

# Biorefinería: un modelo de negocios de productos de alto valor agregado a partir de desechos agrícolas e industriales y promotora de desarrollo sustentable en el contexto de la bioeconomía

**Lourdes M. Orejuela Escobar**

lorejuela@usfq.edu.ec

Universidad San Francisco de Quito  
Quito - Ecuador

## Resumen

A nivel mundial, la industria tiene la necesidad cada vez mayor de reemplazar materias primas fósiles por renovables. Por otro lado, la generación de subproductos en grandes volúmenes en las agroindustrias provoca problemas ambientales. Estos dos factores han desarrollado la biorrefinería como posible solución. La biorrefinería integrada con múltiples procesos y productos, juega un rol central en el desarrollo sustentable y en la bioeconomía. En Ecuador, la materia prima renovable lo constituyen la biomasa residual, es decir, los subproductos generados por la industria cervecera, aceitera, bananera, cacaoera, cafetera, arrocería, exportación de rosas, etc. tanto en el campo durante la cosecha como en la planta industrial durante su procesamiento. La biomasa residual contiene componentes químicos valiosos, que son potenciales fuentes de bioenergía, biomateriales y bioproductos. Para dejar de exportar materias primas y exportar productos de alto valor agregado, es necesaria la investigación y desarrollo de nuevos procesos y productos, por lo tanto, las universidades juegan un rol central en este tema ya que se requieren equipos multidisciplinarios de trabajo que impulsen la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías amigables con el ambiente y con mercados propios que estimulen emprendimientos en las zonas rurales y urbanas y que dinamicen la bioeconomía. La biomasa requiere de pretratamientos para extraer los componentes químicos de la pared celular vegetal. En década pasada se han desarrollado

procesos químicos que usan reactivos menos tóxicos y son menos costosos. La última generación de solventes son los solventes eutécticos profundos, que no son volátiles, son selectivos, más amigables con el ambiente, más económicos y más fáciles de manipular. La agroindustria podría incorporar la biorrefinería en sus instalaciones. Se presentan tres casos de estudio: 1) tratamiento de residuos forestales con solventes eutécticos profundos para la obtención de biocombustibles y bioproductos; 2) obtención de nanocristales de celulosa a partir de subproductos de la extracción del aceite de palma; y 3) extracción de compuestos bioactivos (antioxidantes, antiinflamatorios y citotóxicos) de los residuos de aguacate; como ejemplos de biorrefinería con tecnología de punta adaptada a las necesidades rurales ecuatorianas y que sirvan para emprendimientos en las zonas rurales y urbanas para desarrollar la bioeconomía y mejoren la balanza comercial de las importaciones y exportaciones del Ecuador.

**Palabras clave:** Alto valor agregado, biorrefinería, desarrollo industrial sostenible, emprendimientos subproductos agroindustriales.

## Abstract

Globally, the industry has an increasing need to replace fossil raw materials with renewable ones. On the other hand, the generation of by-products in large volumes in agro industries causes environmental problems. These two factors has developed the biorefinery as a possible solution. The integrated biorefinery with multiple processes and products, plays a central role in sustainable development and in the bioeconomy. In Ecuador, the renewable raw material is the residual biomass, that is, the by-products generated by the beer, palm oil, banana, cocoa, coffee, rice, sugar cane industries, and so on, both in the field during harvest and in the industrial plant during processing. The residual biomass contains valuable chemical components, which are potential sources of bioenergy, biomaterials and bioproducts. To stop exporting raw materials and export products with high added value, it is necessary to research and develop new processes and products, therefore, universities play a central role in this issue since multidisciplinary work teams are needed to promote the innovation and development of new environmentally friendly technologies and with their own markets that encourage enterprises in rural and urban areas and that stimulate the bioeconomy.

Biomass requires pretreatments to extract the chemical components of the plant cell wall. In the past decade, chemical processes have been developed that use less toxic reagents and are less expensive. The last generation of solvents are deep eutectic solvents, which are non-volatile, selective, more environmentally friendly, more economical and easier to handle. The agroindustry could incorporate the biorefinery in its facilities. Three case studies are presented: 1) Treatment of forest residues with deep eutectic solvents to obtain biofuels and bioproducts; 2) Obtaining nanocellulose crystals from by-products of palm oil extraction; and 3) Extraction of bioactive compounds (antioxidants, anti-inflammatory and cytotoxic) of avocado residues; as examples of biorefinery technology that serve for entrepreneurship development in rural and urban areas and improve the trade balance of imports and exports.

## Introducción

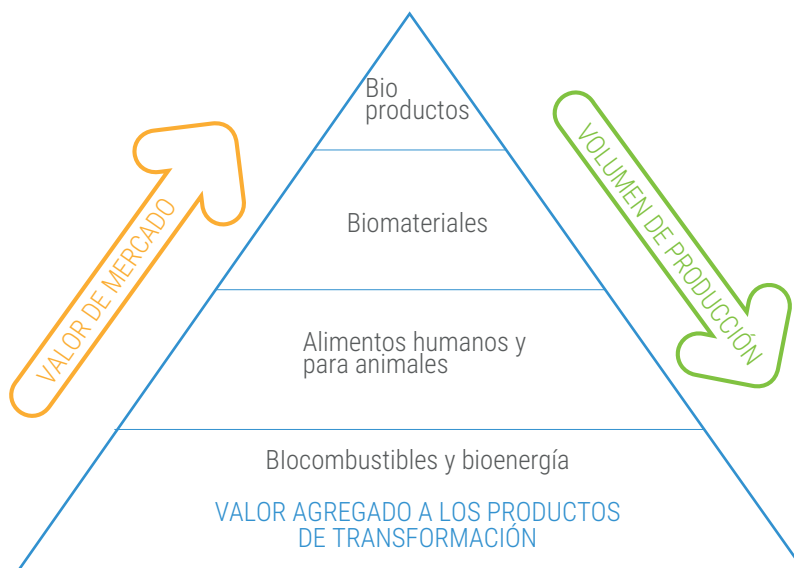
Ecuador es un país en vías de desarrollo con una pujante agroindustria que contrata mano de obra calificada y no calificada y que ha sido el motor de la economía no petrolera (Baquero & Lucio-Paredes, 2010). En el 2017, las exportaciones no petroleras fueron de 10.5% en valor FOB, según el Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones (Pro Ecuador); y, conforme el Banco Central del Ecuador el incremento en volumen fue de 7.5%. El Ministro de Industrias del actual gobierno manifestó que la meta es aportar con el 20% del producto interno bruto nacional hasta el 2020, en la Tercera Conferencia Global de Finanzas para la Biodiversidad (en abril de 2018). El propósito del gobierno nacional es generar bioemprendimientos y promover la bioindustria responsable con la naturaleza para cumplir con los objetivos del desarrollo sustentable hasta el año 2030. A este respecto, la inversión en investigación y desarrollo, y las universidades e institutos nacionales y privados de investigación juegan un papel relevante en la creación de biorrefinerías como modelos de negocios rentables.

Las industrias de mayor crecimiento son las que proveen banana y plátanos frescos (26.7% en valor FOB); aceite de palma (26.1% en valor FOB); acuicultura y pesca; rosas frescas cortadas y plantas (15.9%); cacao y elaborados; y, agroindustria. Para que la producción industrial nacional sea más competitiva requiere del desarrollo de nuevas tecnologías e innovación y nuevos bienes de consumo para satisfacer una sociedad en crecimiento que exige mejor calidad y productos que provengan de procesos más amigables con el ambiente (Encinck, 2018). Estas industrias generan residuos o subproductos en grandes volúmenes que se constituyen en un

problema ambiental y que por lo tanto es necesario desarrollar un uso eficiente de los mismos propendiendo a la tecnología “Cero residuos”. Por otro lado, la necesidad cada vez mayor de reemplazar materias primas fósiles por materiales renovables han llevado a establecer la biorrefinería como una respuesta integral para un desarrollo sustentable (Palmeros Parada, Osseweijer, & Posada Duque, 2017). De acuerdo a Hilbert J. del Instituto de Investigaciones Agropecuarias Argentinas (Hilbert, 2017), en relación a la transformación de la biomasa (Fig. 1), la bioenergía ocupa la base de la pirámide del volumen pero su valor agregado es el menor, mientras que los bioproductos como los nutracéuticos, medicamentos, etc. ocupan la cima de la pirámide ya que son necesarios en menor volumen pero su valor agregado es máximo. En Ecuador, el Centro Neotropical para la investigación de la biomasa de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador instaló en el 2013, una biorrefinería piloto para producir biocombustibles y otros productos a partir de desechos de tagua, de palma africana, de banano, y caña de azúcar. Su fin es desarrollar nuevos productos y procesos de desagregación tecnológica a través del proyecto RESETA (Recursos Sustentables para Producción de Etanol) (SENESCYT, 2014). Por otro lado, CIBE, el centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador, de la Escuela Politécnica Nacional ESPOL (CIBE, 2010), está desarrollando investigaciones en el área de obtención de bioproductos y su objetivo es buscar soluciones al sector agroindustrial introduciendo conceptos y tecnologías modernos. Así mismo, la Universidad San Francisco de Quito USFQ, a través del Instituto para el Desarrollo de Energías y Materiales Alternativos, adscrito al Departamento de Ingeniería Química promociona desde hace más de 10 años la utilización de residuos agrícolas para obtención de energías y productos químicos alternativos a través de sus

líneas de investigación: bioprocesos, biomateriales y procesos termo-químicos para la producción de biogás, producción de ácido láctico y ácido cítrico, materiales con aplicaciones biomédicas, y craqueo catalítico para conversión de aceites usados y plásticos en combustibles (Almeida, 2014). El uso de residuos agroindustriales para soluciones de ingeniería en tratamiento de aguas usando desechos agroindustriales como biofiltros y para obtener productos de alto valor agregado a partir de los subproductos agroindustriales están siendo desarrollados por el Grupo de Ciencias e Ingenierías Aplicadas GICAS, adscrito también al Departamento de Ingeniería Química del Colegio de Ciencias e Ingenierías de la USFQ. Todas estas iniciativas propenden al uso sostenible de la biodiversidad y al desarrollo de la bioeconomía en Ecuador.

Los principales componentes de la pared celular vegetal son la celulosa, hemicelulosa y lignina, además contiene otros componentes químicos valiosos como proteínas y pectinas que aisladas, purificadas y caracterizadas son fuente de biocombustibles, nutraceuticos, floculantes, coagulantes, emulsionantes, polímeros biodegradables, bioplásticos, colorantes, entre otros biomateriales y bioproductos (química fina) de alto valor agregado con aplicaciones en la industria química, farmacéutica, alimentos, cosméticos, perfumes, entre otras (Maity, 2015).



**Figura 1.** Valor agregado y volumen de productos en la conversión de biomasa.

**Fuente:** Hilbert, (2017).

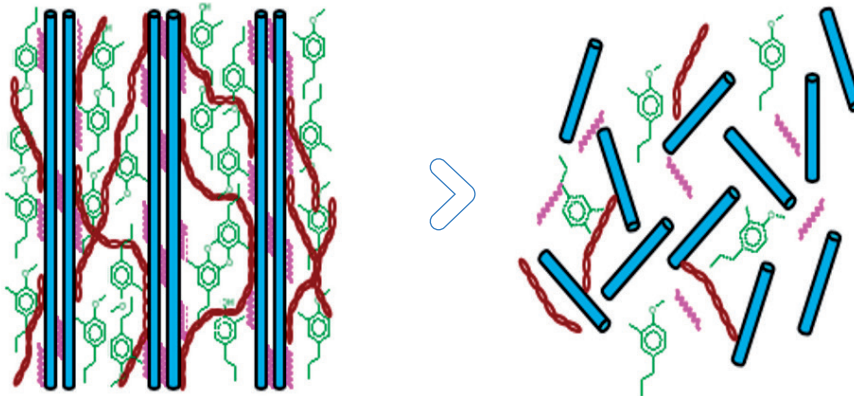
Por lo tanto, se convierte en materia prima renovable valiosa. Por esta razón, es urgente desarrollar tecnologías apropiadas para su obtención. De ahí que, las universidades juegan un papel preponderante ya que se requieren de profesionales competentes en Química, Biología, Microbiología, Biotecnología, Ingeniería Química, Bioingeniería y Ciencia de Materiales para que mediante la innovación desarrollen nuevas tecnologías (Fig. 2).

La biomasa lignocelulósica es una materia prima compleja por su estructura y composición química y requiere de procesos físicos y químicos para mejorar la accesibilidad a sus compo-

ponentes químicos. En la Fig. 3 se esquematiza la desconstrucción de la pared celular a la que tiene que ser sometida la biomasa para acceder a la celulosa, despolimerizarla en glucosa y luego fermentarla para la obtención de bioetanol. La biorrefinería es una ciencia que facilita la obtención de bioenergía y bioproductos. La Fig. 4 ilustra el fraccionamiento de la biomasa lignocelulósica en sus principales componentes. Los biopolímeros xilanos, mananos, arabinanos y galactanos pueden hidrolizarse enzimáticamente a azúcares fermentables y no fermentables. Los azúcares fermentables pueden ser usados para la obtención de bioetanol y constituyen también azúcares funcionales para nutracéuticos.



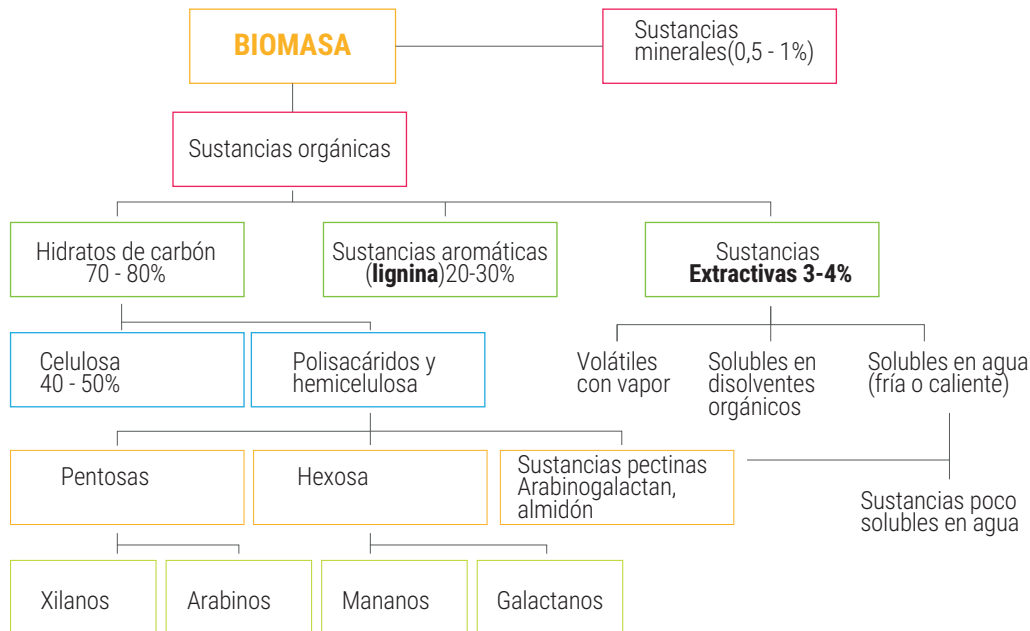
**Figura 2.** Ciencias e Ingenierías involucradas en el desarrollo de una biorrefinería integrada



**Figura 3.** Desconstrucción de la pared celular vegetal en sus componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina

Los primeros tratamientos a la biomasa fueron adaptaciones de la biomasa en la industria de pulpa y papel, es decir eran intensivos en el uso de agua y energía. En la última década se han desarrollado procesos emergentes físicos,

químicos y fisicoquímicos ("limpios") que superan los desafíos de procesos tradicionales reemplazando reactivos tóxicos que exigen manipulación cuidadosa y equipos costosos por solventes y reactivos más amigables con el ambiente.



**Figura 4.** Bioproductos a partir del fraccionamiento de la biomasa lignocelulósica:

A manera de ejemplos, se presenta 3 casos de estudio, usando diferentes tecnologías:

1. Pretratamiento para fraccionamiento de la pared celular de residuos forestales con solventes eutécticos profundos.

Zhao, Cheng, & Liu (2009) usaron solventes orgánicos (Organosolv) para fraccionar la biomasa en sus componentes y obtener mediante enzimas azúcares fermentables para producir bioalcohol, un combustible líquido usado para transporte. Los solventes orgánicos son tóxicos, volátiles y costosos por lo que los líquidos iónicos surgieron como una alternativa de baja volatilidad, pero no son económicos (Brandt et al., 2011). La última generación de solventes son los llamados solventes verdes como la glicerina y los solventes eutécticos profundos (SEPs) (De Oliveira Vigier, Chatel, & Jerome, 2015), que no son volátiles, son selectivos, biodegradables, más económicos y más fáciles de manipular. Con esta tecnología se pueden tratar residuos de alimentos (desechos de manzanas, cáscaras de papa, residuos de café y afrecho de cebada cervecero) (Procentese et al., 2018) o residuos forestales (Orejuela, 2017) para la obtención de bioetanol y compuestos fenólicos.

2. Obtención de nanocristales de celulosa

A partir de los desechos de fibra del mesocarpio de la palma aceitera o palma africana (Souza et al., 2016).

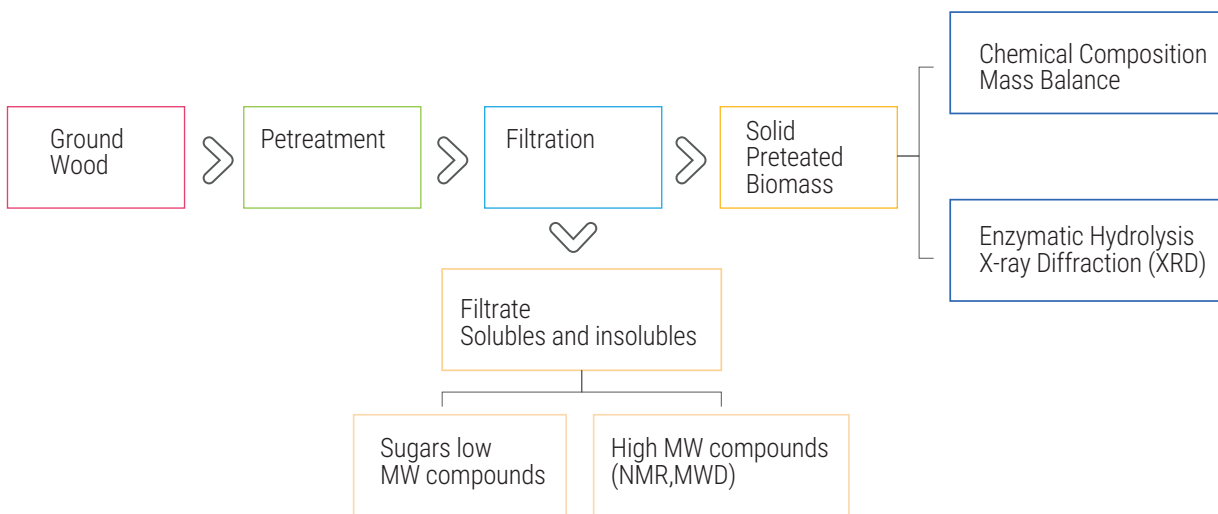
3. Extracción de Compuestos Bioactivos (antioxidantes, antiinflamatorios y citotóxicos) de los residuos de aguacate

Especialmente de la piel y de las semillas de la variedad Hass (Melgar et al., 2018). De esta manera, la valorización de los residuos es posible gracias a la tecnología desarrollada para la obtención de bioproductos y biomateriales con valor agregado que permitan emprendimientos como modelos de negocios tanto en zonas rurales alrededor de las agroindustrias como en los centros urbanos donde la colaboración entre la academia y los institutos de investigación públicos y privados fomente la iniciativa privada.

## Métodos y materiales

Deconstrucción de la Pared Celular de la Biomasa con Solventes Eutécticos Profundos (SEPs) y de residuos agroindustriales y de la industria de alimentos para obtención de biocombustibles y biomateriales

En el caso de tratamiento de madera o residuos forestales, se siguió el proceso descrito en el diagrama de flujo de la Fig. 5 y se utilizó madera latifoliada molida de chicle dulce (*Liquidambar styraciflua*) de Estados Unidos.



**Figura 5.** Diagrama de flujo del pretratamiento de biomasa lignocelulósica (Orejuela, 2017)

Se determinó la composición química de la madera nativa y pretratada bajo los protocolos NREL y el balance de masa del fraccionamiento; se realizó el análisis de digestibilidad (azúcares liberados durante la hidrólisis enzimática) y los efectos del pretratamiento en la estructura de los biopolímeros aislados. La mezcla de madera molida y SEP de cloruro de colina: glicerol (1:2) fue sometida a calentamiento a 150°C durante 2 horas en un baño de aceite. El producto resultante fue filtrado al vacío y las fibras tratadas fueron lavadas con agua destilada y etanol. El filtrado fue centrifugado y las ligninas precipitadas fueron aisladas, liofilizadas y pesadas para la determinación del balance de masa. Su caracterización se realizó mediante resonancia magnética nuclear RMN y su peso molecular se determinó mediante cromatografía de permeación de gel. En el sobrenadante se detectó la presencia de compuestos de bajo peso molecular resultante de la despolimerización de la lignina, como el ácido vanílico y el aldehído siríngico. Se realizó también la hidrólisis enzimática de la madera tratada y no tratada para determinar la efectividad del pretratamiento y comprobar el in-

cremento de la accesibilidad a la celulosa y la liberación de la glucosa. Adicionalmente, se determinó la cristalinidad de la celulosa mediante cristalografía de rayos X (Orejuela, 2017).

Los residuos de la agroindustria y de la industria de alimentos en Europa, particularmente las cascara de papa, la película plateada de café, los residuos de manzana, y el afrecho de cebada cervecero fueron tratados con SEPs cloruro de colina:glicerina y cloruro de colina:etilenglicol para obtener azúcares fermentables para producción de bioetanol, se usaron proporciones de solvente diferentes y temperaturas entre 60°C y 150°C, durante 3 horas.

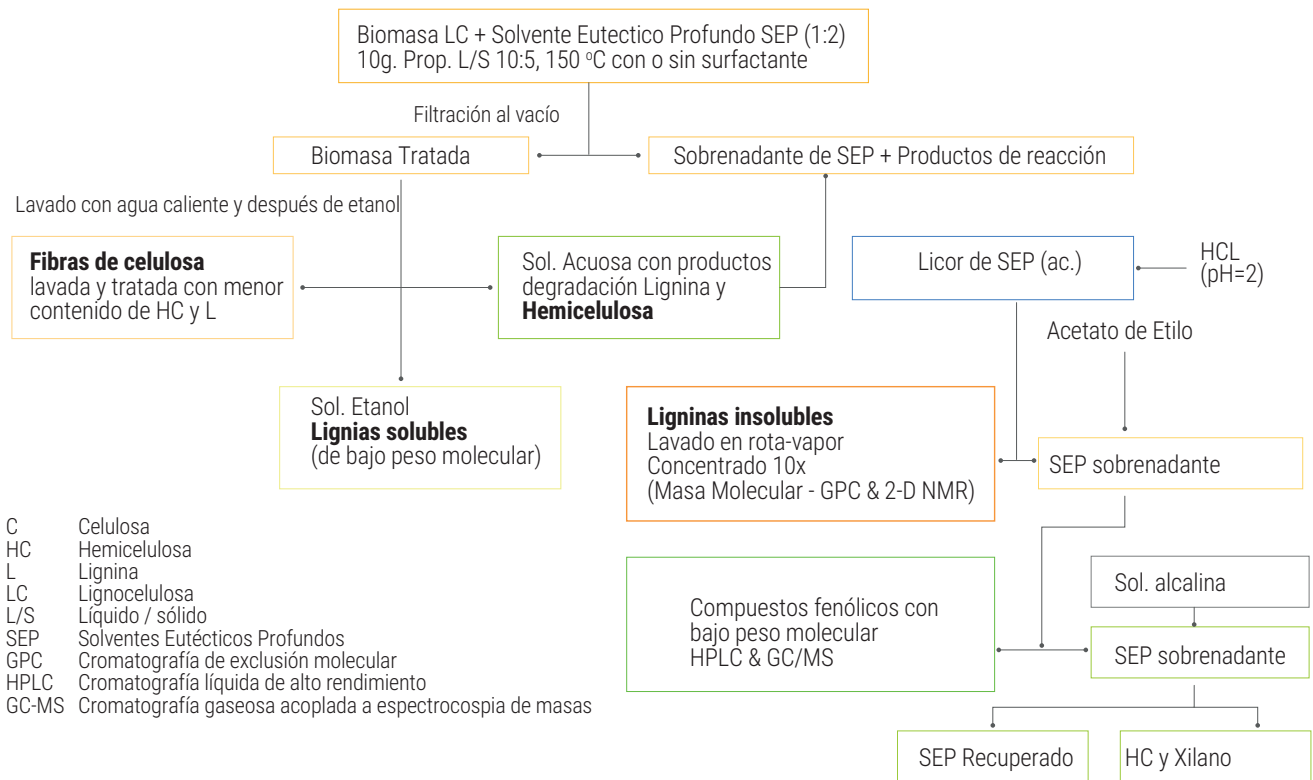
### **Obtención de celulosa a partir de los desechos de fibra del mesocarpio de la palma aceitera o palma africana**

Souza et al. (Souza et al., 2016) usaron el tratamiento acetosolov para pulpaje (Benar & Schuchardt, 1994) con las fibras del mesocarpio del fruto de la palma aceitera para obtener pulpa de celulosa. Una vez obtenida la pulpa blanqueada se procedió a obtener celulosa nanocristalina,



celulosa microfibrilada y lignina. El pretratamiento acetosolv siguió el protocolo desarrollado por Benar and Schuchardt (Benar & Schuchardt, 1994): una mezcla de ácido acético y ácido clorhídrico preparada según el protocolo fue añadida a una muestra de 10 g de fibras de mesocarpio secas, a 115°C y presión atmosférica durante 3 horas con reflujo. Los productos de la reacción fueron filtrados. La pulpa se blanqueó con una solución de peróxido de hidrógeno y NaOH. La pulpa blanqueada se dividió en dos partes, una parte fue convertida a nanocelulosa mediante hidrólisis con ácido sulfúrico según el protocolo de Cranston y Gray (Cranston & Gray, 2006) y la otra parte de pulpa blanqueada sin secar fue sometida

a microfluidización a alta presión (2500 psi) para obtención de nanocelulosa microfibrilada. Para la caracterización de la celulosa así obtenida se utilizaron técnicas de electromicroscopio de barrido SEM, cristalografía de rayos X, cromatografía de permeación con gel, FT-IR, y análisis de transición vítrea TGA de acuerdo a las normas TAPPI. La lignina fue concentrada a partir del licor negro, luego fue caracterizada, observando los protocolos TAPPI. Este es un ejemplo de la tecnología de fraccionamiento de biomasa lignocelulósica que puede ser implementada en Ecuador también, siguiendo el esquema general que se detalla en la figura 6.



**Figura 6.** Diagrama general de fraccionamiento de la pared celular de la biomasa lignocelulósica para separación de los tres biopolímeros estructurales: celulosa, hemicelulosa y lignina

## Compuestos antioxidantes y antiinflamatorios de los residuos de aguacate

Melgar, et al. (2018) realizaron la extracción de compuestos fenólicos de los residuos de aguacate, con el objetivo de incluir estos como antioxidantes naturales y reemplazar a los sintéticos en los alimentos funcionales. A los aguacates comprados en un mercado de Portugal se les retiró la piel (exocarpio) y se separó la pulpa (mesocarpio) de la semilla (endocarpio). La piel y las semillas fueron liofilizadas y luego sometidas a una doble extracción con una solución agua:etanol (20:80 V/V) durante una hora, bajo agitación constante. Los sobrenadantes se mezclaron y filtraron, el solvente fue evaporado en un rotavapor. La caracterización se realizó con cromatografía líquida acoplada a espectroscopia de masas HPLC MS/MS o HPLC-DAD. La identificación se efectuó mediante espectrofotometría UV-Vis con estándares de compuestos fenólicos o con datos de la literatura. Para la cuantificación se prepararon curvas de calibración de los estándares fenólicos. Fueron determinadas las actividades antioxidantes (DPPH, poder reductor entre otros), antimicrobianas (para las cuales se usaron cuatro tipos de bacterias Gram positivas: *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Micrococcus flavus*, y *Listeria monocytogenes*. Cuatro bacterias Gram negativas: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, y *Enterobacter cloacae*), para los ensayos antifúngicas se emplearon siete tipos de hongos: *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Penicillium ochrochloron*, *Penicillium verrucosum* var. *cyclopium* y *Trichoderma viride*. Se determinaron las concentraciones mínimas inhibitorias bacterianas (MIC) y fúngicas (MFC). Se usaron estreptomycin, ampicilina, ketoconazol y bifonazol como controles positivos.

## Resultados y discusión

### Deconstrucción de la Pared Celular de la Biomasa con Solventes Eutécticos Profundos (SEPs) y de residuos agroindustriales y de la industria de alimentos

Los SEPs son mezclas de ciertos compuestos químicos que tienen la propiedad de ser donadores y aceptores de hidrógeno cuyo punto de fusión es menor que el de sus componentes (eutéctico). Permiten la disolución selectiva de los biopolímeros, aumentando el área superficial de la celulosa y la porosidad de la pared celular. Los SEPs con cloruro de colina (vitamina B) y glicerol son empleados para fraccionamiento de biomasa residual de palma africana, maíz, arroz, cebada, trigo, madera, etc., y extracción de productos naturales de alto valor agregado (fitoquímicos). Los productos de este tratamiento son: 1) fibras de celulosa con bajo contenido de hemicelulosa y lignina y más accesible a las enzimas, 2) azúcares C5 y C6 (xilosa, manosa, arabinosa y galactosa) provenientes de la hemicelulosa, después de la hidrólisis enzimática con un y 3) ligninas de bajo y alto peso molecular y compuestos fenólicos de bajo peso molecular (Orejuela, 2017). El efecto del pretratamiento en la biomasa fue monitoreado mediante la pérdida de peso, el análisis de la composición química mediante cromatografía iónica de la biomasa antes y después del pretratamiento y por el balance de masa. Como subproductos se encontraron ácido acético y los llamados huminos, que son productos de la degradación de los azúcares.

En el caso de residuos agroindustriales, se determinó el contenido de glucano, xilano, arabinano y ligninas siguiendo los protocolos NREL. Los mejores resultados se obtuvieron para el afrecho de cebada cervecero y las condiciones

óptimas de operación fueron: proporción del solvente cloruro de colina:glicerina 1:16, 115oC durante 3 horas. Un análisis comparativo del tratamiento con los SEPs cloruro de colina: glicerina y cloruro de colina: etilenglicol, a 150oC se exhibe en la Tabla 1. ES indispensable recalcar que para la biomasa lignocelulosica de chicle dulce, el SEP cloruro de colina: glicerina remueve totalmente los polisacáridos arabinano, galactano y manano de la matriz lignocelulosica, por lo que las fibras tratadas presentaron un contenido menor de hemicelulosas. Estos compuestos químicos sean polímeros, oligómeros o monómeros (azúcares: xilosa, manosa, galactosa y arabinosa) pueden ser recuperados del filtrado y caracterizados analíticamente para ser utilizados como nutracéuticos, azúcares para personas diabéticas o para personas con problemas de riñón.

Actualmente se está conduciendo experimentos de fraccionamiento de la pared celular con tallos de rosas de exportación, afrecho de cebada cervecero, raquis de palma aceitera y subproductos de aguacate en los laboratorios de la Universidad San Francisco de Quito. Se espera tener resultados preliminares muy pronto, especialmente en rendimientos de separación de biopolímeros de la matriz lignocelulósica y en la extracción de polifenoles con capacidad antioxidante de la semilla de aguacate de las variedades Hass y fuerte, que son las de mayor consumo a nivel nacional.

Biomasa	Solvente Eutectico Profundo	Proporción Sólido / Solvente	Biomasa Recuperada (%)	Composición química de la biomasa				Ligninas		Referencia
				Glucano (%)	Xilano (%)	Arabinano (%)	Manano (%)	Galactano (%)	AIL	
Cáscaras de papa	CIC: glicerina	1:16	52.0	51.0	ND	ND	ND	20.4	1.9	
	CIC: etilenglicol	1:16	52.0	49.0	ND	ND	ND	21.5	1.9	
Película plateada de café	CIC: glicerina	1:16	60.0	32.0	1.3	ND	ND	19.4	1.5	Procentense et al., 2018
	CIC: etilenglicol	1:16	54.0	27.0	1.5	ND	ND	20.0	1.9	
Residuos de manzana	CIC: glicerina	1:16	50.0	35.0	6.0	ND	ND	6.4	0.9	
	CIC: etilenglicol	1:16	50.0	33.8	6.5	ND	ND	7.4	0.9	
Afecho de cebada cervicero	CIC: glicerina	1:16	52.0	27.0	8.5	ND	ND	10.4	0.6	
	CIC: etilenglicol	1:16	52.0	24.0	8.9	ND	ND	12.5	0.8	
Residuos de madera latifo liada chicle dulce (USA)	CIC: glicerina	1:10	76.0	51.0	20.0	0.0	0.0	20.0	3.0	Orejuela, L. 2017

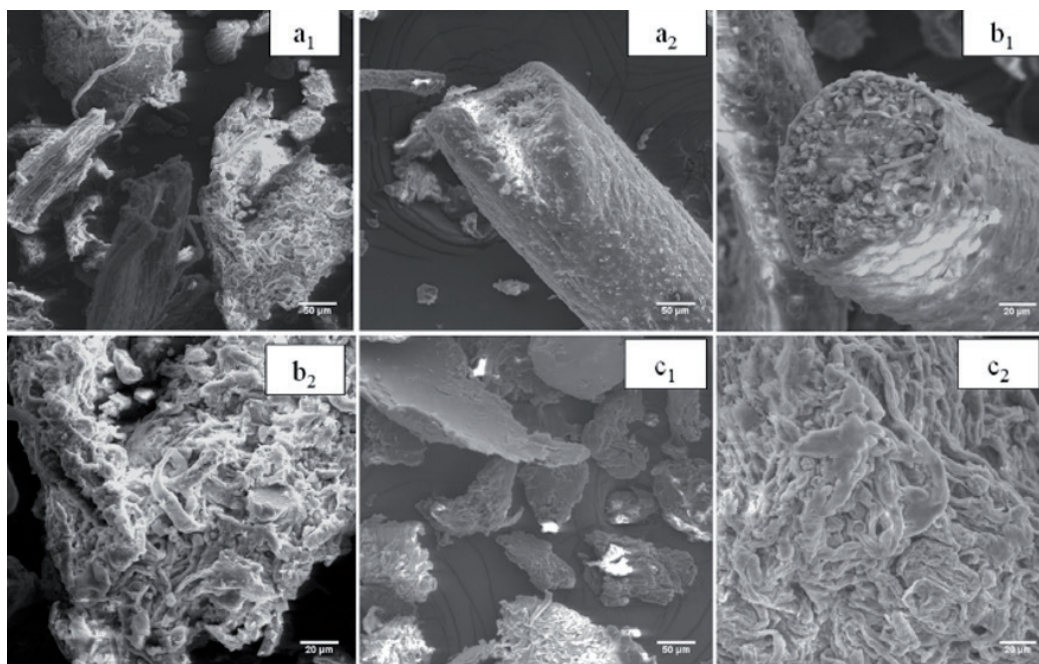
CIC = cloruro de colina

**Tabla 1.** Composición química de la biomasa tratada con SEPs y recuperada

### Obtención de nanocristales de celulosa a partir de los desechos de fibra del mesocarpio de la palma aceitera o palma africana

Los resultados obtenidos en este estudio demostraron una alta remoción de la lignina y el incremento de la celulosa en la pared celular vegetal, indicando un exitoso pretratamiento. El análisis SEM también demostró que el blanqueamiento eliminó los restos de hemicelulosa y lignina no removidos en el pretratamiento. La nanocelulosa obtenida fue sometida a análisis SEM para observar los cambios en la estructura de la misma, los resultados se pueden observar en la Fig. 7 tomada de la referencia Souza et al., (2016), demostrando que la estructura de la fibra cambió con el pretratamiento, el mayor cambio se observa con el blanqueamiento de la pulpa. Los cristales de nanocelulosa mostraron una longitud de 289 nm y un diámetro de 11 nm.

Esta tecnología demuestra que los subproductos de la extracción de aceite del fruto de la palma africana pueden ser transformados a bioproductos de alto valor agregado como la nanocelulosa, celulosa microfibrilada y ligninas. Estos productos pueden tener aplicaciones en la industria de pulpa y papel, empaques, textiles, empaques, resinas para adhesivos, etc. y que podrían dar lugar a emprendimientos tanto para la recolección de subproductos de las plantas extractoras que generalmente están ubicadas en zonas rurales, estas industrias generalmente ocupan mano de obra no calificada y calificada para el manejo de equipos en la etapa de procesamiento y mercadeo de los mismos.



**Figura 7.** Análisis SEM de las fibras prensadas de mesocarpio de palma aceitera:  $a_1$  = área superficial,  $a_2$  = área trasversal de la fibra nativa;  $b_1$  = área superficial,  $b_2$  = área trasversal de la fibra pretratada con acetosol; y,  $c_1$  = área superficial y  $c_2$  = área trasversal de la fibra blanqueada. Tomada de la referencia Souza et al., (2016)

## **Compuestos antioxidantes y antiinflamatorios de los residuos de aguacate**

Se identificaron veinte y nueve compuestos fenólicos, entre los cuales se destacan 14 flavan-3-oles derivados de epicatequina; nueve flavonoides derivados de quercetina, kaemferol, y glicósidos de isorhamnetina; y 6 ácidos fenólicos derivados del ácido clorogénico y cumárico. Aunque los perfiles fenólicos de la piel del aguacate es diferente del perfil fenólico de las semillas, los principales compuestos encontrados son los derivados de epicatequina. En relación a la actividad antioxidante, de los 29 compuestos fenólicos identificados y cuantificados, veintitrés fueron encontrados en la piel del aguacate mientras que solo seis fueron encontrados en la semilla. La piel del aguacate tiene tres veces más fenólicos que la semilla, y estos resultados están en concordancia con resultados previamente reportados (Kosińska et al., 2012; Rodríguez-Carpena, Morcuende, Andrade, Kylli, & Estévez, 2011; Tremocoldi et al., 2018). En relación a la actividad antimicrobiana, es conocido que los flavonoides sintetizados por las plantas son la respuesta a ataques bacterianos, los resultados obtenidos en este estudio confirman aquellos ya reportados que se encuentran en la literatura (Melgar et al., 2017). Esto significa que la piel y la semilla de aguacate podrían ser una fuente natural para obtener antioxidantes y antimicrobianos que puedan ser incluidos en los alimentos funcionales reemplazando a los antioxidantes sintéticos utilizados en la actualidad.

## **Conclusiones**

### **Deconstrucción de la Pared Celular de la Biomasa con Solventes Eutécticos Profundos (SEPs)**

Los resultados reportados en Europa y USA para la remoción de hemicelulosas y ligninas con SEPs de cloruro de colina: glicerina son promotores e impulsan la investigación en residuos agroindustriales de nuestro país, especialmente de los productos de exportación no tradicionales. Los SEPs son fáciles de preparar, son biodegradables y son baratos, pueden ser aplicados con tecnología de ultrasonidos, microonda y térmica. La caracterización de los bioproductos requiere de instrumentación analítica que por el momento no está disponible en nuestro país por lo que se requiere aunar esfuerzo entre la academia y los institutos de investigación privados y públicos para desarrollar esta tecnología. Su aplicación viabiliza la bio y agrorefinería, los SEPs en Ecuador y la posibilidad de emprendimientos en áreas rurales y urbanas.

### **Obtención de nanocristales de celulosa, celulosa microfibrilada y lignina a partir de los desechos de fibra del mesocarpio de la palma aceitera o palma africana en la extracción de aceite rojo de palma**

La valorización de los subproductos de la agroindustria, específicamente los de la extracción de aceite de palma abren un camino para su uso eficiente y para diversificar la obtención de productos con alto valor agregado como lo son la celulosa nanocristalina, la celulosa nanofibrilada y ligninas con potenciales aplicaciones en la producción de grandes industrias como la papelera, empaques y textiles y biomateriales en el caso de las celulosas; y, bioplásticos, adhesivos, etc. que impulsarían emprendimientos para mejorar la balanza comercial ecuatoriana.

### **Compuestos antioxidantes y antiinflamatorios de los residuos de aguacate**

La obtención de productos farmacéuticos y

de química fina con alto valor agregado a partir de residuos agroindustriales es posible gracias a la extracción "verde" de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y antibacterianas. Hay que realizar y profundizar estudios en los subproductos no solo del aguacate sino de otras frutas como la pitahaya, la chirimoya, la piña, el mango, el cacao; así como también de las tusas de maíz negro, los licores del lavado de la quinoa, extracción de los carotenos del aceite rojo de palma, entre otros residuos de la industria de alimentos.

En términos generales, al incorporar la bio-refinería en sus instalaciones, la agroindustria

generaría trabajo en el campo y en la ciudad y la balanza comercial se mejoraría al exportar productos de mayor valor agregado gracias a la generación de bioemprendimientos y bionegocios. La ruta hacia la bioeconomía y el desarrollo sustentable depende de tres actores principales el gobierno y sus políticas de desarrollo que incentiven la inversión en innovación e investigación y desarrollo, la academia para la investigación científica y tecnológica y la visión y decisión del sector industrial para la producción de energía y productos en base tecnológica y valor agregado (Aguilar, Wohlgemuth, & Twardowski, 2017; Dupont-Inglis & Borg, 2017).

## Referencias bibliográficas

- Aguilar, A., Wohlgemuth, R., & Twardowski, T. (2018). "Perspectives on bioeconomy: Elsevier". *New Biotechnology* Volume 40, Part A, 25, pp. 181-184
- Almeida, D. (2014). *Líneas de investigación: Instituto para el Desarrollo de Energías y Materiales Alternativos - Colegio de Ciencias e Ingeniería* Recuperado de [https://www.usfq.edu.ec/programas\\_academicos/colejos/politecnico/institutos/ladea/Paginas/investigacion.aspx](https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colejos/politecnico/institutos/ladea/Paginas/investigacion.aspx)
- Baquero, M., & Lucio-Paredes, A. (2010). "La Agroindustria ecuatoriana: un sector importante que requiere de una ley que promueva su desarrollo". *LA GRAN-JA. Revista de Ciencias de la Vida* 2010 11 (1).
- Benar, P., & Schuchardt, U. (1994). "Eucalyptus acetosolv pulping-optimization of the cooking conditions and characterization of the pulp and lignin" En Yawalata (1994) *Cellulose Chemistry and Technology*. Ottawa: The University of British Columbia.
- Brandt, A., Ray, M. J., To, T. Q., Leak, D. J., Murphy, R. J., & Welton, T. (2011). "Ionic liquid pretreatment of lignocellulosic biomass with ionic liquid-water mixtures". *Green Chemistry*, 13(9), 2489-2499. doi:10.1039/c1gc15374a
- CIBE. (2010). *Centro de Investigaciones de la Biodiversidad*. Recuperado de <http://www.cibe.espol.edu.ec/cibe>
- Cranston, E. D., & Gray, D. G. (2006). "Morphological and optical characterization of polyelectrolyte multilayers incorporating nanocrystalline cellulose". *Biomacromolecules*, 7(9), 2522-2530.
- De Oliveira Vigier, K., Chatel, G., & Jerome, F. (2015). "Contribution of Deep Eutectic Solvents for Biomass Processing: Opportunities, Challenges, and Limitations". *ChemInform*, 46(26).
- Dupont-Inglis, J., & Borg, A. (2017). "Destination bioeconomy—The path towards a

- smarter, more sustainable future". *New Biotechnology*, pp. 140-143.
- Encinck, M. G. (2018). *Crece el mercado de productos naturales por un publico que paga mas por mayor calidad*. Recuperado de <https://www.cronista.com/negocios/Crece-el-mercado-de-productos-naturales-por-un-publico-que-paga-mas-por-mayor-calidad-20170815-0030.html>
- Hilbert, J. (2017). "Impactos Socioeconomicos en la producción de bioenergía". En H. J. a. S. Galligani (Ed.), *Impactos Socioeconomicos en la producción de bioenergía*: INTA 2015.
- Kosińska, A., Karamać, M., Estrella, I., Hernández, T., Bartolomé, B. a., & Dykes, G. A. (2012). "Phenolic compound profiles and antioxidant capacity of *Persea americana* Mill. peels and seeds of two varieties". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(18), 4613-4619.
- Maity, S. K. (2015). "Opportunities, recent trends and challenges of integrated bio-refinery: Part I". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *43*, 1427-1445. doi:10.1016/j.rser.2014.11.092
- Melgar, B., Dias, M. I., Ciric, A., Sokovic, M., Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D., Ferreira, I. (2017). "By-product recovery of *Opuntia* spp. peels: Beta-lainic and phenolic profiles and bioactive properties". *Industrial Crops and Products*, *107*, 353-359.
- Melgar, B., Dias, M. I., Ciric, A., Sokovic, M., Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D. Ferreira, I. C. R. F. (2018). "Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants". *Industrial Crops and Products*, *111*, 212-218. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.024>
- Orejuela, L. M. (2017). *Lignocellulose deconstruction using glyceline and a chelator-mediated Fenton system*. (PhD Thesis), Virginia Tech.
- Palmeros Parada, M., Osseweijer, P., & Posada Duque, J. A. (2017). "Sustainable bio-refineries, an analysis of practices for incorporating sustainability in biorefinery design". *Industrial Crops and Products*. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.052>
- Procentese, A., Raganati, F., Olivieri, G., Russo, M. E., Rehmann, L., & Marzocchella, A. (2018). Deep Eutectic Solvents pretreatment of agro-industrial food waste. *Biotechnology for Biofuels*, *11*, 1-1. Doi:10.1186/s13068-018-1034-y
- Rodríguez-Carpena, J.-G., Morcuende, D., Andrade, M.-J., Kylli, P., & Estévez, M. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(10), pp. 5625-5635.
- SENESCYT. (2014). El Ecuador produce el primer gel de nanocelulosa a partir de la tagua. *Boletín de Prensa No. 170*. Recuperado de <https://www.educacionsuperior.gob.ec/ecuador-produce-el-primer-gel-de-nanocelulosa-a-partir-de-la-tagua/>
- Souza, N. F., Pinheiro, J. A., Brigida, A. I. S., Morais, J. P. S., de Souza, M. D. M., & Rosa, M. D. (2016). "Fibrous residues of palm oil as a source of green chemical building blocks". *Industrial Crops and Products*, *94*, 480-489. Doi:10.1016/j.indcrop.2016.09.012
- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P. L., Franchin, M., Massarioli, A. P., Denny, C., Daiuto, É. R., Alencar, S. M. d. (2018). "Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds". *Plos One*, *13*(2), 1-12. Doi:10.1371/journal.pone.0192577
- Zhao, X., Cheng, K., & Liu, D. (2009). "Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis". *Applied Microbiology and Biotechnology*, *82*(5), 815.