tartratos de etanol y malatos, ácido cítrico, aceite de semilla de uva, hidrocoloides y fibra dietética. Así mismo, los hollejos pueden servir como sustrato para la producción de pululano, un polisacárido importante industrialmente.

La economía circular de este producto genera beneficios a las distintas estructuras, crea una valorización, alarga los ciclos de vida y tiene un triple impacto social, ambiental y económico. Este, posee un carácter integrador, transversal, multidisciplinar y multisectorial. La agroindustria se configura como sector estratégico, ya que deberá responder al desafío de seguir produciendo alimentos sanos y saludables, en cantidad suficiente, de manera sostenible y mediante el uso eficiente de los recursos. La valorización de los recursos derivados de las cadenas de producción constituye la base de múltiples soluciones tecnológicas innovadoras para la obtención de nuevos recursos o productos y el desarrollo de nuevos procesos. La transición a una economía circular supone la introducción de cambios a lo largo de toda la cadena de valor, desde el diseño del producto hasta la logística inversa, pasando por la distribución y los servicios postventa. Ello implica un cambio de paradigma sistémico en la cadena de valor, caracterizado por la innovación transversal: en el producto y los procesos de

producción (tecnología), pero también en la estructura de la organización, en los sistemas de financiación, en la cooperación entre empresas, en las políticas estratégicas y en la sociedad.

El análisis de la cadena de valor en la economía circular es una cuestión fundamental puesto que todas las ventajas competitivas se encuentran en la cadena de valor y la estrategia se manifiesta en la forma en que las actividades de la cadena de valor se configuran y vinculan entre sí.

La economía circular redundante en la reducción e internalización de las externalidades negativas, en concreto a través de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de las consecuencias negativas de la extracción de materias primas; de la prevención de riesgos y mejora de la gestión de los recursos naturales; y de la mejora de la calidad y productividad.

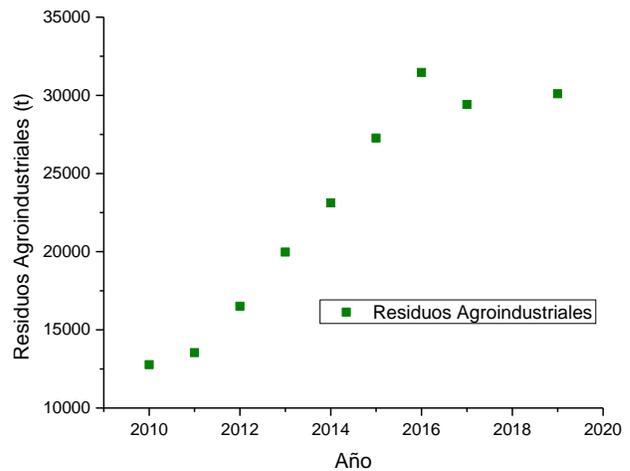


Fig. 3. Residuos agroindustriales en La Libertad

Tal y como se ha mencionado, existe un gran potencial en los residuos agroindustriales provenientes de la producción vinícola, específicamente los compuestos fenólicos presentes en la piel de uva, para ello en la Fig. 4 (Residuos orujo de uva) se muestra la caracterización por la técnica de FTIR (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier) que tiene como objetivo identificar las bandas de compuestos bioactivos, y así poder asegurar la existencia de moléculas que pueden actuar como potencial reductor de compuestos químicos aplicados a la síntesis de nanopartículas. Es así como en el espectro FTIR se observan bandas a 3314 cm<sup>-1</sup> y 3341 cm<sup>-1</sup> para el orujo de uva y su extracto en solvente alcohólico, valores que están relacionados con grupos hidroxilo, para precisar el primer valor corresponde a la función alcohol del metabolito secundario, y en el segundo a la función hidroxilo [17], también se ha identificado bandas en 2922 cm<sup>-1</sup> para ambos casos comparados, las cuales pertenecen a los estiramientos de -CH<sub>2</sub>- y -CH<sub>3</sub> el cual podría atribuirse a las uniones intermoleculares de la estructura química del extracto reductor y en el otro caso al etanol empleado [18]. Se encontró en el extracto alcohólico de uva una banda en 1713 cm<sup>-1</sup> que es la vibración de estiramiento de -C=O grupo carbonilo de la función cetona;

también se identificó en el extracto la presencia de una señal en  $1204\text{ cm}^{-1}$  la cual atañe a la flexión  $\text{-C-O}$  posiblemente del grupo fenol. Los resultados indican una serie de metabolitos que pueden tener diversidad de aplicaciones, en el caso específico de esta investigación se ha dirigido a aplicaciones en nanotecnología, una ciencia que permite el diseño y manipulación de cualquier de átomo y molécula.

Los procesos de síntesis de nanopartículas metálicas son variados, pasando a desarrollarse metodologías netamente químicas en donde hacen uso de agentes precursores con su respectivo agente reductor y estabilizante tales como citrato de sodio, borohidruro de sodio y ascorbatos [19]–[21], hasta los actualmente innovadores procesos más sostenibles llamado síntesis verde o biosíntesis, que tienen por objetivo reemplazar el agente reductor químico por algún extracto rico en metabolitos que permitan generar el mismo proceso de reducción y estabilización [22]–[24].

Es así como en esta investigación se ha extraído los metabolitos presentes en el orujo de uva usando solvente alcohólico de 96%, para su uso como agente reductor del precursor nitrato de plata, proceso que ha llevado consigo la obtención de material nanoestructurado de plata, esto mediante la reducción de los iones  $\text{Ag}^+$  que formen átomos  $\text{Ag}^0$ .

En la Fig. 4 (NP Ag biosíntesis) se muestra el espectro FTIR conjuntamente con los espectros del orujo (residuo) y extracto alcohólico, con el objetivo de determinar parcialmente el mecanismo de formación de nanopartículas de plata, es así como se puede observar la desaparición de la flexión del grupo fenol cuando se sintetizan las NP Ag, siendo este grupo el responsable de la reducción de la plata; las bandas a  $1566\text{ cm}^{-1}$  y  $1358\text{ cm}^{-1}$  son flexiones de  $\text{-N-O}$  de los grupos nitro; la banda a  $1035\text{ cm}^{-1}$  del extracto también es una flexión de  $\text{-C-O}$  y está relacionada con alcoholes primarios [17]. Con estos resultados, se considera que la capacidad reductora estuvo asociada con la presencia de metabolitos secundarios con grupos fenólicos presentes en el extracto alcohólico de residuos de uva, considerando que para extraer la mayor cantidad de compuestos fenólicos y antioxidantes es mejor hacerlo en medio alcohólico por su solubilidad.

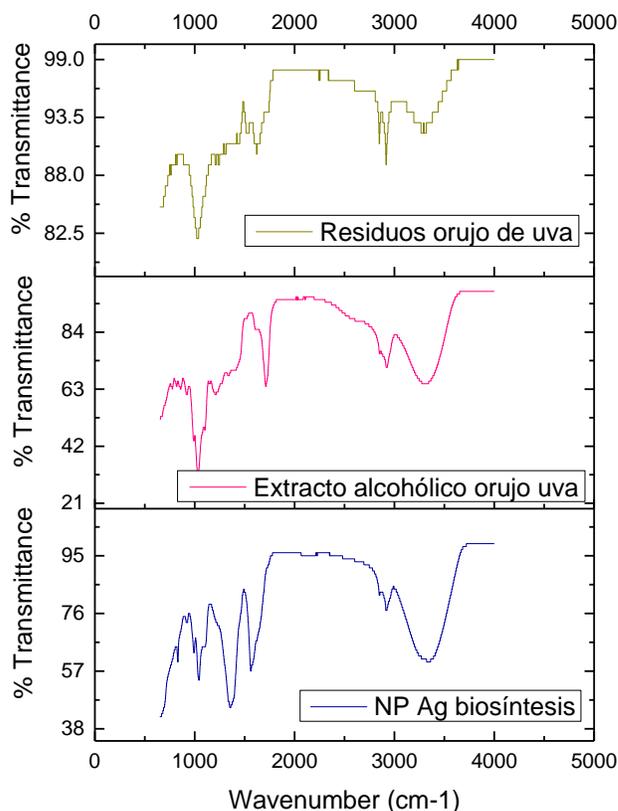


Fig. 4. Espectro de FTIR de muestras correspondientes al orujo de uva, extracto en solvente alcohólico 96% y las NP Ag.

En la Fig. 5, se evidencia la formación de nanopartículas de plata mediante la caracterización espectrofotométrica, esto debido a que dentro de las propiedades ópticas de la plata a tamaño nanométrico se nota la presencia del “pico de resonancia de plasmón superficial” (RPS) ubicado en el rango  $410\text{-}430\text{ nm}$ .

Asimismo, en los espectros se muestra la evolución del coloide NP Ag desde día cero (donde muestra un RPS alrededor de  $423.9\text{ nm}$ ), lo cual determina la formación de este tipo de nanoestructura, que va hasta el día 114, mostrando similarmente los mismos valores de RPS, lo que indica su alta estabilidad, no obstante en función al tiempo hay un incremento en su absorbancia, posiblemente relacionado a que el proceso de reducción del precursor fue incompleto y por ende al transcurrir el tiempo se fueron formando más nanoestructuras. En la tabla 1 se muestra la imagen SEM de las NP Ag obtenido por la ruta verde (biosíntesis), que muestra una geometría altamente definida y de tamaño promedio  $32\text{ nm}$  (SD  $6.32$ ).

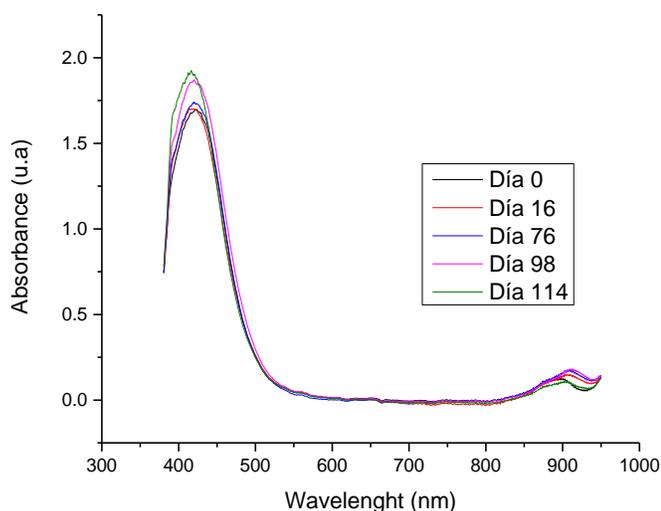


Fig. 5. Espectrofotometría del coloide NP Ag sintetizado con extracto en función al tiempo de reposo.

En la tabla 1, se presenta la comparativa de tamaño y forma de las NP Ag obtenidas por tres fuentes, eso permite demostrar parcialmente la eficiencia que posee el método de síntesis verde (biosíntesis) debido a que se ha logrado obtener forma y tamaño de nanopartícula idéntica a la metodología química y las que son de adquisición comercial (NP Ag, Merck). En el caso de las obtenidas por síntesis química se puede observar inclusive que los tamaños no son tan uniformes, lo que implica tener una alta polidispersidad; asimismo la forma en algunos casos no es geoméricamente definida. Respecto a las adquiridas comercialmente presentan una mejor configuración en su geometría y con un grado de monodispersidad mucho mejor que los otros dos casos mencionados; no obstante, las propiedades físicas que posee este tipo de nanoestructura están más vinculados a su geometría, estabilidad y uniformidad en tamaño, lo cual el método practicado en esta investigación asegura una correcta síntesis y potenciales aplicaciones [25].

Tabla 1. Cuadro comparativo de las procedencias del coloide NP Ag en función al tamaño y forma (SEM).

Procedencia	Tamaño de nanopartícula (nm)	Imagen SEM
Biosíntesis	30-40	
Síntesis Química	20.4	
Comercial	30	

La diferencia también gira en torno al costo del producto final: el coloide de NP Ag, es así como en la Fig. 6 se muestra a modo de análisis comparativo, los insumos usados para las metodologías (biosíntesis y síntesis química) y a su vez el costo del coloide comercial, todos en base al mismo volumen (25 mL). Cabe mencionar que el cálculo de los costos para los dos primeros métodos ha estado en base a la masa de los insumos, valorización de los equipos e instrumentos usados, costos energéticos y tiempo relacionado a la mano de obra, esto con el objetivo de estar íntimamente vinculado al formato de costo del coloide comercial. Definitivamente el uso de residuos agroindustriales disminuye enormemente los costos de producción de las NP Ag, esta diferencia respecto al caso comercial, además de ello considerando que sus estándares de calidad son bastantes idénticos, el método de síntesis química tiene un costo intermedio, sin embargo, posee contaminantes altamente nocivos.

Biosíntesis	Síntesis Química	Comercial
AgNO <sub>3</sub>	AgNO <sub>3</sub>	Nanopartículas
Extracto de Residuos de Uva	Citrato de Sodio	
Hidróxido Sodio	Agua Ultrapura	
Alcohol Comercial 96%		
Agua Ultrapura		
<b>23.58 USD</b>	<b>36.46 USD</b>	<b>149.7 USD</b>

Vol. Final = 25 mL coloide NP Ag

Fig. 6. Cuadro comparativo relativo a la evaluación de costos finales de producción por diversos métodos de NP Ag.

#### IV. CONCLUSIONES

La producción de uva a nivel mundial está teniendo un crecimiento acelerado, el departamento de La Libertad no es ajeno a ello, las estadísticas muestran que el 43% de la producción en la región antes mencionada es para exportación, y el 57% para el ámbito nacional, de todo ello el 64% está dirigido a su transformación en la industria vinícola el cual genera un aproximado de 60,300 toneladas anuales de residuos. Los resultados por FTIR muestran que la piel de uva posee compuestos bioactivos que actúan como potencial reductor de compuestos químicos. En ese sentido, la aplicación del extracto en solvente alcohólico de piel de uva (orujo) ha mostrado una excelente eficiencia en la síntesis verde de nanopartículas de plata (NP Ag), de alta estabilidad temporal y con tamaño de partícula entre 30-40 nm. Los costos de producción de esta metodología sostenible de síntesis tuvieron una reducción

aproximada de 84.24% respecto a estándares comerciales, y 35.32% respecto a la producción por la metodología química.

#### AGRADECIMIENTOS

El equipo de investigadores agradece al Dr. Raúl Siche, investigador de la Universidad Nacional de Trujillo, por el apoyo brindado con las caracterizaciones por FTIR. Asimismo, agradecemos a la Dirección de Investigación e Innovación de la Universidad Privada del Norte por el apoyo brindado.

#### REFERENCIAS

- [1] P. B. Pertuzatti *et al.*, “Vinification By-products and Their Phenolic Compounds,” *Am. J. Food Sci. Technol.*, vol. 3, no. 4A, pp. 18–23, 2015, doi: 10.12691/ajfst-3-4A-4.
- [2] P. M. Delgado and A. Florido Perez, “Obtención de nanopartículas de cobre a partir de extracto de raspo de uva - Memoria y Anexos Autor,” Universitat Politècnica de Catalunya, Jun. 2018. Accessed: Jan. 10, 2021. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/169034>.
- [3] J. A. D. Zurita, “PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESCUELA DE POSGRADO,” Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- [4] H. Korbekandi and S. Irvani, “Silver Nanoparticles,” in *The Delivery of Nanoparticles*, InTech, 2012.
- [5] D. Asmat-Campos *et al.*, “Influencia del tipo de solvente y pH para la extracción de compuestos reductores de residuos vinícolas en la producción de nanopartículas de plata,” in *Lacpei 2020, Industry, Innovation, And Infrastructure for Sustainable Cities and Communities*, 2020, no. July, pp. 29–31, doi: 10.18687/lacpei2020.1.1.91.
- [6] Acciona, “¿En qué consiste la economía circular?,” 2019. <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/> (accessed Jan. 11, 2021).
- [7] A. A. Hashim, *The Delivery of Nanoparticles*. InTech, 2012.
- [8] C. A. Ramos, J. Josep, and R. Rovira, “Síntesis de nanopartículas metálicas a partir de extractos de raspo de uva,” Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.
- [9] Z. X. Meng *et al.*, “Preparation and characterization of electrospun PLGA/gelatin nanofibers as a potential drug delivery system,” *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 84, no. 1, pp. 97–102, May 2011, doi: 10.1016/j.colsurfb.2010.12.022.
- [10] S. Kaviya, J. Santhanalakshmi, and B. Viswanathan, “Green synthesis of silver nanoparticles using Polyalthia longifolia leaf extract along with D-sorbitol: Study of antibacterial activity,” *Journal of Nanotechnology*. Hindawi Limited, 2011, doi: 10.1155/2011/152970.
- [11] S. Ahmed, Saifullah, M. Ahmad, B. L. Swami, and S. Ikram, “Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract,” *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.jrras.2015.06.006.
- [12] J. R. Ramos, “Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería,” Pontificia Universidad Católica del Perú, Jun. 2015. Accessed: Jan. 11, 2021. [Online]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6012>.
- [13] K. Aschberger, C. Micheletti, B. Sokull-Klüttgen, and F. M. Christensen, “Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health - Lessons learned from four case studies,” *Environ. Int.*, vol. 37, no. 6, pp. 1143–1156, 2011, doi: 10.1016/j.envint.2011.02.005.
- [14] O. Zarate, J. & Cárdenas, “Radiación solar, absorción y calentamiento terrestre – Cambio climático y planeta,” 2014. <https://climaytemperatura.wordpress.com/2014/06/08/radiacion-solar-absorcion-y-calentamiento-terrestre/> (accessed Jan. 11, 2021).
- [15] Y. Ping, J. Zhang, T. Xing, G. Chen, R. Tao, and K. H. Choo, “Green synthesis of silver nanoparticles using grape seed extract and their application for reductive catalysis of Direct Orange 26,” *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 58, pp. 74–79, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.jiec.2017.09.009.
- [16] S. Ahmed, M. Ahmad, B. L. Swami, and S. Ikram, “A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise,” *Journal of Advanced Research*, vol. 7, no. 1. Elsevier, pp. 17–28, Jan. 01, 2016, doi: 10.1016/j.jare.2015.02.007.
- [17] E. S. Han and A. goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, “CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA E ESPECTROSCÓPICA DE MICROCAPSULAS DE QUITOSANA INCORPORADA DE PRÓPOLIS,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [18] M. Mauricci and P. Gutierrez, “Atividades Antimicrobiana e Antioxidante da Própolis do Estado do Ceará,” *Rev. Fitos*, vol. 4, no. 1, pp. 81–86, 2013, Accessed: Jan. 11, 2021. [Online]. Available: <https://revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/88>.
- [19] S. H. Chaki, T. J. Malek, M. D. Chaudhary, J. P. Tailor, and M. P. Deshpande, “Magnetite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles synthesis by wet chemical reduction and their characterization,” *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 6, no. 3, p. 035009, Sep. 2015, doi:

10.1088/2043-6262/6/3/035009.

- [20] A. D. Nugraha, I. O. Wulandari, L. B. Hutami Rahayu, I. Riva'I, D. J. D. H. Santoyo, and A. Sabarudin, "One-pot Synthesis and Surface Modification of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Using Polyvinyl Alcohol by Coprecipitation and Ultrasonication Methods," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Feb. 2018, vol. 299, no. 1, p. 012066, doi: 10.1088/1757-899X/299/1/012066.
- [21] C. Ashokraja, M. Sakar, and S. Balakumar, "A perspective on the hemolytic activity of chemical and green-synthesized silver and silver oxide nanoparticles," *Mater. Res. Express*, vol. 4, no. 10, p. 105406, Oct. 2017, doi: 10.1088/2053-1591/aa90f2.
- [22] G. Tailor, B. L. Yadav, J. Chaudhary, M. Joshi, and C. Suvalka, "Green synthesis of silver nanoparticles using *Ocimum canum* and their anti-bacterial activity," *Biochem. Biophys. Reports*, vol. 24, p. 100848, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.bbrep.2020.100848.
- [23] J. K. Park *et al.*, "Synthesis of zinc oxide nanoparticles from *Gynostemma pentaphyllum* extracts and assessment of photocatalytic properties through malachite green dye decolorization under UV illumination-A green approach," *Optik (Stuttg.)*, p. 166249, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.166249.
- [24] A. Rana, K. Yadav, and S. Jagadevan, "A comprehensive review on green synthesis of nature-inspired metal nanoparticles: Mechanism, application and toxicity," *Journal of Cleaner Production*, vol. 272, Elsevier Ltd, p. 122880, Nov. 01, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122880.
- [25] D. Asmat-Campos, E. Bustamante-Marrufo, D. Pérez-Mauricci, A. Sánchez-Gonzales, J. Vásquez-Aniceto, and H. Robles-Castillo, "Evaluation of the antibacterial potential of micrometric and nanometric silver colloids adhered to clay filters," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, no. July, pp. 29–31, 2020, doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.139.