

Bioeconomía para la diversificación productiva y la agregación de valor

Biorrefinerías de residuos
en cadenas agroindustriales
en el Ecuador

Lourdes M. Orejuela-Escobar
Adrián G. Rodríguez



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



www.cepal.org/es/publicaciones/apps

SERIE

RECURSOS NATURALES

225

Bioeconomía para la diversificación productiva y la agregación de valor

Biorrefinerías de residuos en
cadenas agroindustriales
en el Ecuador

Lourdes M. Orejuela-Escobar
Adrián G. Rodríguez



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Este documento fue preparado por Lourdes M. Orejuela-Escobar, Consultora de la Unidad de Desarrollo Agrícola de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), bajo la dirección de Adrián G. Rodríguez, Jefe de dicha Unidad, en el marco de las actividades del proyecto "Reactivación transformadora: superando las consecuencias de la pandemia de COVID-19 en América Latina y el Caribe", ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania. El proyecto forma parte del programa de cooperación CEPAL-BMZ/GIZ.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos a sitios web externos incluidos en esta publicación.

No deberá entenderse que existe adhesión de las Naciones Unidas o los países que representan a empresas, productos o servicios comerciales mencionados en esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas
ISSN: 2664-4541 (versión electrónica)
ISSN: 2664-4525 (versión impresa)
LC/TS.2024/130
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2024
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.2400917[S]

Esta publicación debe citarse como: L. M. Orejuela-Escobar y A. G. Rodríguez, "Bioeconomía para la diversificación productiva y la agregación de valor: biorrefinerías de residuos en cadenas agroindustriales en el Ecuador", *serie Recursos Naturales y Desarrollo*, N° 225 (LC/TS.2024/130), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2024.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. La bioeconomía avanzada	11
A. Qué entendemos por una bioeconomía avanzada	11
B. Conceptos relacionados con la bioeconomía avanzada	12
1. Emulación de la naturaleza	12
2. Valorización y agregación de valor	13
3. Biorrefinerías y simbiosis industrial	16
C. Bioeconomía circular	16
1. La estrategia de “cerrar el círculo” y el desarrollo sostenible	16
2. Integración de la bioeconomía circular y biorrefinería con la bioeconomía avanzada y la simbiosis industrial	18
3. Integración de los biorresiduos en la cadena de suministro de productos químicos – cerrando el ciclo hacia una economía circular	19
II. Hacia una bioeconomía avanzada y sostenible en el Ecuador	23
A. Marco regulatorio	23
B. Capacidades en investigación y desarrollo	24
1. Sector académico	24
2. Sector gubernamental	25
3. Sector privado	25
C. Oportunidades para el desarrollo de bioeconomía avanzada en el Ecuador	26
1. Un país mega biodiverso	26
2. Un sector agroexportador afín al desarrollo de la bioeconomía avanzada	27
3. Acuerdo político sobre necesidad de diversificar la matriz productiva y energética	28
4. Promoción del crecimiento económico incorporando tecnologías de vanguardia	29

5.	Desarrollo de comunidades rurales, mejoramiento de ingresos e incremento en la calidad de vida	29
D.	Desafíos	30
1.	Desafíos tecnológicos.....	30
2.	Desafíos económicos, de financiamiento e inversión	31
3.	Desafíos ambientales	31
4.	Desafíos legales, institucionales y sociales.....	31
III.	El enfoque de biorrefinerías.....	33
A.	Biorrefinerías multipropósito y bioindustrias	33
B.	Diferentes tipos de biomasa y biomasa residual	34
1.	Biomasa lignocelulósica	34
2.	Biomasa animal.....	36
3.	Biomasa microalgal y macroalgal de agua dulce y marina.....	36
4.	Biomasa acuícola y/o de la pesca	37
5.	Microorganismos.....	37
C.	Criterios para la identificación, caracterización y selección de iniciativas de biorrefinería	37
D.	Identificación y caracterización de iniciativas relevantes de bioeconomía avanzada	41
1.	Industria camaronera	41
2.	Industria bananera	41
3.	Industria de la palma aceitera	42
4.	Industria del cacao.....	42
5.	Industria de la tagua	42
6.	Producción de bioenergía	43
7.	Producción de bioinsumos agrícolas	43
8.	Industrias química y de alimentos	44
9.	Aplicaciones biomédicas	44
E.	Biorrefinería en cascada multiproducto e integrada para la producción de biocombustibles	45
F.	Consideraciones de sostenibilidad	46
IV.	Iniciativas de biorrefinerías en cadenas de valor promisorias y potencial escalamiento	49
A.	Biorrefinería en la cadena del banano (<i>Musa sp.</i>).....	49
1.	Oportunidades	49
2.	Barreras para el escalamiento de las iniciativas productivas en el sector bananero.....	52
B.	Biorrefinería en la cadena del cacao (<i>Theobroma cacao</i>).....	56
1.	Oportunidades	56
2.	Barreras y necesidades en la industria del cacao	59
C.	Biorrefinería en la cadena del arroz (<i>Oriza sativa</i>).....	61
1.	Oportunidades	61
2.	Necesidades, barreras y oportunidades en la valorización de subproductos y residuos de la industria del arroz del Ecuador.....	63
D.	Biorrefinería en la cadena de la palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i>).....	67
1.	Oportunidades	67
2.	Necesidades, barreras, y oportunidades en la valorización de subproductos y residuos de la industria de la palma en el Ecuador	70
E.	Biorrefinería en la cadena de la tagua (<i>Phytelephas aequatorialis</i>).....	73
1.	Oportunidades	73
2.	Necesidades, barreras y oportunidades en la valorización de subproductos y residuos de la industria de la tagua en Ecuador	76
F.	Barreras en el escalamiento de la producción de biocombustibles y bioproductos avanzados mediante un enfoque de biorrefinería	78

V. Conclusiones y recomendaciones	79
A. Conclusiones	79
B. Recomendaciones	80
Bibliografía	83
Anexo A1	93
Cuadros	
Cuadro 1	Mapa de ruta para la obtención de productos de alto valor agregado a partir de la biodiversidad, biomasa cultivada y biomasa residual 14
Cuadro 2	Ecuador: Materia prima originaria y de segunda generación de las industrias que generan mayores volúmenes de biomasa residual 35
Cuadro 3	Identificación de necesidades/barreras y oportunidades en la industria del banano 53
Cuadro 4	Identificación de necesidades/barreras/oportunidades que enfrentan los productores de cacao 60
Cuadro 5	Identificación de necesidades/barreras y oportunidades en la industria arrocera y sus subproductos y residuos en Ecuador 63
Cuadro 6	Identificación de necesidades/barreras y oportunidades en la industria de la palma africana y sus subproductos y residuos en Ecuador..... 70
Diagramas	
Diagrama 1	Biodiversidad, biomasa y biomasa residual a bioenergía, bioproductos y biomateriales avanzados emulando el ciclo biológico..... 12
Diagrama 2	Valor de mercado, volúmenes de producción y niveles de protección en la conversión y transformación de la biodiversidad, biomasa y bioresiduos en la bioeconomía avanzada 15
Diagrama 3	Bioeconomía avanzada en sinergia con el desarrollo tecnológico y socioeconómico sostenible 16
Diagrama 4	El concepto de bioeconomía circular..... 17
Diagrama 5	Bioeconomía circular e ingeniería circular, hacia un desarrollo sostenible 18
Diagrama 6	Cadena de valor del uso eficiente de la biodiversidad, biomasa y biomasa residual en una bioeconomía avanzada 19
Diagrama 7	Integración de los bioresiduos a la cadena de suministro de productos químicos: hacia una economía articulada con la bioeconomía avanzada 20
Diagrama 8	Flujo de la biorrefinería en cascada integrada y multiproducto para la obtención de biocombustibles, bioproductos y biomateriales 34
Diagrama 9	Niveles de maduración tecnológica..... 40
Diagrama 10	Niveles de madurez de manufactura..... 40
Diagrama 11	Comparación entre los niveles de maduración de manufactura y los niveles de maduración de tecnología 41
Diagrama 12	Deconstrucción de la pared celular mediante técnicas y tecnologías eco-amigables y sostenibles 46
Diagrama 13	Biorrefinería en cascada de residuos y subproductos de la industria bananera 50
Diagrama 14	Cadenas de valor de la bioeconomía de la industria bananera 51
Diagrama 15	Productos de la industria bananera y sus sectores de aplicación..... 52

Diagrama 16	Biorrefinería en cascada de residuos y subproductos de la industrialización de Theobroma cacao	57
Diagrama 17	Cadenas de valor en de la bioeconomía de la industria del cacao.....	58
Diagrama 18	Productos de la industria cacaotera y sus sectores de aplicación	59
Diagrama 19	Biorrefinería en cascada y bioeconomía avanzada de la industria arrocerera.....	61
Diagrama 20	Cadenas de valor de la bioeconomía de la industria del arroz	62
Diagrama 21	Biorrefinería en cascada y bioeconomía avanzada de la industria de la palma africana y sus subproductos y residuos y sus aplicaciones en salud, industria y ambiente	68
Diagrama 22	Cadenas de valor de la bioeconomía de la palma africana	69
Diagrama 23	Biorrefinería y bioeconomía avanzada de los residuos y subproductos de la tagua	74
Diagrama 24	Cadenas de valor de la bioeconomía de la industria de tagua	75

Resumen

El documento tiene como objetivo identificar oportunidades y barreras y proponer recomendaciones para escalar iniciativas innovadoras de bioeconomía avanzada que contribuyan a un desarrollo productivo sostenible e inclusivo en el Ecuador. Se destacan cinco oportunidades: i) Ecuador como país megadiverso, ii) la existencia de un sector agroexportador afín al desarrollo de la bioeconomía, iii) el acuerdo político que existe en el país sobre la necesidad de diversificar las matrices productiva y energética, iv) la promoción del crecimiento económico incorporando tecnologías de vanguardia, y v) el desarrollo de las comunidades rurales. Se subraya la pertinencia del enfoque de biorrefinerías multicomponentes (bioeconomía circular) para avanzar en el desarrollo de una bioeconomía de alto valor agregado en el Ecuador, a partir de diferentes tipos de biomasa (incluyendo biomasa residual). Se proponen criterios para la selección de iniciativas productivas de alto impacto y con potencial de escalamiento y a partir de ello se identifican opciones en cadenas de valor agroindustriales promisorias, en el marco de la Estrategia Nacional de Bioeconomía Sostenible del Ecuador 2024-2033. Las cadenas de valor recomendadas son la industria del banano (*Musa sp.*), la industria del cacao (*Theobroma cacao*), la industria del arroz (*Oriza sativa*), la palma africana (*Elaeis guineensis*); y la tagua (*Phytelephas aequatorialis*). En cada caso se destacan las oportunidades y las barreras a superar para el escalamiento de iniciativas productivas.

Introducción

La CEPAL reconoce que frente a los cambios en el escenario global causados por la pandemia y a las exigencias en materia de sostenibilidad la región debe impulsar una profunda transformación de sus estructuras productivas. Bajo esa premisa se desarrolló el Proyecto "Reactivación transformadora: superando las consecuencias de la pandemia de Covid-19 en América Latina y el Caribe (LAC)", en el marco del cual se ejecutó el subproyecto "Innovación en bioeconomía en actividades de alto valor agregado para el cambio estructural y una reactivación transformadora".

En el presente documento se recogen los principales resultados del estudio realizado en el marco de ese subproyecto, como parte de las actividades de cooperación técnica con el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP) del Ecuador, para promover el desarrollo de una bioeconomía de alto valor agregado que contribuya al desarrollo productivo sostenible e inclusivo.

El documento está organizado en cinco capítulos. En el capítulo I se discute qué se entiende por una bioeconomía de productos de alto valor agregado, llamada también bioeconomía avanzada, se presentan conceptos relacionados con ella, se exploran sus vínculos con la economía circular, y se desarrolla el concepto de biorrefinerías multicomponentes (bioeconomía circular), a partir de la biodiversidad y de diferentes tipos de biomasa (incluyendo biomasa residual); por ejemplo, biomasa lignocelulósica, biomasa animal, biomasa microalgal y macroalgal de agua dulce y marina, biomasa acuícola y/o de la pesca, y microorganismos.

En el capítulo II se discuten perspectivas para el desarrollo de una bioeconomía de alto valor agregado en el Ecuador. Se identifican capacidades y restricciones relacionadas con la investigación, desarrollo e innovación; se destacan oportunidades, asociadas al hecho de que el Ecuador es país megadiverso, que existe un sector agroexportador afín al desarrollo de la bioeconomía, que hay acuerdo político en el país sobre la necesidad de diversificar las matrices productiva y energética, a la posibilidad de promover el crecimiento económico incorporando tecnologías de vanguardia, y al potencial para el desarrollo de las comunidades rurales; y se identifican desafíos técnicos y tecnológicos, económicos, de financiamiento e inversión, ambientales y legales, institucionales y sociales.

En el capítulo III se presentan conceptos relacionados con el enfoque de biorrefinerías, se proponen criterios para la selección para la selección, caracterización e identificación de iniciativas relevantes, y se caracteriza el potencial de la biorrefinería en cascada de las industrias ecuatorianas con potencial para desarrollar una bioeconomía de alto valor agregado.

En el capítulo IV se identifican iniciativas productivas con cadenas de valor promisorias y potencial de escalamiento en el marco de la Estrategia Nacional de Bioeconomía Sostenible del Ecuador 2024-2033. Las cadenas de valor recomendadas son la industria del banano (*Musa sp.*), la industria del cacao (*Theobroma cacao*), la industria del arroz (*Oryza sativa*), la palma africana (*Elaeis guineensis*); y la tagua (*Phytelephas aequatorialis*). En cada caso se destacan las oportunidades y las barreras a superar para el escalamiento de iniciativas productivas.

Finalmente, en el capítulo V se presentan algunas conclusiones y recomendaciones. Se destaca que el uso sostenible de la biodiversidad, biomasa y biomasa residual “en cascada”, mediante modelos de biorrefinería permite incrementar la eficiencia en el uso de la biomasa, disminuir la demanda por materiales frescos (que son alimento humano o animal) —o que son fuente de materia prima para otras actividades económicas—; crear un valor añadido tangible; y generar fuentes de trabajo a nivel local, sobre todo en las áreas rurales. Se recomienda para ello, entre otros, el fortalecimiento integral de la investigación, desarrollo, e innovación, por ejemplo, mediante la puesta en valor de una red de centros de transferencia de tecnología y hubs de innovación tecnológica a nivel nacional.

I. La bioeconomía avanzada

A. Qué entendemos por una bioeconomía avanzada

Existe un creciente consenso internacional que permite caracterizar a la bioeconomía como la producción, utilización, conservación, regeneración, y reproducción de recursos, procesos y principios biológicos —incluidos los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados con ellos— para proporcionar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, con el propósito de avanzar hacia una economía sostenible e inclusiva (IACGB, 2020; FAO, 2021; CEPAL 2022).

Dependiendo de los niveles de diversificación productiva, valor agregado, e incorporación de conocimientos y tecnologías avanzadas se identifican tres categorías de bioeconomía (CEPAL, 2020):

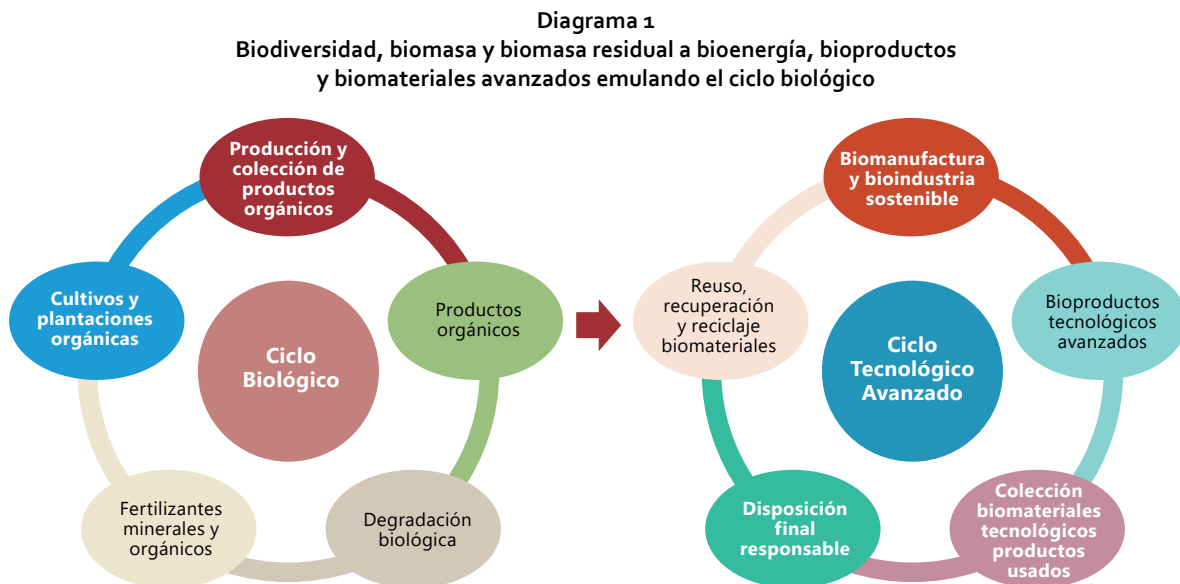
- i) **Bioeconomía básica (BEB).** Abarca los sectores primarios de cultivos, ganadería, silvicultura, y acuicultura, así como las actividades agroindustriales. Son sectores en los que se producen y aprovechan distintos tipos de biomasa para la producción de materias primas (raw materials) (p. ej., madera, bambú, ratán, corcho, caucho natural), productos agrícolas que tradicionalmente son exportados a granel (commodities) (p. ej., café en grano, azúcar, aceite de palma, banano, cacao en grano, entre otros) y fibras naturales (p. ej., algodón, yute, seda, lino, cáñamo). La principal característica de la bioeconomía básica es la producción con poca o ninguna transformación.
- ii) **Bioeconomía de transformación (BET).** Abarca los sectores manufactureros en los que se procesan productos originados en la bioeconomía básica. Esto incluye la industrias de la madera, pulpa y papel, alimentos para animales, alimentos para humanos, textil y de vestuario, y la industria del tabaco.
- iii) **Bioeconomía avanzada (BEA).** La característica principal de la bioeconomía avanzada es la aplicación de conocimientos y tecnologías modernas (incluyendo su aplicación para potenciar conocimientos tradicionales) para el desarrollo de nuevos productos (o que sustituyen productos de base fósil) y cadenas de alto valor agregado. Ello puede incluir: el uso sostenible de la biodiversidad y sus elementos; la utilización de biomásas primarias no convencionales (p. ej., algas) y microorganismos; la valorización de biomásas secundarias mediante procesos de biorrefinería (p. ej., para producir biomateriales,

biopolímeros); y la aplicación del conocimiento sobre principios y procesos biológicos (p. ej., en biorremediación, biodiseño, biomonitorio). Ejemplos de productos son las proteínas alternativas, la bioenergía, los fertilizantes naturales, los compuestos químicos orgánicos, productos biocosméticos, cosmeceúticos, y biofarmacéuticos, biopelículas para filtros o para empaques y embalajes, nanopolímeros y nanomateriales para formar materiales compuestos para aplicaciones en biomedicina, alimentos funcionales, materiales avanzados para almacenar energía o para electrónicos flexibles, entre otros.

B. Conceptos relacionados con la bioeconomía avanzada

1. Emulación de la naturaleza

Los recursos biológicos en nuestro planeta no están distribuidos equitativamente y en la actualidad su industrialización genera un gran volumen de residuos que a menudo permanecen en el ambiente causando contaminación. La bioeconomía intenta valorizar estos recursos residuales renovables emulando el ciclo biológico (ver diagrama 1), es decir, el ciclo tecnológico de la economía avanzada emula el ciclo biológico: producción orgánica—colección de productos orgánicos—distribución de productos orgánicos—degradación biológica—materiales y compuestos químicos resultantes de degradación biológica, que se convierten en fertilizantes que mejoran el suelo para un nuevo cultivo orgánico. De la misma manera, un proceso tecnológico en bioeconomía circular y avanzada inicia su ciclo con la materia prima de segunda generación (residuos forestales, agrícolas, agroindustriales y urbanos y productos de reuso o reciclaje) como materia prima para la biomanufactura y bioindustria sostenible, mediante procesos verdes y circulares se obtienen biomateriales tecnológicos con propiedades mejoradas (avanzados), que se distribuyen en los mercados locales, regionales, nacionales e internacionales, una vez que se usan se recogen y se someten a una disposición final responsable. En esta gestión se vuelven a disponer de productos para reusar, reciclar, recuperar biomateriales y/o sus componentes.



Fuente: Elaboración propia.

Un concepto relacionado con la emulación de la naturaleza es el de biomimetismo. Vincent et al., (2006) destacan la evolución de concepto, primero planteado por Otto Schmitt en los años cincuenta, como la transferencia de ideas y análogos de la biología a la tecnología, hasta inclusión del término en el diccionario Webster, en 1974, que la define como "El estudio de la formación, estructura o función de sustancias y materiales producidos biológicamente (como enzimas o seda) y mecanismos y procesos biológicos (como síntesis de proteínas o fotosíntesis) especialmente con el propósito de sintetizar productos similares mediante mecanismos artificiales que imitan los naturales (Vincent et al., 2006, p. 471). El concepto ha sido impulsado por Janine Benyus, que ha definido la biomimética como innovación sostenible inspirada por la naturaleza (Benyus, 1997). Las aplicaciones del biomimetismo incluyen ámbitos como el diseño arquitectónico (e.g. control de temperatura, iluminación), la reducción del desperdicio y la transformación de desechos en productos útiles, la biorremediación y el tratamiento de desechos, el desarrollo de nuevos materiales, el diseño de vehículos más aerodinámicos, el desarrollo de procesos de auto-ensamblaje, el uso del CO₂ como materia prima, la fotosíntesis artificial, la captura de agua, la degradación paulatina, y el diseño de sistemas de transporte y de comunicación y de procesos de detección y respuesta, entre muchos otros¹.

2. Valorización y agregación de valor

Una cadena de valor es un conjunto de actividades interrelacionadas que entregan productos/servicios agregando valor a la materia prima. En una cadena de valor de base biológica, las materias primas pueden ser biomasa proveniente de una ruta de producción primaria, como puede ser de la agricultura, silvicultura, y ganadería; o de una nueva, por ejemplo microalgas; o de origen secundario, tales como los residuos orgánicos agroindustriales o domésticos, aguas residuales industriales, lodos, entre otros (Lokesh et al., 2018).

En el ámbito de la bioeconomía circular, para la agregación de valor es fundamental enfocarse en tres aspectos clave: la disponibilidad de la materia prima, la estrategia, las tecnologías y las aplicaciones comerciales (Brandão et al., 2021). Para la bioeconomía avanzada o de productos de alto valor agregado, en el cuadro 1 se describe el mapa de ruta a desarrollarse a partir de los distintos tipos de biomasa considerando las tecnologías avanzadas eco amigables, y el tiempo que toma el desarrollo de productos comercialmente viables, que se inicia con la investigación científica.

Las actividades pueden desarrollarse a corto (hasta un año), mediano (entre uno y cinco años), o largo plazo (más de cinco años). Las actividades a corto plazo incluyen el disponer de la materia prima, iniciar la investigación en el laboratorio, adquirir equipos, reactivos, software necesario para lograr los objetivos de la investigación. Las actividades a mediano plazo abarcan el escalamiento de procesos para producción a mayor escala, iniciar procesos de registro de propiedad intelectual, así como iniciar el desarrollo de estudios de mercado de los nuevos productos y procesos nuevos. Las actividades a largo plazo incluyen la obtención de registros sanitarios, búsqueda de nichos de mercado claves para los nuevos productos/servicios, fijación de precios de venta, promoción de los nuevos productos/servicios demostrando aplicaciones comerciales sostenibles según las necesidades detectadas en el mercado y satisfacción de las expectativas de los consumidores. Tres elementos son importantes para el trazado de un mapa de ruta: disponibilidad de materia prima, estrategias y tecnologías apropiadas y finalmente las aplicaciones comerciales (cuadro 1).

¹ Véase, por ejemplo, la conferencia de Janine Benyus sobre ideas de diseño sostenible basadas en la naturaleza, Monterrey, California, febrero 2005 (<https://www.youtube.com/watch?v=n77BfxnVlyc>) y la Charla TED sobre la biomimética en acción, Oxford, Inglaterra, julio 2009 (https://www.youtube.com/watch?v=k_GFq12w5WU).

Cuadro 1
Mapa de ruta para la obtención de productos de alto valor agregado a partir
de la biodiversidad, biomasa cultivada y biomasa residual

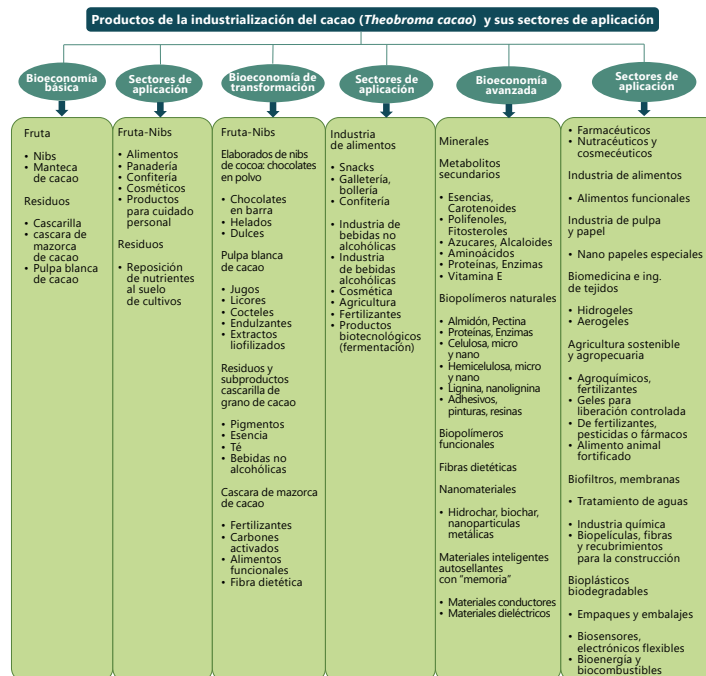
	Corto Plazo (0-1 año)	Mediano Plazo (1-5 años)	Largo Plazo (más de 5 años)
Disponibilidad de materia prima	Biodiversidad		
	Frutas, vegetales, raíces, tubérculos, animales, peces, vida marina, microorganismos		
	Biomasa		
	Cultivos forestales y silvicultura Cultivos agrícolas alimenticios - Cereales, oleaginosas, - leguminosas, frutales, ornamentales, medicinales Cultivos de complementos alimenticios - Cultivos energéticos - Ricos en azúcares - Ricos en almidones - Ricos en aceite - Ricos en lignocelulosa		
	Biomasa residual		
	Residuos forestales - Troncos y madera latifoliada y conífera, chips de madera, aserrín, ramas, cortezas, hojas, acículas Residuos agrícolas/agroindustriales - Raíces, cáscaras, ramas, hojas, semillas, cuercos, nueces, cascarillas Residuos orgánicos urbanos - Cáscaras, semillas, raquis, afrechos, materiales de construcción (vigas, tablas, tablones)		
Estrategias y Tecnologías	Investigación en Laboratorio		
	Uso de tecnologías establecidas o emergentes	Derechos de Propiedad Industrial y Patentes	
	Físicas	Escalado	
	Biológicas		
	Biotecnológicas	Plantas piloto, plantas semi-industriales	
	Físico-químicas	y desarrollo industrial	
	Químicas		
	Combinadas		
Aplicaciones Comerciales	Explotación de aplicaciones en diferentes áreas - Introducción al mercado (autorizaciones, registros sanitarios, lanzamiento del producto)		
	Explotación de segmentos de mercado de productos biobasados - Bioproductos al granel y productos intermedios en bulk - Biocombustibles y Bioenergía - Bioplásticos y Biomateriales - Bioproductos y aditivos alimenticios - Bioalimentos para animales - Biosurfactantes - Biolubricantes		
		Consolidación del Mercado Los bioproductos cumplen con las expectativas de los consumidores y de la sociedad	

La investigación en el laboratorio puede tomar hasta cinco años, implica seleccionar la materia prima y la tecnología a usarse, adaptar los parámetros y condiciones de trabajo de la metodología escogida, según el producto final y aplicación que se dese obtener, para el caso de bioprocesamiento se pueden optar varias rutas eco-amigables, entre las que se encuentran: pretratamientos físicos, biológicos, físico-químicos, químicos y bioquímicos. Luego, hay que registrar la propiedad intelectual sea para algún proceso novedoso desarrollado en el laboratorio o para un producto final nuevo, con propiedades mejoradas para usos específicos. Una vez que se obtengan prototipos de los nuevos productos, alrededor del cuarto o quinto año es importante iniciar el estudio de mercado y la prefactibilidad económica a fin de conocer la viabilidad comercial del producto nuevo. Este período puede tomar desde el cuarto o quinto año o prolongarse por un tiempo mayor, cuando ocurre la consolidación del mercado y los biocombustibles, bioenergía, bioproductos y biomateriales avanzados cumplen con las expectativas de los consumidores y de la sociedad.

En América Latina se han aplicado modelos de desarrollo que han privilegiado la exportación de materias primas. Sin embargo, la diversificación y sofisticación productivas plantean la necesidad de generar cadenas de valor nuevas que aprovechen las tecnologías de “cascada” para optimizar procesos que resulten en multi-productos/multi-servicios que aseguren la circularidad y sostenibilidad (Castellano, 2021), que apliquen la tecnología cero desechos y los conceptos de biorrefinería de manera local y cuyos productos tengan potenciales nichos de mercado locales, regionales, nacionales e internacionales.

En la conversión y transformación avanzada de la biomasa es importante tomar en cuenta la pirámide descrita en el diagrama 2, en la que se ubican a la bioenergía y biocombustibles mejorados en la base, indicando que su producción privilegia grandes volúmenes a costos unitarios bajos, de tal manera que pueda llegar a la mayoría de la población. Subiendo la pirámide, en el segundo peldaño se encuentran los alimentos humanos funcionales y animales, cuyo valor de mercado es mayor que las bioenergías y se producen en volúmenes más bajos. En el tercer peldaño están los biomateriales inteligentes, que tienen un mayor valor de mercado que los alimentos y se producen en menor cantidad. Por último están los bioproductos avanzados denominados también de “química fina”, cuyo precio en el mercado es muy alto y sus volúmenes de producción son los menores. Estos bioproductos se encuentran en poca cantidad en las plantas y sus partes y por lo general, poseen principios bioactivos y se utilizan en la formulación de fármacos, nutraceúticos, cosmeceúticos, y como agentes antibacteriales para aplicaciones en biomedicina, industria y ambiente.

Diagrama 2
Valor de mercado, volúmenes de producción y niveles de protección en la conversión y transformación de la biodiversidad, biomasa y bioresiduos en la bioeconomía avanzada



Fuente: Elaboración propia.

Desde la bioeconomía avanzada, el valor agregado se concibe como un proceso integral “aguas arriba” y “aguas abajo” de la producción de las materias primas, insumos, y procesos basados en los biorrecursos y enfatizada por la interacción público/privada para la gestión de la I+D+i y por la inversión necesaria para ello. En el diagrama 3 se visualiza la sinergia de la bioeconomía avanzada con el desarrollo tecnológico y socio-económico sostenible. Partiendo de la biodiversidad, biomasa y biomasa residual, se puede hacer uso de los avances del conocimiento, de las tecnologías de vanguardia para la valoración sostenible y agregación de valor a estos recursos, por ejemplo para obtener biocombustibles mejorados o “a la medida” que soporten altas temperaturas, biomateriales con sensores para detección de variaciones según la aplicación final de destino, como una biopelícula de empaque de alimentos con sensores para detectar cambios de pH en los alimentos en el interior del paquete, o bioproductos avanzados, como nanopartículas de plata antibacteriales para aplicaciones en odontología.



Fuente: Elaboración propia.

3. Biorrefinerías y simbiosis industrial

La simbiosis industrial describe relaciones comerciales sinérgicas entre entidades industriales tradicionalmente separadas, resultantes de esfuerzos en red para gestionar de forma colaborativa recursos, infraestructuras, capacidades o conocimientos materiales o energéticos. También se pueden incluir organizaciones no industriales. Al establecer vínculos mutuamente beneficiosos entre los participantes, dicha red logra un uso más eficiente de materiales, energía u otros recursos y, por lo tanto, logra mayores ganancias comerciales y menores impactos adversos en el medio ambiente. La valorización entre empresas de subproductos y desechos es una característica común de la simbiosis industrial (Kusch-Brandt, 2022).

La implementación de simbiosis industrial es compleja y requiere de conocimiento y colaboración. Para ello es importante identificar modelos de negocios y áreas de oportunidades (Rentería Núñez & Perez-Castillo, 2023). Los resultados de estudios recientes indican que las variables importantes son el flujo de materiales y las posibles estrategias que las compañías pueden adoptar para lograr la simbiosis industrial. Aun son necesarios cambios culturales transformadores, el desarrollo de mecanismos para intercambio de información, negociaciones que fomenten la colaboración, y modelos de simulación y de negocios exitosos que faciliten la transición a la simbiosis industrial para la valoración sostenible de recursos naturales, energéticos y humanos, y para incrementar la eficiencia, reducir costos, dinamizar la bioeconomía sostenible y lograr beneficios económicos, sociales y ambientales.

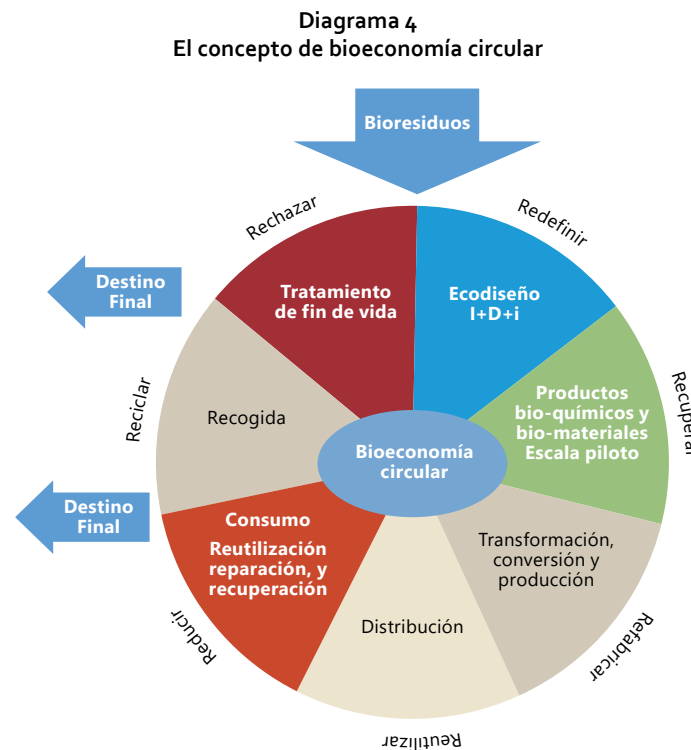
C. Bioeconomía circular

1. La estrategia de “cerrar el círculo” y el desarrollo sostenible

El desarrollo de la bioeconomía avanzada implica tomar en cuenta todos los aspectos relacionados al uso sostenible de los biorrecursos y a los elementos para la transformación y reactivación productiva, para lo cual es importante incluir los conceptos de bioeconomía circular y los aspectos necesarios para “cerrar

el círculo” del proceso productivo. Este concepto de “biocircularidad” o bioeconomía circular se refiere a un sistema de producción sostenible de recursos biológicos renovables enfocados en el uso extendido, máximo reuso, reciclaje y diseño mediante degradación (de biopolímeros a monómeros), a la vez que se evita la terminación de ciclo de vida por falla, minimizando la demanda de energía y reduciendo la cantidad de bioresiduos (Holden et al., 2023).

En el diagrama 4 se ilustra el concepto de bioeconomía circular y sus componentes. El objetivo es que los bioresiduos generados en las bioindustrias, biomanufacturas o bionegocios se recolecten, para lo cual es importante redefinir los diseños mediante la aplicación de un ecodiseño que acoja las mejores prácticas recomendadas para la recuperación, transformación, conversión de los bioresiduos y la producción de nuevos bio-productos y bio-materiales a partir de ellos, tratando de reducir la cantidad de energía y agua consumida y minimizar los residuos durante el procesamiento. Los nuevos productos/servicios obtenidos se distribuyen en el mercado para su consumo, reutilización, y recuperación. Al final de esta fase algunos productos cumplen su ciclo de vida y tienen una disposición final, mientras que otros pueden volver a recogerse y sirven como materia prima inicial para un nuevo ciclo productivo.



Fuente: Elaboración propia.

Dos aspectos claves a tener en cuenta en la bioeconomía circular son la circunscripción de los aspectos sociales y la innovación responsable (Hadley Kershaw et al., 2021). En lo social, Kershaw et al. indican que la sociedad debe apoyar la bioeconomía circular y no solo “darle forma”, por lo que la inclusión social debe considerar el crecimiento inclusivo. Tomando en cuenta la realidad del sector agropecuario ecuatoriano, es fundamental considerar también las desigualdades sociales, la tenencia de la tierra, los vacíos educativos en los sectores rurales, los nexos familiares en las comunidades locales, las distancias y accesibilidad a transporte, entre otros aspectos sociales determinantes y que no son meramente técnicos. Por otro lado, Kershaw et al. indican que la innovación debe ser responsable, es decir debe tomar en cuenta los valores de la sociedad, sus necesidades y sus prioridades. Las metas de una innovación responsable incluyen aspectos socio-éticos, desarrollo socio-técnicos e implicaciones

ambientales y fomentan la responsabilidad colectiva para producción de conocimiento y la capacidad de toma de decisiones a un amplio rango de actores sociales involucrados, múltiples instituciones públicas y privadas, multidisciplinarios, incluyendo las ciencias, tecnologías, ingenierías, ambientales, humanidades y sociales. La innovación responsable resalta la importancia de prestar atención a los complejos aspectos sociales, éticos, políticos, económicos y ambientales.

En el diagrama 5 se visualizan los aspectos relevantes a tomar en cuenta para desarrollar la bioeconomía circular y alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, mediante el desarrollo de la ingeniería circular, como una alternativa a la producción tradicional, sostenible a lo largo del tiempo, que enfatiza la gestión de los recursos materiales, energéticos, hídricos, y la reducción de las externalidades negativas, como emisiones de CO₂ y residuos, al mismo tiempo que se busca mejorar la productividad y competitividad de las empresas. La bioeconomía circular y la ingeniería circular protegen el ambiente usando la biodiversidad, biomasa y/o biomasa residual y desde el diseño de estos productos/servicios cuidan la materia prima, y mediante procesos limpios, verdes, circulares como las biorrefinerías realizan una “producción industrializada responsable”. Los productos se distribuyen en el mercado a “consumidores responsables” que aceptan estos productos reciclados/recuperados, creando una “sociedad circular” que realiza una gestión responsable de los residuos, sentando las bases para crear riqueza cuidando el capital natural y promoviendo un desarrollo sostenible.

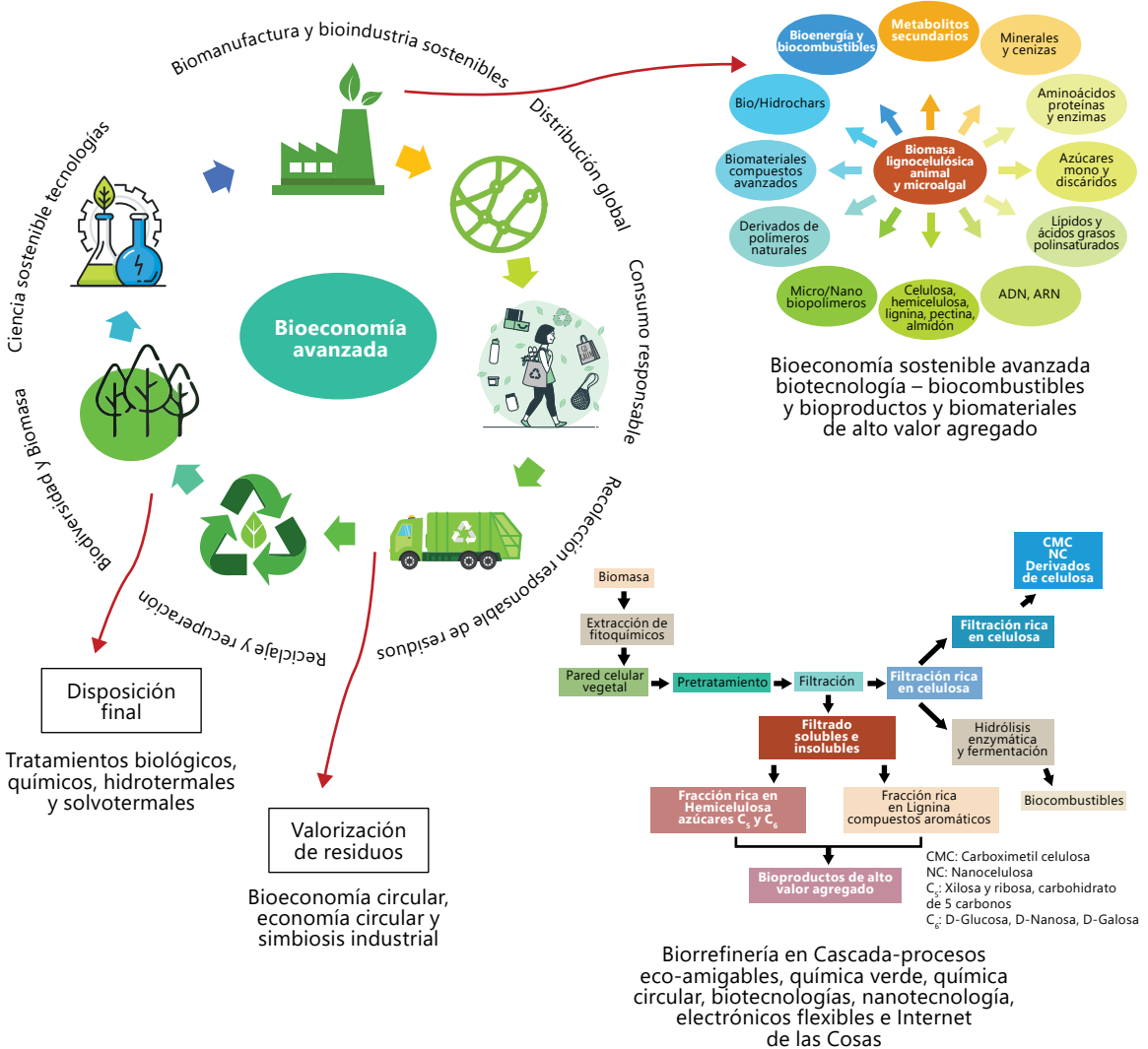


Fuente: Elaboración propia.

2. Integración de la bioeconomía circular y biorrefinería con la bioeconomía avanzada y la simbiosis industrial

En el diagrama 6 se ilustra la relación entre economía circular, bioeconomía sostenible, bioeconomía circular, biorrefinería, bioeconomía avanzada y la simbiosis industrial y conceptualiza el funcionamiento de una bioeconomía avanzada, donde la biodiversidad, biomasa y/o biomasa residual son la materia prima para crear bienes de consumo con alto valor agregado mediante ciencias sostenibles y tecnologías avanzadas, la biomanufactura y bioindustria sostenibles, a través de las biorrefinerías “en cascada”. Tales bienes son luego distribuidos globalmente a través de redes de distribución locales, regionales, nacionales o internacionales. Se desarrolla así un consumo responsable en todos los mercados, y una vez que se usan y han cumplido su primer ciclo de vida se recogen para su valorización aplicando los conceptos de economía circular, bioeconomía circular y simbiosis industrial mediante el uso de tecnologías verdes (como por ejemplo tratamientos biológicos, químicos, físico-químicos, hidrotermales, con solventes naturales, con solventes eutécticos profundos, entre otros) que permitan la recuperación, la reutilización y el reciclaje y un nuevo ciclo de vida para otros bioproductos/servicios.

Diagrama 6
Cadena de valor del uso eficiente de la biodiversidad, biomasa y biomasa residual en una bioeconomía avanzada



Fuente: Elaboración propia.

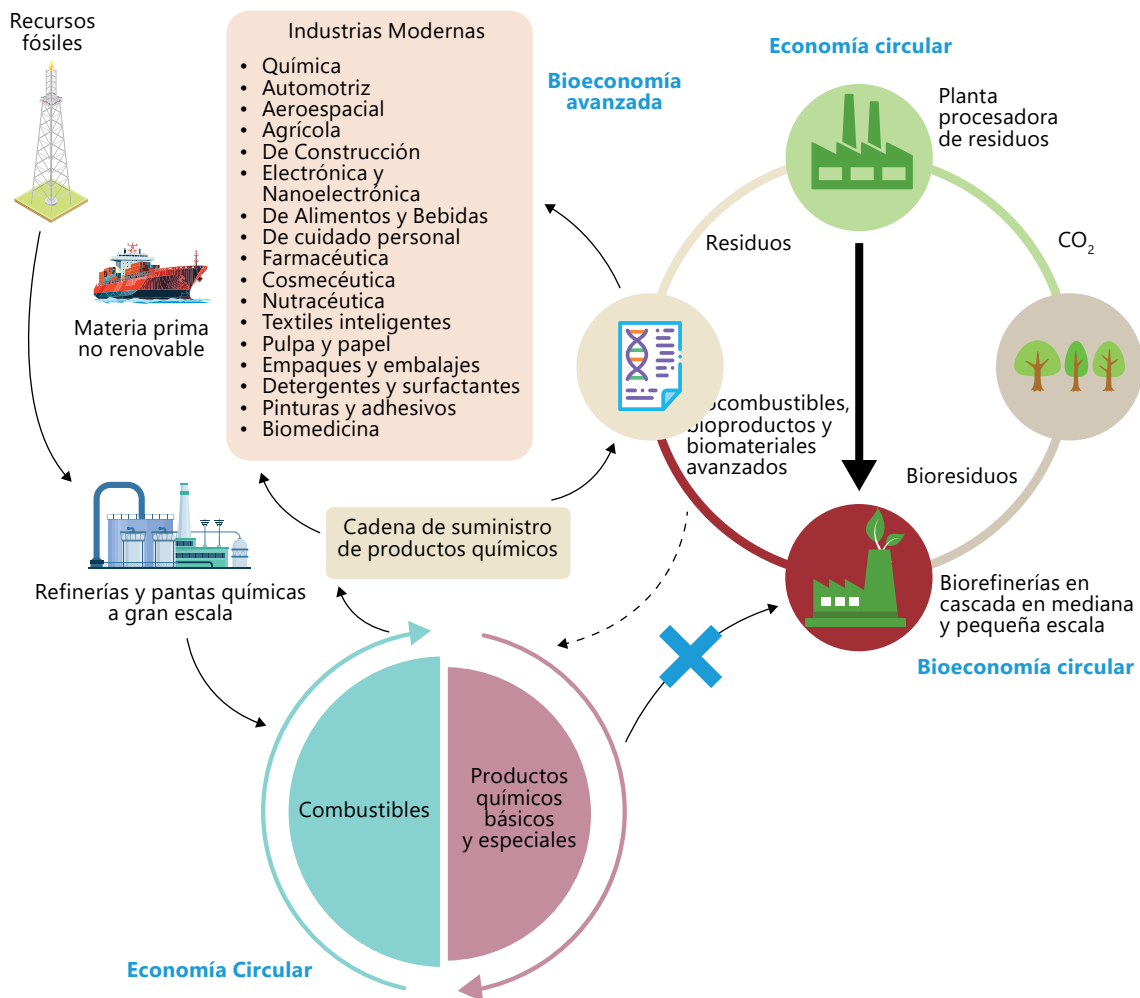
3. Integración de los biorresiduos en la cadena de suministro de productos químicos – cerrando el ciclo hacia una economía circular

La adopción y desarrollo de la bioeconomía avanzada en un país permitiría alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y lograr una industria inclusiva y un ambiente más limpio; no obstante, es importante advertir que para consolidar la bioeconomía avanzada, incluyendo los biocombustibles, los bioproductos y los biomateriales avanzados deben insertarse en la cadena de suministro de productos químicos, como se puede observar en el diagrama 7.

Si bien la industria química provee productos de uso diario que han mejorado nuestras vidas, en su ciclo de vida la mayoría de éstos causan contaminación. Con el objetivo de comprender de manera global la contaminación, un estudio reciente analizó 22 inventarios de sustancias químicas de 19 países, revelando que se comercializan más de 350.000 mezclas y productos químicos para uso o para la producción de otras sustancias químicas, de los cuales 70.000 están descritos de manera ambigua (Wang et al., 2020). Otro estudio, indica que éstas 70.000 sustancias de composición desconocida o variable, llamadas “productos de reacción complejos o materiales biológicos” (UVCBs, por sus siglas en Inglés) merecen ser analizadas y sugiere que las partes interesadas consideren los principios de simplificación y su uso circular sostenible para

su gestión racional a mediano y largo plazo (Lai et al., 2022). La mayoría de estos productos provienen de fuentes petroleras y su uso circular sostenible es cuestionable y por lo tanto dificulta la economía circular. La producción de biocombustibles, bioproductos y biomateriales a partir de los bioresiduos es parte de una posible solución. Para ello es urgente una coordinación efectiva internacional, interdisciplinaria e intersectorial para establecer un manejo eficiente de los combustibles, productos químicos y residuos ya existentes en el mercado global, al mismo tiempo que se acogen los nuevos bioproductos y biomateriales provenientes de las biorrefinerías en cascada para que se integren a la cadena de suministro de productos químicos (flecha negra punteada en el diagrama 7).

Diagrama 7
Integración de los bioresiduos a la cadena de suministro de productos químicos:
hacia una economía articulada con la bioeconomía avanzada



Fuente: Elaboración propia.

La utilización eficiente de los bioresiduos es un factor importante para cerrar el círculo de la economía circular en la industria química, industrias afines y aquellas que consumen los productos químicos finales o intermedios, que se encuentran casi en todos los sectores. Los avances en ciencia y tecnología, sobre todo aquellos relacionados a los pretratamientos de biomasa y bioresiduos y los de procesamiento y

purificación de las diferentes corrientes que resultan en las biorrefinerías en cascada, permiten considerar a los bioresiduos como materia prima para una amplia gama de productos químicos y bioquímicos básicos o especializados que pueden distribuirse al consumidor final o a empresas especializadas que generen bioproductos de alto valor agregado que se aplican en la mayoría de industrias modernas. Los bioresiduos no necesariamente son adecuados para la producción de productos químicos básicos (flecha negra continua tachada, en el diagrama 7), debido a su distribución, diversidad geográfica y compleja composición; sin embargo, son materia prima apropiada para los biocombustibles, bioproductos y biomateriales avanzados. La integración de los bioresiduos en las actuales cadenas de suministro implica ubicar las instalaciones de procesamiento de bioresiduos cerca de las plantas agroindustriales que los generan, así como también considerar sus propiedades físico-químicas y las necesidades locales (Guo et al., 2019).

II. Hacia una bioeconomía avanzada y sostenible en el Ecuador

A. Marco regulatorio

El Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) promueve una política pública que reconoce en la biodiversidad una oportunidad para el fomento del bioemprendimiento y la bioindustria en el país. En este contexto, en el 2018 promovió el Gran Acuerdo Nacional por el Emprendimiento y el Impulso a la Bioeconomía para promover convenios interinstitucionales, como por ejemplo el firmado entre la Universidad Técnica Particular de Loja y la Corporación para el Emprendimiento y la Innovación del Ecuador (CEIE), para implementación del Centro BioEmprende (Ministerio del Ambiente, 2019).

En el 2013, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) expidió tres acuerdos ministeriales: el Acuerdo N° 114 - Política Nacional de Gobernanza del Patrimonio Natural para la Sociedad del Buen Vivir 2013-2017; el Acuerdo N° 131 - Programa Nacional de Incentivos a la Conservación y Uso Sostenible del Patrimonio Natural - Socio Bosque; y el No. 169, que crea el Proyecto Socio-bosque. Al siguiente año, se promulgaron dos acuerdos ministeriales adicionales, el No. 187 Manual Operativo para el Incentivo a la conservación y uso sustentable del manglar - Socio Manglar y el Acuerdo No 198 Manual Operativo para el Incentivo al Manejo Forestal Sostenible (Socio Manejo). Por otro lado, en el año 2015, el MAATE y el Ministerio de la Producción promulgaron la Estrategia Nacional de Biodiversidad.

En el año 2017, la Vicepresidencia de la República promulgó la Estrategia Nacional para el Cambio de Matriz Productiva, para incentivar la fabricación de nuevos productos con valor agregado (Ambiente & Ecológica, 2017). El organismo rector de la propiedad intelectual es el Servicio Nacional de Derechos Intelectuales SENADI, y en los últimos años su presupuesto ha sido limitado, por lo que no dispone del personal necesario para ejercer sus funciones con agilidad.

Por otro lado, el sector exportador cuenta con la ley de Comercio Exterior e Inversiones LEXI, promulgada en 1997 por decreto ejecutivo y aún está vigente, y su objetivo es “normar y promover el comercio exterior y la inversión, incrementar la competitividad de la economía nacional, propiciar el uso eficiente de los recursos productivos del país y propender a su desarrollo sostenible e integrar la economía

ecuatoriana con la internacional y contribuir a la elevación del bienestar de la población” (Exterior, 1997). Asimismo, se cuenta con el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, expedido en 2014 por la Asamblea Nacional, el mismo que fomenta el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas MIPYMES, y promulga normas generales sobre incentivos y estímulos de desarrollo, como son la reducción del impuesto a la renta y la creación de zonas económicas de desarrollo especial en el territorio nacional (Nacional, 2014a).

B. Capacidades en investigación y desarrollo

1. Sector académico

En Ecuador, el Consejo de Educación Superior (CES) rige las actividades de las universidades, escuelas politécnicas e institutos superiores. El CES ha promulgado la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) y su reglamento general, el Reglamento de Régimen Académico (RRA, vigente desde el 16 de septiembre 2022). Cuenta con los organismos nacionales como la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), el Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEASES) y el Ministerio de Educación; y con el apoyo de organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), y Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe (IESALC). Todos estos organismos aseguran que la educación superior en nuestro país incorpore los avances científicos y tecnológicos que permita un crecimiento educativo equitativo e inclusivo.

El Sistema de Educación Superior ecuatoriano cuenta con universidades y escuelas politécnicas y extensiones de algunas de ellas en todo el territorio nacional (Sierra o de los Andes, Costa del Pacífico, Amazonía y las Islas Galápagos). El Sistema de Educación Superior consta de universidades públicas nacionales (34), universidades cofinanciadas, es decir financiada con fondos públicos y con fondos privados (8); y con universidades autofinanciadas (20) (CES, n.d.). Este sistema debe priorizar temas de investigación básica y aplicada en

La SENESCYT y la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y Academia (CEDIA) juegan un papel importante en el financiamiento de proyectos de investigación, desarrollo e innovación del sistema de Educación Superior en Ecuador. CEDIA es la Red Nacional de Investigación y Educación Ecuatoriana – RNIE (NREN por sus siglas en inglés) y vincula a investigadores, docentes y estudiantes, generando redes de colaboración nacionales e internacionales. Las prioridades de investigación en áreas de salud, biomedicina, nanotecnología, bioingeniería, ingenierías y nuevos materiales están creciendo en la mayoría de las universidades ecuatorianas, pese a que el presupuesto de universidades para investigación pura y aplicada es aún escaso.

La mayoría de las universidades cuentan con centros o institutos de investigación en diferentes etapas de desarrollo, algunos ya están consolidados y cuentan con infraestructura moderna y equipos de tecnología de vanguardia y también con equipos de trabajo con experiencia. La Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL), la Escuela Politécnica Nacional (EPN), la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), la Escuela Politécnica del Chimborazo, la Universidad Regional Amazónica Ikiam, y algunas universidades cofinanciadas o privadas como la Universidad San Francisco de Quito, la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), la Universidad de las Américas (UDLA), y la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), entre otras, están desarrollando líneas de investigación para el uso sostenible de los recursos biológicos y de la biomasa, que se refleja en publicaciones en revistas científicas internacionales que aparecen en la literatura o están en los repositorios de sus bibliotecas (p. ej., tesis de terminación de carrera de los estudiantes). Lamentablemente, no se puede definir con exactitud el nivel de maduración tecnológica ni de manufactura de los mismos. Además, la investigación básica y aplicada que se realiza en universidades y escuelas politécnicas en pocas ocasiones deviene en patentes o es aplicada por las industrias ya existentes o dan paso a la creación de nuevas industrias o emprendimientos. En ese contexto destaca la UPS, que dispone de un centro de prototipado equipado con tecnología de vanguardia, por ejemplo, impresoras 3D, entre otros equipos que son muy útiles para el prototipado y escalado.

El Grupo de Ingeniería Circular Aplicada y Simulación GICAS (GICAS, 2018), del Departamento de Ingeniería Química del Colegio Politécnico de la USFQ promueve la investigación en ingeniería (verde) de procesos y recuperación de compuestos de alto valor agregado para potenciales aplicaciones en salud, industria y ambiente. Prioriza el trabajo multi-interdisciplinario para procesamiento de biomasa lignocelulósica residual, colaborando activamente con otros departamentos e institutos de investigación de la USFQ, así como también con otras universidades nacionales e internacionales.

2. Sector gubernamental

El gasto en investigación y desarrollo con relación al PIB en Ecuador es bajo, está financiado principalmente por el Estado y es ejecutado por el sector académico. Según datos publicados por el Banco Mundial, el Instituto de Estadísticas de la Organización las Naciones Unidas para la Ciencia, la Cultura y Educación UNESCO (por sus siglas en inglés) determinó que en el 2008 solo el 0,23% del PIB fue destinado a investigación y desarrollo (I+D), en el 2010 llegó a 0,34% (UNESCO, 2011). No existen datos más recientes, pero se puede asumir que en los siguientes años la situación no ha cambiado de manera significativa. En consecuencia, en Ecuador la investigación básica y aplicada predomina por sobre el desarrollo experimental, por lo tanto, el avance tecnológico es muy lento.

No obstante, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, ubicado en la ciudad de Quito y adscrito al Ministerio de Agricultura y Ganadería, ha desempeñado un rol muy importante a nivel de investigaciones agropecuarias, desde su creación en el año 1979. Cuenta con 15 laboratorios a nivel nacional, y estaciones experimentales en Costa, Sierra y Amazonía. Entre sus logros importantes, se pueden mencionar las variedades de cacao fino de aroma "800" y "801", que han tenido mucho éxito internacionalmente. El INIAP busca ser "un instituto de referencia regional en investigación, desarrollo e innovación, articulador y rector del Sistema Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Agropecuaria, Agroindustrial y de Forestación Comercial del país" (INIAP, 2023).

Por otra parte, el Instituto Nacional de Biodiversidad INABIO fue creado en el año 2014, está ubicado en la ciudad de Quito y es adscrito al Ministerio del Ambiente, Aguas y de Transición Ecológica. Su objetivo es planificar, promover, coordinar, ejecutar investigación relacionada a la biodiversidad y su producción y su uso racional. La Dirección de Gestión de Innovación que ejecuta proyectos de I+D+i en coordinación con universidades, escuelas politécnicas e institutos nacionales e internacionales (Nacional, 2014b). Actualmente el INABIO ejecuta 55 proyectos de los cuales el 60% lo hace en calidad de ejecutor y el 40% de apoyo. Los estudios se enfocan en conservación de la biodiversidad, solo un proyecto financiado por INEDITA I se refiere a "Bioconversión de residuos orgánicos y plástico a partir de invertebrados del Ecuador, cuyo objetivo fue buscar una solución biotecnológica al problema de los desechos plásticos, usando cinco variedades de insectos para biodegradar polietileno y poliestireno.

3. Sector privado

El sector empresarial ecuatoriano está representado por las empresas manufactureras, sus gremios, las cámaras de comercio y entidades de promoción a las exportaciones. El segmento conformado por las micro, pequeñas, medianas (MIPYMES) y los emprendimientos no cuentan con fondos para financiamiento de actividades de I+D+i, y por lo general deben acudir a créditos bancarios para mejoras en su infraestructura y actividades propias de sus empresas y negocios. Las grandes empresas agroindustriales pueden destinar una parte de su presupuesto para actividades de I+D+i; sin embargo, desconocen de las posibilidades de diversificación de oferta, agregación de valor para sus materias primas o residuos o de la incorporación de conocimiento y tecnologías avanzadas para su crecimiento; y por otro lado, no hay conocimiento suficiente acerca del impacto de la comercialización de biocombustibles, bioproductos y biomateriales a nivel local, nacional o regional.

Los gremios como la Cámara de la Industria y Producción, la Cámara de la Pequeña Industria, la Cámara de Comercio, la Asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao del Ecuador ASOCACAO, la Asociación de Exportadores de Banano AEBE, son instituciones sin fines de lucro que

agrupan al sector exportador que representan. Uno de sus objetivos es apoyar y promover el desarrollo integral de los sectores productores y exportadores, en coordinación con las diferentes instituciones públicas y privadas; para brindar servicios y cursos de capacitación a sus miembros. Algunos son especializados en los temas de diseño gráfico, programación (AutoCAD, ArcGIS), marketing digital, contabilidad, computación, entornos digitales, producción audiovisual y comercialización; para nombrar algunos de importancia en la cadena de valor de los productos de sus empresas miembros (CETEC, 2009), o más avanzados como neuromarketing, alta dirección de comercio exterior, trámites de exportación, control de calidad (CCQ, n.d.). La Cámara de industrias y Producción (CIP), brinda asesorías y forma grupos de trabajo focalizados para favorecer la comunicación entre sus afiliados. La Cámara de la Pequeña Industria de Pichincha (CAPEIPI) tiene un centro de capacitación y brinda cursos temáticos en diferentes áreas, por ejemplo, en eficiencia energética, abonos agrícolas, acondicionamiento e instalaciones en Horticultura y Floricultura, etc. (CAPEIPI, n.d.)“mendeley”:{“formattedCitation”：“(CAPEIPI, n.d.. Existen otras instancias como el Comité Empresarial Ecuatoriano, la Federación Nacional de Cámaras de Industria del Ecuador y la Fundación Instituto de Desarrollo Profesional (IDEPRO), que se suman a las otras organizaciones gremiales y fomentan las actividades industriales y empresariales en Ecuador.

Los sectores cacaoero y cafetero ecuatoriano han recibido financiamiento del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD-Pro Amazonía (fondos GEF y GCF) para implementar un proyecto por US\$ 1000.000,0 cuyo objetivo es el “Diseño un Programa de Capacitación y Asistencia Técnica para la Producción Sostenible de Café y Cacao en la Provincias que conforman la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA) en Ecuador” (IICA, 2020)partiendo con el reforzamiento de las capacidades técnicas de los extensionistas del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador (MAG. Con este proyecto se persigue la formación de extensionistas rurales agropecuarios en las provincias que conforman la CTEA, con capacidades técnicas y metodológicas innovadoras; e implementar un servicio de asistencia técnica para café y cacao, con enfoque de género, intergeneracional e intercultural, utilizando las Escuelas de Campo para Agricultores como base metodológica, siendo contraparte el MAGAP del Ecuador.

Por otra parte, ASOCACAO está realizando esfuerzos por promover el mejoramiento de la calidad de los productos de cacao y mantiene colaboración con el Cacao of Excellence Laboratory and Training Centre, de Roma, Italia (Excellence, 2023). Una industria que ha tenido éxito en la comercialización de sus productos es PACCARI S.A., que trabaja con más de 350 agricultores de cacao de pequeña escala, sin intermediarios, y comparte conocimientos acerca de procesos orgánicos y biodinámicos para obtener un producto de calidad, cuidando la tierra, con prácticas sostenibles.

C. Oportunidades para el desarrollo de bioeconomía avanzada en el Ecuador

1. Un país mega biodiverso

La riqueza natural es uno de los componentes claves para el desarrollo económico y social de la humanidad. Ecuador es un país biodiverso, considerado un “hot spot”, por el gran número de especies en un territorio reducido, y es importante contabilizarla (Sánchez Herrera & Albán Dávila, 2018). Para ello se dispone del Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional diseñado por el Ministerio de Ambiente y otras instituciones, que permite cuantificar a través del Método del Valor Presente Neto, los recursos naturales, incluyendo petróleo y gas natural, agua, suelo y subsuelo, aire, y áreas forestales, por su importancia y grado de necesidad entre la población. El estudio realizado por Sánchez y Dávila indica que las actividades de investigación se enfocan en estudios de flora, fauna y protección ambiental y los resultados se resumen en los 46 ecosistemas que albergan alrededor de 10 mil variedades de plantas (cerca del 10% de las especies totales existentes), gracias a los factores climáticos favorables. Las más importantes son las orquídeas, los claveles, las heliconias, las rosas y las astromelias. El principal recurso

natural utilizado es el suelo, que actualmente está perdiendo sus características debido a factores climáticos, a tráfico ilegal y a contaminantes, lo que hace que las especies vegetales tiendan a la extinción. En conclusión, existe una abundante y poco explorada y valorizada base de recursos biológicos.

2. Un sector agroexportador afín al desarrollo de la bioeconomía avanzada

Si bien Ecuador es un país productor y exportador de petróleo, la economía ecuatoriana se apoya de manera importante en exportaciones de productos de origen biológico. Las exportaciones tradicionales no petroleras de mayor volumen son banano y plátano, camarón, cacao y elaborados, café y elaborados, y atún y pescado. El mayor destino de las exportaciones ecuatorianas no petroleras es China (28.5%), seguido por Estados Unidos (19.1%). Los productos que destacaron en el primer semestre del 2023 fueron 1) Banano y plátano, con un incremento del 25.1% y los países de destino fueron los Países Bajos, Rusia y Alemania; 2) camarón (16.0%) con destino a China, Italia, Vietnam y Estados Unidos; 3) cacao y elaborados, cuyos mercados son Indonesia, Países Bajos, y México; 4) café y elaborados, los mayores mercados son Alemania y Colombia y últimamente Rusia; 5) atún y pescado, con un volumen de exportación de 26.5% (Banco Central del Ecuador, 2023).

Estas cifras indican que la agroindustria y la acuicultura juegan un papel preponderante en la economía nacional (bioeconomía básica). En el campo de la acuicultura, la industria del atún y del camarón son las más importantes, y están realizando inversiones e investigación que les permite ocupar los primeros lugares en la exportación a nivel mundial. Esta industria ha permitido la creación de emprendimientos, por lo que es de gran interés público y aporta positivamente a la economía nacional. Sin embargo, todas estas industrias generan un gran volumen de residuos que no son parte de la cadena de valor y que podrían adoptar un enfoque de biorrefinería en cascada y aportar al desarrollo de una bioeconomía avanzada para obtención de bioproductos y biomateriales de alto valor agregado (Wani et al., 2023; Zhang et al., 2023) y para producción de biocrudo (Islam et al., 2022) y energía renovable (Kumari et al., 2023). También, la biorefinería de la quitina, principal componente químico de las cascara y caparazones de los crustáceos, permitiría el fomento de la biotecnología azul (Vidal et al., 2022). Otra área muy importante es la de la biomasa acuática relacionada a las macro y microalgas; en este contexto, la biorrefinería en cascada de las microalgas marinas y/o de agua dulce permite la obtención de lípidos, pigmentos y polisacáridos para varias aplicaciones industriales y comerciales no solo a nivel local o nacional sino también a nivel internacional (Narayanan, 2024; L. Orejuela-Escobar et al., 2021; Pardilhó et al., 2023). La promoción de la biorrefinería de todos estos sectores económicos tendría un impacto positivo en las comunidades donde se desarrollan, al generar empleo y mejorar las condiciones de vida.

En relación a la actividad agroindustrial, ésta se caracteriza por la generación de residuos y subproductos que pueden valorizarse como materia prima de segunda generación, renovable, abundante y disponible. Para ello es importante fomentar actividades de I&D+I para incorporar la biomasa residual a la cadena de valor de las diferentes industrias, y aumentar la oferta de bioproductos y biomateriales sostenibles, y a la vez generar fuentes de trabajo en las comunidades colindantes y mejorar su ingresos y calidad de vida.

Otros sectores como la industria del café, papa, quinua y cultivos de las comunidades amazónicas también son importantes para la economía nacional y generan residuos y subproductos, por lo tanto también podrían implementar actividades con enfoque de biorrefinería en cascada, tecnología cero desechos y mediante tecnologías eco-amigables y sostenibles promover el desarrollo de una bioeconomía avanzada. Por ejemplo, los Kichwas mantienen la agrobiodiversidad del ecosistema donde habitan mediante cultivos de alimentos como el achiote (*Bixa Orellana*), apio (*Apium graveolens*), uvillas (*Physalis peruviana*), saborizantes como la pimienta (*Piper nigrum*), ajo (*Allium sativa*), ishpingo (*Ocotea quijos*), cosméticos (shiwa, wituk) y plantas medicinales (chuchuhuazo, curarina, guayusa, sangre de drago, uña de gato) (Arias Gutiérrez et al., 2016). Igualmente, en la Amazonía ecuatoriana existen cultivos de sustento como el de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*), el plátano (*Musa paradisiaca L.*), y el maíz (*Zea mays L.*),

que además de ofrecer seguridad alimentaria para las familias y comunidades amazónicas, ayudan a la mitigación del cambio climático (Beltrán-Tolosa et al., 2020), pero necesitan de asistencia técnica para que esta actividad sea más sostenible.

Por otro lado, los cultivos tropicales como el cacao, el café robusta (*Coffea canephora L.*), y los pastos tropicales, especialmente los del género *Brachiaria* y leguminosas han encontrado suelos propicios en las provincias de la Costa, Sierra y Amazonía ecuatorianas, con políticas y regulaciones claras podrían tener una actividad promisorio (Vizuet-Montero et al., 2024), en su manejo se generarían residuos y subproductos que podrían gestionarse con el enfoque de biorrefinería en cascada y bioeconomía avanzada.

Las frutas tropicales y subtropicales crecen junto a cultivos de subsistencia proveyendo a la comunidad de un balance nutricional en su dieta y mejorando sus ingresos, lo que les brinda bienestar y mejores condiciones de vida. En Ecuador los sectores de frutas como aguacate, piña, papaya y mango lideran las exportaciones, después de México y casi a la par con Perú (FAO, 2019). El sector florícola exporta y se prevé un mayor crecimiento del mercado internacional; igualmente los cítricos y derivados son frutas de gran consumo a nivel nacional e internacional. Todos estos cultivos generan empleo en las comunidades y producen bioresiduos, por lo que también son de importancia para el desarrollo de la biorrefinería avanzada en nuestro país, y hay mucho interés a nivel de academia y sector privado en actividades de I+D+i (Arroyo et al., 2020; Carvajal-Larenas et al., 2021; Ruales et al., 2018; Tituaña & Orejuela-Escobar, 2018).

Aunque no es un producto de exportación, los insectos son parte de la dieta de algunas comunidades de la Amazonía ecuatoriana desde la antigüedad. Las larvas de *Rhynchophorus palmarum*, el chontacuro, son comercializadas y consumidas en varias provincias de la Amazonía (Sancho et al., 2015). Estas costumbres ancestrales, promueven el turismo culinario nacional e internacional y dinamizan los sectores económicos afines a toda esta actividad mejorando los ingresos de estas comunidades.

Cabe mencionar que todos estos cultivos y sus productos están sujetos a la trazabilidad del campo al consumidor. El sistema de trazabilidad brinda una identificación única del cultivo y rastrea información desde la semilla hasta el producto final en el cultivo asegurando la producción de cultivos de calidad. Para ello se necesita de Tecnologías de Información y de la Comunicación (TIC), tales como los códigos de barras, código QR, IoT (internet de las cosas), inteligencia artificial (IT) y blockchain (Mohamad et al., 2022).

En la manufactura de chocolate es importante que los productores proveedores de cacao dispongan de prácticas agrícolas sostenibles. En un estudio reciente realizado por Tennhardt et al. sobre la trazabilidad de la industria del cacao en Ecuador, se analizaron factores ambientales, sociales, económicos, factores del agricultor, de la granja agrícola y factores de la cadena de valor que influyen en la implementación de las prácticas sostenibles y asegurar el suministro de cacao a largo plazo por parte de los productores de cacao (Tennhardt et al., 2023).

3. Acuerdo político sobre necesidad de diversificar la matriz productiva y energética

Existe acuerdo político en el Ecuador sobre la necesidad de diversificar la matriz productiva y energética del país. En sentido contexto, el *Pacto Nacional por la Bioeconomía Sostenible*, firmado en diciembre de 2020, tiene un rol preponderante. El Pacto establece que la bioeconomía es una estrategia alternativa de desarrollo para la transición hacia un sistema económico sostenible, socialmente inclusivo, competitivo y resiliente, y establece diez principios para desarrollo, que destacan:

- Promover la bioeconomía sostenible como política de Estado, basada en la conservación, uso y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y agrobiodiversidad, para la transición hacia un modelo de desarrollo productivo resiliente, competitivo, cooperativo y diversificado.

- Fortalecer una gobernanza colaborativa y abierta para la gestión eficiente de la bioeconomía sostenible desde principios de descentralización, desconcentración e inclusión.
- Incrementar la resiliencia del sistema económico como estrategia frente al cambio climático a través de la generación y promoción de servicios y productos de origen biológico.
- Fomentar la inversión nacional y extranjera a través del fortalecimiento de incentivos, creación y diversificación de fuentes y líneas de financiamiento públicas y/o privadas.
- Priorizar cadenas de valor de la bioeconomía, basadas en el uso intensivo de la ciencia, tecnología y conocimientos ancestrales, innovando en la producción y transformación sostenible de bienes y servicios de base biológica y sus derivados.
- Promover una bioeconomía circular, integrando el aprovechamiento material y energético de residuos de biomasa, incluyendo el reciclaje y la recuperación, como materia prima o insumos para procesos productivos.
- Impulsar la incubación y el escalamiento comercial de bioemprendimientos articulados a nuevas cadenas de valor, integración horizontal y vertical, y alianzas público - privadas, que atiendan a mercados estratégicos.
- Fortalecer de manera integral la innovación para la bioeconomía que impulse una puesta en valor de una red de centros de transferencia de tecnología y hubs de innovación tecnológica a nivel nacional, a través del desarrollo de capacidades y transferencia de conocimientos.
- Generar indicadores y herramientas dinámicas que permitan la obtención de información actualizada y confiable, necesaria para la toma de decisiones, su monitoreo y evaluación, y una gestión estratégica de comunicación para la concientización y sensibilización sobre las potencialidades y contribuciones de la bioeconomía al desarrollo sostenible.
- Promover la inclusión social, la reducción de brechas territoriales y distribución equitativa de beneficios de las actividades productivas, especialmente en las circunscripciones rurales y comunitarias.

4. Promoción del crecimiento económico incorporando tecnologías de vanguardia

La industria 4.0 se ha enfocado sobre todo en la digitalización de los procesos y la inteligencia artificial para incrementar la eficiencia y productividad de las empresas que promueve la innovación tecnológica y el crecimiento económico, sin tomar mucho en cuenta el rol de los trabajadores (MACALUX, n.d.). Después de la pandemia por COVID 19, la Comisión Económica Europea está impulsando la industria 5.0 o quinta revolución industrial, que se basa en tres pilares fundamentales: *sostenibilidad, enfoque humano y resiliencia*. Para avanzar hacia la industria 5.0 es importante fomentar tecnologías bioinspiradas y materiales inteligentes; digitalización y simulación; tecnologías de transmisión, almacenaje y análisis, inteligencia artificial (IA); y tecnologías para la eficiencia energética, el uso de energías renovables, el almacenamiento y la autonomía, entre otras. Todas estas tecnologías son también muy importantes para desarrollar la bioeconomía avanzada, por lo tanto, al fomentarla en Ecuador también se promoverá la transición a la industria 5.0.

5. Desarrollo de comunidades rurales, mejoramiento de ingresos e incremento en la calidad de vida

La biodiversidad, la biomasa y los bioresiduos se concentran en las zonas rurales y urbano marginales donde las comunidades en general tienen pocas oportunidades de empleo. En consecuencia, ofrecer capacitación en como valorizar la biodiversidad, biomasa y bioresiduos y a la vez desarrollar habilidades para realizar los primeros pasos de su procesamiento, les generará confianza para ejercer este trabajo, y tendrían mejores ingresos y mejorar su calidad de vida.

D. Desafíos

1. Desafíos tecnológicos

a) Disponibilidad y localización de recursos biológicos

Existencia limitada de recursos biológicos accesibles, ubicados de manera desigual; por ejemplo: recursos forestales concentrados en la costa ecuatoriana en Esmeraldas y la Amazonía; recursos marinos en la costa e Islas Galápagos; ganadería en la Región Costa en Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas y Sierra o de los Andes en la Pichincha, Azuay, Carchi; recursos acuícolas en la provincia del Guayas y Machala; entre otros. Esta situación haría que las actividades de bioeconomía avanzada se concentren en ciertas zonas del territorio nacional más que en otras, situación que abre oportunidades para potenciar el desarrollo de la bioeconomía al desarrollo económico regional.

b) Calidad de la biomasa

La variación de la calidad de la biomasa dependiendo de su naturaleza, y la compleja estructura química de las diferentes especies vegetales, animales, marinas o acuícolas requiere de un estudio individualizado de cada una de las especies vegetales, animales, marinas o microorganismos para determinar su composición química y sus características particulares para diseñar los procesos y los bioproductos y biomateriales que se pueden aislar/purificar "en cascada" (simultáneamente) y luego funcionalizar para aplicaciones avanzadas. La conversión de biomasa en bioenergía y biocombustibles y, por otro lado la transformación de la biomasa en bioproductos y biomateriales requiere de un equipo interdisciplinario especializado, con competencia técnica en química analítica, química orgánica, polímeros, biología, biotecnología, bioingeniería, eco-diseño, diseño de procesos, caracterización de materiales, estadística, bioestadística, análisis de datos, machine learning, e inteligencia artificial, así como conocimientos y competencias avanzadas como manejo de programas de modelado y simulación y para el cálculo de costos para escalamiento y estudios de prefactibilidad e instalación de plantas piloto y de producción a pequeña, mediana y gran escala.

c) Capacidades científicas y técnicas limitadas y dispersas

Existen 59 universidades y politécnicas en Ecuador, que forman profesionales y algunas de ellas **impulsan la investigación al servicio de la sociedad donde se desarrollan (Universo, 2019)**. Para ejecutar las actividades en el ámbito de la bioeconomía avanzada es necesario contar con la masa crítica formada, que además tenga experiencia en desarrollar procesos y productos eco-amigables utilizando tecnologías sostenibles.

- Bajo número de docentes con títulos de tercer y cuarto nivel en áreas de biotecnología, bioingeniería, ingenierías en general, diseño de bioproductos y biomateriales con alto valor agregado, y marketing y comercialización de estos. Es necesario crear planes y programas de actualización y especialización para los docentes-investigadores que ya están en el sistema educativo y formar nuevos cuadros en temas relacionados con bioeconomía avanzada.
- Docentes universitarios con títulos de cuarto nivel solo en universidades ubicadas en capitales de provincia. Se debe alentar a profesionales con estudios de alto nivel a que desarrollen sus investigaciones en universidades localizadas en centros de desarrollo agrícola y agroindustrial.
- Carga horaria de docencia (horas de clases impartidas) de profesores-investigadores con título de cuarto nivel muy alta, que impide su dedicación exclusiva a investigación sostenible + desarrollo tecnológico de punta + innovación transformadora.
- Es importante considerar los puntos anteriores y tomar medidas para asignar carga horaria exclusiva para docencia o para investigación, en casos especiales que así ameriten.
- Dotación de equipos y materiales para investigación escasa y concentrada en pocas universidades. Es necesario mejorar la infraestructura de investigación a todo nivel.

2. Desafíos económicos, de financiamiento e inversión

La dispersión de los centros de cultivos donde se genera la biomasa y sus residuos y su difícil acceso hace costosa la operación de recolección por lo que muchas empresas prefieren dejar los residuos en el sitio, incrementando la cantidad de residuos en el ambiente y la consiguiente contaminación. Otra fuente de biomasa residual es la que se produce por rechazo de especies vegetales de exportación-importación, debido a alguna falla en la cadena de suministros. Se necesita desarrollar procesos de recolección de biomasa residual de los lugares donde se genera y de transporte a los sitios de su procesamiento (Martín et al., 2023).

Se requiere de compromisos y cumplimiento de metas y objetivos, a más de los acuerdos interinstitucionales para desarrollar la bioeconomía de transformación y promover la bioeconomía avanzada, por lo que es importante dar el financiamiento y seguimiento apropiados a proyectos de desarrollo nacionales, propuestas de investigación en la academia e iniciativas de *start-ups*, *spinoffs*, bio-manufacturas y bionegocios.

Hay que incentivar la creación de nuevos emprendimientos y microempresas que orienten sus actividades a promover la bioeconomía avanzada y sostenibilidad, mediante el establecimiento de incentivos y líneas de crédito preferenciales para negocios e industrias que adopten prácticas circulares sostenibles y sustentables y de bioeconomía avanzada, adecuadas a las necesidades de los pequeños negocios para que puedan afianzarse en el medio local, regional y nacional con productos que cumplan los estándares internacionales, a fin de proyectarse también hacia mercados internacionales.

Se debe fortalecer los emprendimientos y microempresas ya existentes en el sector con líneas de crédito preferenciales que estén orientadas a financiar el mejoramiento en infraestructura y diversificación de sus talleres, o pequeñas empresas con prácticas circulares, sostenibles y sustentables y de bioeconomía avanzada. Estos créditos deberían financiar actividades de consultoría para el desarrollo de nuevos productos con valor agregado para nichos de mercado específicos, de mercadeo y comercialización a nivel local, nacional y potencialmente internacional.

3. Desafíos ambientales

La sostenibilidad ambiental es un riesgo no solo para la bioeconomía avanzada sino también para la sociedad en su conjunto y para nuestro planeta. El impacto del cambio climático en los cultivos forestales y agroindustriales, las inundaciones, sequías, plagas, tipo de suelo (presencia de metales), contaminación de suelo y aguas, entre otros, afectan la generación de biomasa y biomasa residual en cantidad y calidad, lo que disminuirían los buenos resultados que se esperan de la bioeconomía avanzada.

4. Desafíos legales, institucionales y sociales

a) Legislación no clara o inexistente

En Ecuador, el marco regulatorio no se adecúa a los adelantos científicos-tecnológicos para reglamentar el uso sostenible de la biodiversidad y biomasa y aprovechar el potencial de la bioeconomía. Un reto importante es pasar de acciones aisladas y no coordinadas en bioeconomía y áreas afines, a definir políticas y planes de Estado y a estimar los impactos sociales y económicos que las mismas generen. Para ello se sugieren las siguientes acciones:

- Regulación clara al acceso y uso sostenible de recursos naturales y a los conocimientos.
- Apoyo a generación de las condiciones necesarias para fomentar el uso sostenible de la biodiversidad con una estrategia efectiva y eficaz para conservar nuestros recursos naturales para el presente y futuro.
- Regulación de la capacidad operativa para la eficiente y eficaz implementación de los programas y proyectos de bio-emprendimiento y bio-comercio.

- Promoción de protocolos de bioseguridad del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Regulaciones ambientales más ágiles y eficientes para los permisos de uso de reactivos químicos y solventes controlados por el CONSEP que se emplean en investigación y desarrollo en la Academia.
- Garantía a la seguridad jurídica de las inversiones en actividades relacionadas al desarrollo de la bioeconomía avanzada.
- Fomento a regulaciones que apoyen la transición a producción y consumo responsables, que adopten prácticas circulares sostenibles y sustentables.
- Regulaciones claras sobre patentes y propiedad intelectual que proteja los inventos y desarrollos de los investigadores ecuatorianos y extranjeros con residencia en Ecuador.

b) Limitada coordinación interinstitucional

El desarrollo de la bioeconomía avanzada requiere de la coordinación entre instituciones de los diferentes sectores relevantes, que incluyen: Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica; Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca; Ministerio de Economía y Finanzas, Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana y la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Es importante dar pasos hacia una coordinación acertada también entre universidades que conforman la academia, instituciones de asistencia técnica internacional, y empresas de diferentes sectores productivos.

Otra entidad muy importante para desarrollar la química circular y otras disciplinas significativas que conduzcan a una preparación sólida en ciencias básicas como química, biología, física y matemáticas es el Ministerio de Educación, que tiene a su cargo el fortalecimiento de mallas curriculares; y la SENESCYT para dar las directrices de la investigación sostenible + desarrollo tecnológico de punta + innovación transformadora.

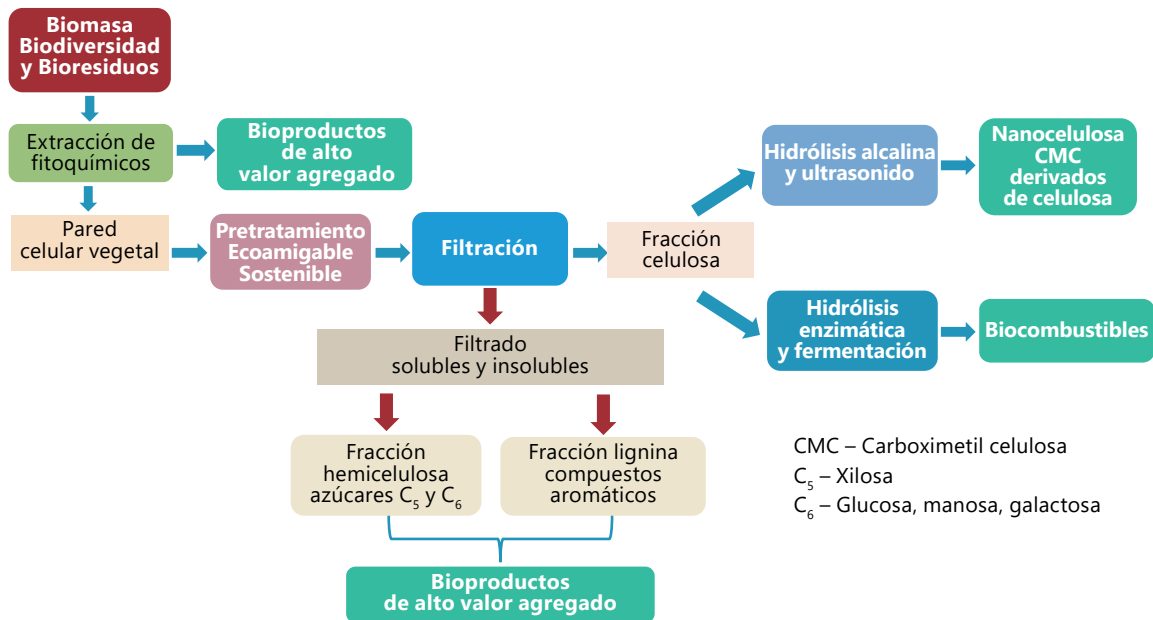
III. El enfoque de biorrefinerías

A. Biorrefinerías multipropósito y bioindustrias

La biorrefinería es el modelo de bioeconomía circular que permite el procesamiento sostenible de la biomasa cultivada o residual para su conversión en bioenergía y biocombustibles y su transformación en bioproductos y biomateriales avanzados o con propiedades mejoradas (Aramendis et al., 2018). La biomasa, al tener una estructura compleja con una composición química variada requiere de una serie de procesos y equipamiento apropiado, que deben ser amigables con el ambiente, para maximizar el valor derivado de la biomasa y de la biodiversidad, en procura de propender a una biomanufactura y bioindustrias sostenibles e inclusivas.

Se propone como modelo el esquema de bloques ilustrado en el diagrama 8 para la biorrefinería de biomasa y/o biomasa residual, una propuesta que se ha estado utilizando desde el 2017 en la academia ecuatoriana, en el cual la biomasa es sometida a extracción con solventes verdes para obtención de metabolitos secundarios (fitoquímicos), la mayoría de los cuales poseen bioactividad. Una vez que la biomasa está libre de extraíbles, se somete a un pretratamiento para reducir la compleja estructura de la matriz lignocelulósica y fraccionarla en dos corrientes, una sólida rica en celulosa que puede sufrir una hidrólisis alcalina para obtener una celulosa purificada, que luego puede ser derivatizada como carboximetilcelulosa (CMC), por ejemplo; o puede ser sometida a sonicación y homogenización para reducir su tamaño a escala nano y obtener nanocelulosa (NC). La otra corriente resultante del fraccionamiento es la fase líquida (filtrado o sobrenadante) que contiene compuestos solubles e insolubles en agua como azúcares provenientes de la hemicelulosa y oligómeros de hemicelulosa, así como también compuestos fenólicos o aromáticos y oligómeros de lignina, provenientes del otro biopolímero de la pared celular como es la lignina. Todos estos compuestos de bajo peso molecular (fitoquímicos) y alto peso molecular (biopolímeros) pueden ser precipitados, recuperados, purificados como productos finales o derivatizados/funcionalizados como compuestos de alto valor agregado, con aplicaciones en salud, industria y ambiente.

Diagrama 8
Flujo de la biorrefinería en cascada integrada y multiproducto para la obtención de biocombustibles, bioproductos y biomateriales



Fuente: Tomado de Orejuela et al., (2017).

Las condiciones actuales en Ecuador permiten estimar que las biorrefinerías a pequeña y mediana escala pueden ser una alternativa válida para procesar la biomasa residual generada en las actividades agrícolas, cultivos, forestal-madereras, agroindustrias, ganaderas, camaroneras, microalgas, comercializadoras de recursos biológicos y demás actividades relacionadas con la bioeconomía del país. Mediante procesamientos y química verde se puede producir biocombustibles, farmacéuticos, cosmeceúticos, nutraceúticos, ingredientes para alimentos y bebidas no alcohólicas, compuestos químicos biodegradables, y biomateriales para remediación ambiental (L. M. Orejuela-Escobar et al., 2021; Narisetty et al. 2023).

B. Diferentes tipos de biomasa y biomasa residual

1. Biomasa lignocelulósica

Tradicionalmente Ecuador ha sido un país agroindustrial, y ha desarrollado varias industrias importantes como la bananera, cacaofera, cafetera, incluso antes de convertirse en un país petrolero. A partir de los años sesenta del siglo XX, se iniciaron plantaciones de palma africana en Ecuador y hoy en día esta industria contribuye a la economía nacional de manera importante al incluir en su manufactura no solo aceite rojo de palma o aceite de palmiste sino productos con valor agregado como aceites comestibles, margarinas, jabones y detergentes, suavizantes y productos de higiene personal; una de las empresas también está produciendo biodiesel (Diana et al., 2022). En el cuadro 2 se muestran las 10 agroindustrias más importantes del país, que ya tienen una capacidad instalada y un proceso tecnológico maduro, una cadena de suministros desarrollada y cuyos directivos seguramente están trabajando arduamente para ser productivos y competitivos dentro del sector agroindustrial en el que se encuentran. Estas industrias se han ordenado según el volumen de biomasa residual que generan.

Cuadro 2
Ecuador: Materia prima originaria y de segunda generación de las industrias que generan
mayores volúmenes de biomasa residual

(En toneladas por año)

Materia prima originaria	Volumen de producción	Materia prima de segunda generación	Volumen de producción
Palma Africana (<i>Elais guineensis</i>)	2 649 051,00	Residuo de campo: hojas y troncos de palmera Residuo de procesamiento: raquis, fibra demesocarpio, cuesco de nuez)	6 872 469,00
Banano (<i>Musa paradisiaca</i>)	7 012 244 de fruta fresca	Residuo de campo: hojas y pseudotallo Residuos de procesamiento	4 926 095,00
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	1 565 535,00 en cáscara	Residuo de campo: paja Residuo de procesamiento: cascarilla de arroz	2 106 695,85
Cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>)	133 323,00	Residuo de campo: ramas de podas, mazorcas de cacao descartadas, cáscara de mazorcas. Residuo de procesamiento: cascarilla de pepa de cacao	2 015 352,60
Caña de azúcar (<i>Saccharum officinaru</i>)	7 378 922,00 en tallo fresco	Residuo de campo: tallos, hojas Residuo de procesamiento: bagazo	793 283,38
Palmito (<i>Bactris gasipaes</i>)	92 500,00	Residuo de campo: hojas y troncos de palma Residuo de procesamiento: despuntes, capas exteriores, rechazo de producto	478 751,38
Maíz maduro (<i>Zea mays</i>)	1 215 193,00	Residuo de campo: hojas, tallos, mazorcas rechazadas Residuo de procesamiento: mazorcas vacías	434 921,32
Plátano (<i>Musa spp.</i>)	559 319,00 en fruta fresca	Residuo de campo: hojas y pseudotallo Residuo de procesamiento: raquis, plátano de rechazo, cáscaras	372 576,00
Café (<i>Coffea arabica</i>)	7 340,00 de grano de oro	Residuo de campo: poda, renovación de plantas Residuo de procesamiento: cáscara, pulpa, mucílago, tarilla	104 048,31
Piña (<i>Ananas comosus</i>)	100 000,00	Residuo de campo: hojas y troncos de planta Residuo de procesamiento: corona, cáscara, corazón, hojas de la planta	124 699,08

Fuente: Adaptado de (Pazmiño-Sánchez et al., 2017).

Como se puede observar, la industria de palma africana es la mayor generadora de biomasa residual. Información sobre la biomasa residual generada por esta industria indica que, en el año 2017. Información sobre el destino y uso de esta biomasa residual no está documentada, pero se asume que es abandonada en el campo, causando impacto ambiental. Con el afán de contribuir a la agregación de valor a esta biomasa residual, una importante extractora de aceite de palma mantiene un proyecto de vinculación con la Universidad San Francisco para utilizar el raquis de palma africana para elaborar microcelulosa fibrilada (MCF) y nanocelulosa fibrilada (NCF), cuya patente está en proceso (junio 2024). La MCF y NCF son bioproductos con propiedades mejoradas que tiene potencial aplicación en farmacia, cosmecéutica, biomedicina, en la industria de papeles especiales, empaque y embalaje, electrónica, textiles,

entre otras industrias; así como también en remediación ambiental como filtros especiales y membranas para tratamiento de aguas contaminadas y nanotecnología. Sería recomendable que estas industrias que tienen una importante capacidad instalada integren biorrefinerías a sus procesos de producción, de manera que a más de los productos que ya obtienen, agreguen mayor valor a sus cadenas productivas y obtengan también otros bioproductos o biomateriales que les permita diversificar su actual oferta, mejorar su productividad y competitividad y generar más empleos en las zonas rurales, en las zonas cercanas a las plantas de producción y en los centros de distribución de los nuevos productos con alto valor agregado.

Las siguientes industrias que también generan residuos en volumen significativo son la bananera, arroceras, y cacaoteras (ver cuadro 2). La industria azucarera ya está produciendo bioetanol partir de su desecho (bagazo de caña de azúcar), mientras que las industrias de palmito, maíz duro, plátano, café y piña, aunque con volúmenes de residuos menores, pero significativos, podrían integrar biorrefinerías que les permita mejorar su productividad y competitividad, desarrollando biocombustibles o bioproductos y biomateriales de alto valor agregado, dependiendo de la composición química de los residuos, del contenido de los mismos en la biomasa residual y de la tecnología y mercado local, nacional e internacional que se puedan desarrollar.

2. Biomasa animal

La biomasa animal terrestre representamos los seres humanos y animales que poblamos nuestro planeta. Por obvias razones, la biomasa humana no se toma en cuenta más que como capital humano. La biomasa animal más abundante es la del ganado vacuno y agropecuario. En Ecuador, tradicionalmente se ha desarrollado la actividad ganadera en las provincias de Manabí, Guayas, y Los Ríos, en la costa y en las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, y Chimborazo en la región Sierra. Un ejemplo interesante se ha dado en la Región Amazónica, donde se ha desarrollado la ganadería como una actividad económica complementaria para mitigar la deforestación en los últimos años, se ha propuesto un estudio para la Reducción de Emisiones por deforestación y degradación Forestal (REDD+) (Torres et al., 2021) mediante el cual se desea identificar y evaluar el ganado según la elevación altitudinal, que sea capaz de mantener la crianza del ganado vacuno tanto económicamente como ambientalmente. Los resultados de este estudio indican que en las zonas altas y bajas predomina el ganado vacuno, en las zonas altas hay crianza de ganado vacuno de leche y en las zonas bajas se privilegia la crianza de ganado doble propósito. La biomasa residual de estas actividades se podría integrar a biorrefinerías en cascada y multipropósito para obtención de bioenergía a partir del estiércol y bioproductos de alto valor agregado a partir del suero de la leche, por ejemplo.

3. Biomasa microalgal y macroalgal de agua dulce y marina

Las microalgas marinas o de agua dulce son cada vez más importantes como fuente de biomasa para obtención de productos con valor agregado en las biorrefinerías con enfoque multicomponente o en cascada (L. Orejuela-Escobar et al., 2021). Su valor radica no solo como fuente para producción de biocombustibles sino también para la producción de compuestos químicos de alto valor agregado y biomateriales (ver cap. I Biorrefinería de microalgas).

Las microalgas marinas ofrecen una materia prima promisoría para la obtención de biocombustibles y compuestos valiosos mediante la biorrefinería multicomponente o en cascada y tienen un gran potencial para contribuir a un futuro con energía y medio ambiente limpios. La producción de biomasa de algas con múltiples sustancias químicas valiosas está estrechamente relacionada con las especies de algas, las condiciones de cultivo, los sistemas de cultivo y los modos de producción. En consecuencia, es fundamental la detección de cepas de algas dominantes, el desarrollo de tecnologías integradas con condiciones de cultivo óptimas, sistemas de cultivo eficientes y modos de producción sostenible para explotar la biomasa de algas para aplicaciones de biorrefinería (Cheng et al., 2022).

La biomasa de macroalgas puede ser transformada en biocombustibles y bioproductos de alto valor agregado como hidrocoloides y otras biomoléculas únicas. La biorrefinería de macroalgas marinas implica poco uso de energía y reactivos químicos, y genera un mínimo de residuos, según lo demuestran recientes estudios a escala de laboratorio (Filote et al., 2021). Los metabolitos con propiedades bioactivas tienen una gran demanda en alimentos, cosméticos, medicinas e industrias farmacéuticas. Los métodos de extracción emergentes facilitan la generación de bioproductos de mayor calidad con mayores rendimientos y menos energía.

4. Biomasa acuícola y/o de la pesca

Un estudio publicado por Negash et al. (Negash et al., 2023), interrelaciona a la estrategia gubernamental, colaboración digital, integración de la cadena de suministros, operaciones inteligentes y una cadena de suministros verde con la posibilidad de construir una bioeconomía circular basada en residuos (BECBR) que reincorpore los desechos de la pesca a la bioeconomía en Ecuador, como una posible solución a la reutilización de residuos en la cadena de suministros de pescado; un recurso que aún no ha sido explotado en nuestro país. Este grupo de trabajo aplicó una prueba y evaluación de toma de decisiones y adoptó un método Delphi difuso para obtener un conjunto válido de atributos para determinar los criterios impulsores de desarrollo de la BECBR. Los hallazgos indicaron que la tecnología de fabricación inteligente, las políticas organizativas, la mejora del mercado, el análisis de la cadena de suministro y la innovación operativa son impulsores de la integración de los residuos de la pesca y acuicultura en la economía circular basada en residuos.

5. Microorganismos

Las fermentaciones microbianas se utilizan para la producción sostenible de una variedad de productos. Las tendencias en innovación y tecnología en el sector alimenticio hacia los alimentos de origen vegetal, alimentos y sustitutos de carne y productos lácteos pronostican que la fermentación microbiana tendrá un papel cada vez más importante en el sector de la bioeconomía avanzada, ya que permitirá un desarrollo sostenible y escalable para la producción de alimentos e ingredientes alimenticios con valor agregado. Asimismo, la fermentación microbiana se utilizará para avanzar y ampliar la producción de productos químicos sostenibles y productos naturales. Se prevé que la expansión de este mercado se dará gracias a que nuevas empresas de biotecnología industrial, ingeniería metabólica y biología sintética trasladarán la investigación académica en procesos y productos novedosos utilizando tecnologías de última generación (Nielsen et al., 2022). Un ejemplo es la producción a gran escala de ácido láctico con un valor de mercado estimado superior a los 2.500 millones de dólares, y la mayor parte se utiliza para la producción de ácido poliláctico y polilactato, de amplia aplicación industrial como solvente biodegradable para pinturas y resinas, en la industria farmacéutica, y en la industria de los bioplásticos.

C. Criterios para la identificación, caracterización y selección de iniciativas de biorrefinería

Para la identificación, caracterización, y selección de iniciativas relevantes de biorrefinería los siguientes criterios son importantes:

- Mapeo de cadenas de valor para establecer las fortalezas, debilidades, oportunidades y desafíos atribuibles a las cadenas de valor de base biológica relevantes en Ecuador.
- Acceso y disponibilidad a tecnologías y procesos sostenibles bio-basados y enfocados en los conceptos de biorrefinería, tecnología cero desechos, y obtención de bioenergía, biocombustibles, bioproductos y biomateriales de alto valor agregado.

- Tipos de innovación en bioeconomía.

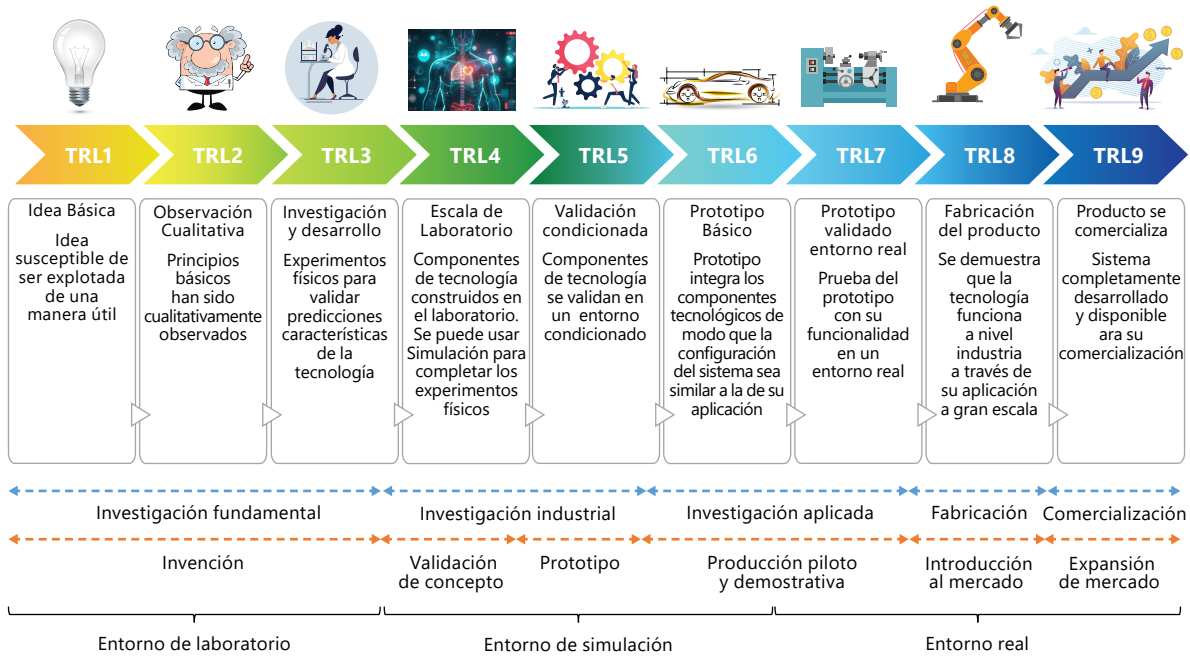
Según Bröring et al. se pueden definir cuatro tipos de innovación en bioeconomía (Bröring et al., 2020):

- *Innovación Tipo I* - Productos sustitutos, es uno de los más grandes desafíos de la bioeconomía ya que se persigue reemplazar las materias primas y/o productos provenientes de recursos fósiles con aquellos provenientes de recursos biológicos renovables. Estos sustitutos biobasados tienen un amplio espectro de aplicación y entran a las cadenas de valor existentes con facilidad, sin ser disruptivos. El producto en sí es nuevo, pero no tiene funciones diferentes a las de otro producto existente en el mercado. Por ejemplo, la sustitución de productos petroquímicos como combustibles por el bioetanol, ya está muy difundido en el mercado; la misma situación se observa con el ácido poliláctico y los biocombustibles obtenidos a partir de la biomasa lignocelulósica, que son tecnologías promisorias. Por su parte, el bioetanol puede reemplazar a la gasolina como combustible líquido para transporte y puede ser convertido en plataforma química, como químico intermedio para obtener otros compuestos químicos al granel (Tong et al., 2022). En relación a los plásticos y polímeros sintéticos, éstos también puede ser reemplazados por versiones biobasadas más sostenibles (Gowthaman et al., 2021).
- *Innovación Tipo II* - Nuevos procesos bio-basados, son todas aquellas innovaciones que generan mejoras en la producción bio-basada y en las cadenas de valor que causan mejoría en el desempeño de procesos ya establecidos o tienen carácter disruptivo y generan nuevas cadenas de valor y nuevas oportunidades de procesamiento. Por ejemplo, integrar a un proceso de biorrefinería la extracción de compuestos bioactivos mediante el uso de solventes naturales o solventes eutécticos profundos e incluirlos en alimentos funcionales (Tituaña & Orejuela-Escobar, 2018). Estos mismos extractos pueden ser utilizados como medio de reacción (agentes reductores) para la obtención de nanopartículas metálicas antibacteriales.
- *Innovación Tipo III* - Nuevos productos bio-basados, Por ejemplo, una nueva cadena de valor que se agrega al proceso de producción de chocolate, al usar la cascara de mazorca de cacao como materia prima para producir nanocelulosa fibrilada (Zambrano-Mite et al., 2023), o la producción de nanopartículas de plata antibacteriales mediante síntesis verde, usando extractos de semillas de aguacate y de cascara de mazorca de cacao (Cañadas et al., 2022) dentro de un proceso de biorrefinería de residuos agroindustriales. La aplicación de estos materiales nanoestructurados tiene un gran potencial para desarrollar nanotecnología y nanociencia en Ecuador.
- *Innovación Tipo IV* - Nuevos comportamientos, se refieren a innovaciones que facilitan o requieren de una "nueva forma de hacer las cosas" y pueden ocurrir del lado del cliente que demanda mayor cantidad de productos bio-basados o del lado del productor que aumenta la oferta en este tipo de productos, y que además ofrece mejor calidad de bioproductos "inteligentes". Por ejemplo, usar el concepto de biorrefinería circular o producción "en cascada" para el procesamiento de residuos forestales, agrícolas, agroindustriales o urbanos (L. M. Orejuela-Escobar et al., 2021), iniciando el procesamiento de la biomasa residual con la extracción "verde" de compuestos bioactivos de bajo peso molecular y luego realizar la deconstrucción de la pared celular mediante pretratamientos sostenibles para su fraccionamiento en tres corrientes de biopolímeros: celulosa, hemicelulosas y ligninas, y los productos químicos resultantes de su despolimerización o degradación durante la deconstrucción de la pared celular.

- Factibilidad técnico-económica
 - Los proyectos de desarrollo tecnológico deben evaluar la posibilidad (técnica) de aplicar los conceptos de biorrefinería y tecnología cero desechos en la biodiversidad, biomasa y biomasa residual, para que se generen la mayor cantidad de productos con propiedades mejoradas comercializables (en cascada).
 - Producto Mínimo Viable (MVP, minimal viable product en inglés) o prueba de concepto.
 - En el área de bioeconomía avanzada y biotecnología, los avances tecnológicos de los últimos 10 a 20 años han privilegiado la exploración de ideas novedosas. Hoy en día es accesible leer, escribir y editar genes y genomas y recopilar una gran cantidad de datos relevantes. Se han construido modelos metabólicos industriales para muchos microorganismos y están disponibles en repositorios públicos gratuitos. Esto significa que llegar a un producto mínimo viable (MVP, minimal viable product en inglés) o prueba de concepto (PoC) se ha convertido en una realidad, lo que ha incrementado el potencial creativo tanto en empresas emergentes como en laboratorios académicos (Nielsen et al., 2022).
- Maduración tecnológica y maduración de manufactura
 - La maduración tecnológica de los productos/servicios de la bioeconomía deberían estar al menos en un TRL 5 o 6 para ser considerados competitivos y sostenibles (diagrama 9).
 - La maduración de manufactura de los productos/servicios de la bioeconomía deberían estar al menos en un MRL 6 o 7 para ser considerados productivos (diagrama 10).
 - En el diagrama 11 se ilustra la relación entre maduración tecnológica y maduración de manufactura.
- Acceso a créditos para financiar actividades productivas.

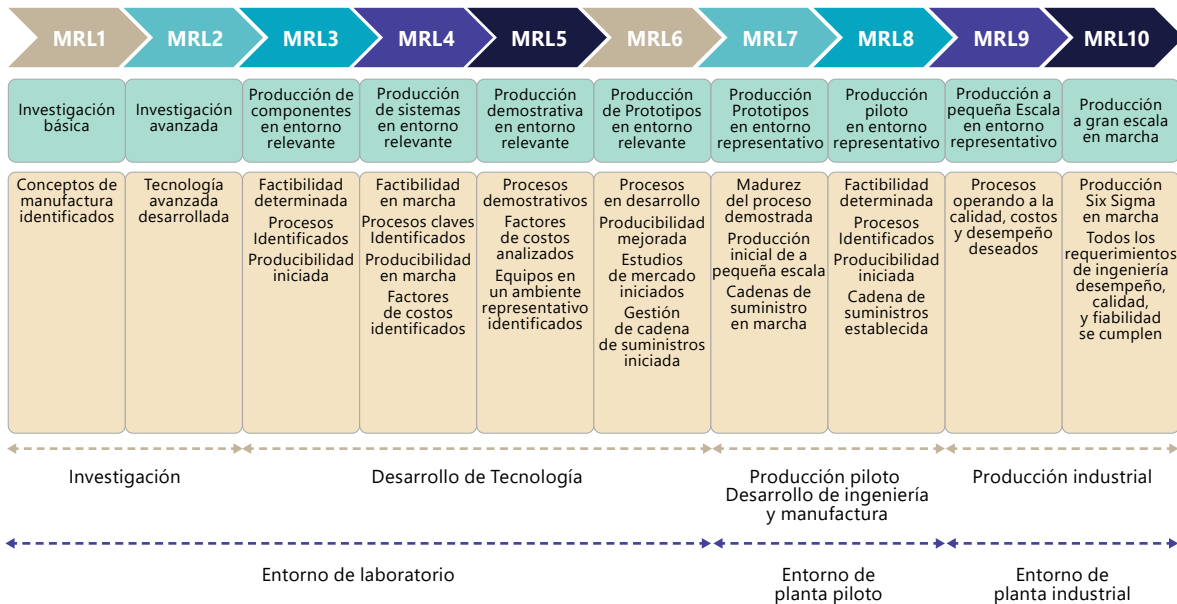
El financiamiento de actividades de investigación y proyectos de desarrollo en el ámbito de la bioeconomía avanzada sostenible es una prioridad nacional; por lo que es fundamental que todas las entidades de gobierno encargadas de las políticas y estrategias de bioeconomía, institutos nacionales, universidades, sociedad civil e instituciones de asistencia técnica internacional y países donantes tomen como referencia Estrategia Nacional de Bioeconomía Sostenible.
- Otras barreras asociadas a aspectos socioeconómicos y culturales que hay que enfrentar en el desarrollo de la Innovación son:
 - Importancia comercial de la variedad vegetal (especie), animal o microorganismo.
 - Volumen de la especie de la biodiversidad, de biomasa/biomasa residual disponible (ver cuadro 2).
 - Accesibilidad a la biomasa/biomasa residual disponible (ubicación geográfica).
 - Costo de la materia prima (biomasas primarias y biomasa residual).
 - Facilidad de manejo y almacenaje de materia prima.
 - Variabilidad de la materia prima (especie) – Maduración, época del año, sequías
 - Profesionales calificados para desarrollar actividades de bioeconomía avanzada.

Diagrama 9
Niveles de maduración tecnológica



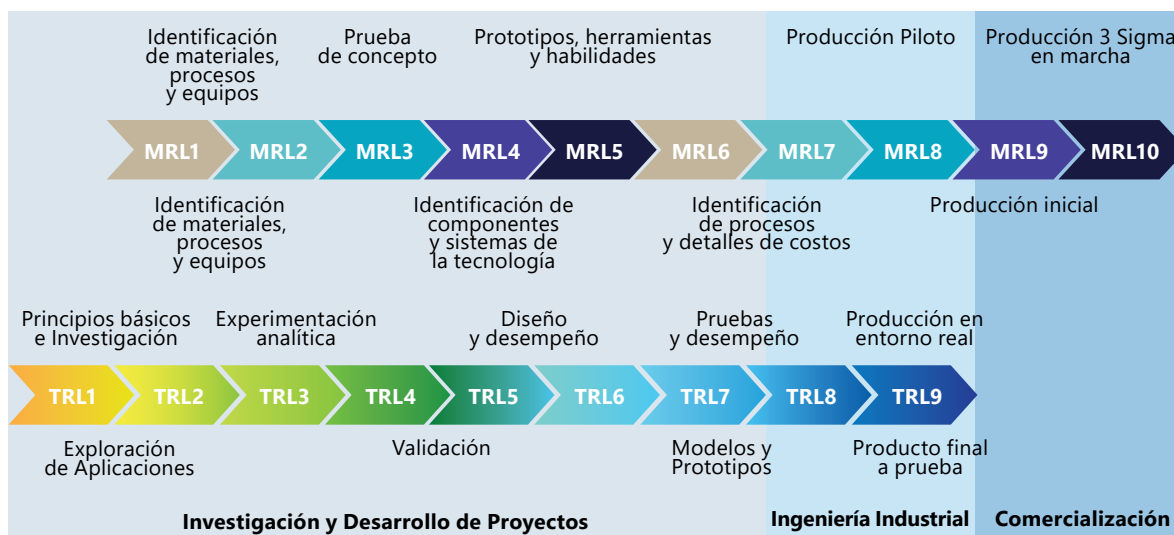
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 10
Niveles de madurez de manufactura



Fuente: Basada en (Basu & Ghosh, 2017).

Diagrama 11
Comparación entre los niveles de maduración de manufactura y los niveles de maduración de tecnología



Fuente: Elaboración propia.

D. Identificación y caracterización de iniciativas relevantes de bioeconomía avanzada

Para identificar y caracterizar las iniciativas más importantes de bioeconomía avanzada en las diferentes instituciones públicas, privadas y de cooperación internacional se realizó una encuesta que se distribuyó a 125 docentes-investigadores e inversionistas privados y agencias de cooperación técnica. Las respuestas recibidas de universidades y empresas privadas permitieron identificar 68 iniciativas relevantes (ver anexo).

No en todos los casos se obtuvo la información sobre financiamiento y grado de maduración tecnológica y de manufactura (ver diagramas 9, 10 y 11). No obstante, los proyectos de investigación y desarrollo se han ordenado según el nivel de maduración tecnológica, según el caso.

1. Industria camaronera

Existe una inversión importante de la industria biotecnológica en el sector de producción de camarones (*Caridean shrimp*), donde se ubican los proyectos con mayor nivel de maduración tecnológica y de manufactura y que son financiados con fondos privados. Se destaca el Laboratorio de I+D+i de la empresa Clydent S.A., que tiene convenio de colaboración con la Universidad San Francisco de Quito desde el año 2019 y que ha logrado captar fondos nacionales como SENESCYT y CEDIA, así como también fondos de la USFQ a través de grants de investigación y de vinculación con la empresa. Sin embargo, el mayor financiamiento para sus proyectos propios son fondos privados, han desarrollado bioproductos como bacteriófagos, sustrato simbiótico (harina micronizada), y consorcios de bacterias, que ya están comercializándose en el mercado local (TRL y MRL = 9).

2. Industria bananera

Otro sector importante que se ha sido identificado es la industria bananera, donde también hay interés en valorizar los residuos ya que es una industria con un alto volumen de residuos tanto en el campo de cultivos como en el procesamiento de bocadillos (*snacks*), harina, entre otros. La obtención de fibras naturales de buena calidad a partir del raquis de banano y de los pseudotallos y hojas es un campo interesante que se debe seguir apoyando mediante fondos nacionales y/o de asistencia técnica internacional. También se debe

apoyar la obtención de productos de mayor valor agregado como los biopolímeros naturales nanocelulosa, nanoxilano y nanolignina y sus derivados, con amplia aplicación en salud, industria y remediación ambiental. En el sector bananero destaca el proyecto “Optimización y viabilidad técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de los residuos de la industria bananera”, realizado en el marco de colaboración de la USFQ y Clydent S.A., cuya patente está en trámite y que alcanzó un TRL = 6 y MTL = 7. En este proyecto se desarrolló un proceso integrado multiproducto en cascada para la obtención de bioetanol, nanolignina, CO₂ y extractos de levaduras.

3. Industria de la palma aceitera

El sector de los palmicultores y extractoras de aceite de palma africana ha mostrado interés en diversificar su oferta e incrementar su productividad y competitividad, valorizando los residuos tanto de campo como en el proceso de extracción del aceite de palma, en la obtención de bioproductos de alto valor agregado como la nanocelulosa fibrilada (patente en proceso) y derivados importantes para la industria química, de alimentos como la carboximetilcelulosa, aunque estos proyectos están en una etapa inicial y todavía se debe continuar con las investigaciones para alcanzar una maduración tecnológica apropiada y llegar a la comercialización de estos bioproductos con propiedades mejoradas y de amplia aplicación en el sector industrial químico, pinturas y adhesivos, pulpa papel, empaque y embalaje, electrónicos, 3D printing, etc. Los proyectos de investigación con residuos de palma africana tienen una maduración tecnológica TRL y nivel de maduración de manufactura MRL de alrededor de 4 y 5.

4. Industria del cacao

El cacao y sus bioresiduos es un sector en crecimiento y se están desarrollando varios bioproductos tanto a nivel de investigación académica como a nivel de comunidades, especialmente en la Amazonía Ecuatoriana (ver anexo). Debe continuar el apoyo financiero de entidades gubernamentales y de organismos de asistencia internacional para conseguir los objetivos de desarrollo sostenible de estos sectores rurales y sus comunidades. Las cáscaras de mazorca de cacao que representan el mayor volumen de residuos de esta industria y que posee una composición química muy rica en componentes químicos bioactivos y biopolímeros comercializables en su pared celular, es la que mayores oportunidades de investigación presenta por la diversificación de bioproductos de alto valor agregado que se pueden obtener, aunque los diversos proyectos desarrollados con la cascara de mazorca de cacao como materia prima no han alcanzado aún un nivel de maduración tecnológica TRL mayor a 4 y un nivel de maduración de manufactura mayor a 5.

5. Industria de la tagua

Las comunidades de la costa ecuatoriana tienen a la tagua como una fuente de materia prima que ha brindado puestos de trabajo a lo largo del siglo XX y XXI y si bien el mercado desarrollado es el de discos para botones (industria textil y de la moda), en el cual el nivel de maduración tecnológica ha alcanzado el máximo (TRL = 9 y MRL = 10). La tagua tiene una composición química rica en el biopolímero manano (más del 90% de la composición del endocarpio) puede ser extraído mediante técnicas eco-amigables para ser incluido en productos de alto valor agregado como alimento animal, sistemas de liberación controlada de fármacos, nutracéuticos, biopelículas comestibles para protección de frutas y alimentos, entre otras aplicaciones en biomedicina y alimentos. La manosa, un monosacárido de la tagua también puede ser recuperada y utilizada en la producción de nutracéuticos y cosméticos. En éstos últimos desarrollos, el TRL es de 4, y el MRL es de 5.

Se identifican otros proyectos de investigación manejados por comunidades, asociaciones y/o fundaciones en la Amazonía, Costa y Sierra ecuatoriana cuyo propósito es desarrollar productos comercialmente viables, pero además su objetivo es el de conservación de ecosistemas frágiles, creación de puestos de trabajo, equidad de género y en general un mejoramiento de calidad de vida de estas comunidades. Algunos han logrado captar fondos de asistencia internacional y otros trabajan con fondos

propios, de otros proyectos no se ha podido recabar esta información. Sin embargo, cabe destacar que son proyectos de monitoreo y si son de producción, la mayoría está en su etapa inicial. Por ejemplo, la Fundación Heifer Internacional ha financiado las fases iniciales de un proyecto de Sistema de monitoreo de biodiversidad biológica en sistemas agroforestales (SAF), en un trabajo colaborativo con el Instituto Nacional de Biodiversidad y UNOACE (Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras del Ecuador), ubicada en la ciudad de Milagro, provincia del Guayas. Así mismo, esta fundación está trabajando en otro proyecto en la industria del café en el “Desarrollo de prototipo de Nutricafé: enmienda enriquecida con microorganismos eficientes” con la prefectura de Loja, en el sur del Ecuador, que también está en su fase inicial. Un proyecto interesante financiado por Fundación Heifer Internacional es el de la Reproducción de 6 morfos de la rana “*Oophaga sylvatica*”, para el mejoramiento de las técnicas ya utilizadas por la empresa “Wikiri”, ubicada en La Florida, Santo Domingo de los Tsáchilas; esta iniciativa presenta un TRL de 9 y un MRL de 7.

6. Producción de bioenergía

Los residuos de la ganadería pueden constituirse en insumo para iniciativas de mitigación de gases de efecto invernadero (Cornejo & Wilkie, 2010). Cornejo y Wikie estimaron las reducciones potenciales totales en las emisiones provenientes de la captura de gas metano a partir de la digestión anaeróbica de estiércol de ganado vacuno, cerdos y aves y sustituyendo el gas licuado de petróleo (GLP) por metano a 308 GgCO₂Eq. Este mismo gas metano podría ser utilizado para generar 275 GWh de electricidad. Los beneficios adicionales de la digestión anaeróbica del estiércol incluyen la recuperación de nutrientes del efluente digerido, que podrían usarse como biofertilizantes y mejoradores de suelos. La captura de estos gases de efecto invernadero y el uso de digestores anaeróbicos para producir energía y otros productos tienen potencial en Ecuador.

La biomasa residual proveniente de la agricultura, la ganadería y las actividades relacionadas con la silvicultura, puede ser materia prima para la producción de hidrógeno (H₂) (Posso et al., 2020). Los métodos de producción de H₂ contemplan rutas termoquímicas, bioquímicas y electroquímicas. El potencial total de producción de H₂ es 1.600.000 ton H₂/año. Además, el H₂ tiene potencial aplicación en la hidrogenación de grasas y productos nitrogenados, a escala nacional. Esto significa que el H₂ residual procedente de la biomasa podría convertirse en una fuente adecuada para usos energéticos y obtención de productos químicos en el Ecuador, ya que propone enfoques novedosos para diversificar las fuentes secundarias de energía (Economía del Hidrógeno).

7. Producción de bioinsumos agrícolas

Otra iniciativa interesante es la producción de biochar o biocarbón a partir de subproductos agrícolas para remover plomo y calcio del agua potable. Un grupo de investigadores de la Universidad Técnica Particular de Loja y de la Universidad de Granada (Puglla et al., 2020) reportan la capacidad de adsorción de plomo Pb²⁺ y cadmio Cd²⁺ del biocarbón obtenido a partir de cáscaras de maní (BCM), pulpa de chonta (BCH) y mazorca de maíz (BMM) calcinadas a 500, 600 y 700 °C, respectivamente. Las condiciones experimentales óptimas de pH y la capacidad máxima de adsorción fueron evaluadas. Además, se evaluó la cinética y los resultados muestran que el biocarbón con mayor capacidad de eliminación de Pb²⁺ y Cd²⁺ se obtuvo de la cáscara de maní (BCM) calcinada a 565 °C en 45 min. Se obtuvieron altos índices de eliminación: 95,96% para Pb²⁺ y 99,05%. Para Cd²⁺.

El grupo de Ingeniería Circular Aplicada y Simulación (GICAS-USFQ) están realizando un estudio sobre la producción de hidrochar a partir de residuos agroindustriales, especialmente de cáscaras de cacao y banano y la evaluación de sus propiedades dieléctricas como materiales alternativos a los usualmente utilizados en la industria de los semiconductores. Este grupo de trabajo está impulsando la línea de investigación (electrónica sostenible/sustentable) y está trabajando con otros residuos agroindustriales para su valorización, tanto en su aplicación como sólidos como en fase fluida (Landázuri et al., 2023). Adicionalmente, estos “hydrochars” se utilizan para otras aplicaciones de remediación ambiental (ej: tratamiento de aguas, suelos), y aplicaciones agrícolas (Navas-Cárdenas et al., 2023).

El grupo de trabajo de Valverde-Orozco (Valverde-Orozco et al., 2022) the agriculture and livestock sectors are very important within the economy of rural areas. These activities generate a large amount of waste whose management is not optimized. Thus, the aim of this work was to characterize different agro-livestock wastes generated in a rural area, the parish of San Andrés (Chimborazo-Ecuador estudió la composición química del estiércol y de 24 residuos vegetales para diseñar un proceso de compostaje apropiado. Sus resultados mostraron que el compostaje con aireación pasiva fue una estrategia adecuada para manejar los residuos de ganadería, el compost obtenido presentó contenidos interesantes en macro y micronutrientes y materia orgánica, así como bajo niveles de metales pesados, propiedades de calidad adecuadas para el compost final obtenido. Además, otras investigaciones sobre uso de residuos agroindustriales para protección de cultivos han sido realizadas por otros investigadores (Hernández-Aranda et al., 2021).

Otro grupo de investigación del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad San Francisco de Quito, también ha realizado varios estudios sobre la producción de biogás y fertilizante orgánico a partir de mezclas de desechos de procesadoras de frutas desde el 2010 (Chiriboga Novillo, 2010) (Huang, 2015). En otro estudio, este grupo de trabajo realizó la pirolisis rápida del raquis de banano en un reactor de caída libre a 600 °C y de polietileno de baja densidad (LDPE) a 450 °C (Streitwieser et al., 2021), obteniendo productos C₁ y C₂ para el caso del raquis de banano y C₃ para el caso del LDPE. Los productos líquidos de banano y LDPE corresponden a grupos funcionales e hidrocarburos más cortos. El biochar o carbón de pirolisis tiene alto potencial como adsorbente, como agente para encapsulación o catalizador. Asimismo, se ha estudiado la valorización bioresiduos agroindustriales mediante la oxidación catalítica selectiva a ácido fórmico y ácido acético usando el proceso (OxFA) (Ponce et al., 2023).

8. Industrias química y de alimentos

En una investigación recientemente publicada (Eguiguren et al., 2023) se realizó un estudio técnico-económico para producir ácido fórmico y ácido acético a partir de las cáscaras de los granos de café mediante un método de oxidación de la biomasa en Machala, provincia del Oro, en Ecuador. Este trabajo determinó que la tasa interna de retorno es menor a 5 años al procesar un volumen de 1000 ton/año de ácido fórmico, volumen que cubriría la demanda interna de este producto y reduciría la necesidad de su importación. Por tanto, este proyecto sería económicamente viable y fomentaría el desarrollo de la industria química en Ecuador.

Las provincias ecuatorianas de Esmeraldas, Carchi, Ibarra y Sucumbíos producen diariamente más de 407 m³ de leche, un tercio de la misma se emplea para producir diferentes tipos de quesos, generando alrededor de 122 m³ de suero. El suero se utiliza como alimento animal, sin embargo y desafortunadamente la mayor parte del mismo se vierte en ríos, lagos, etc.; contaminándolas. De ahí que sería lo más adecuado adoptar medidas medioambientales más estrictas y entre los productores fomentar la necesidad de transformar el suero en efluentes menos contaminantes y más bien crear una gama de productos con mayor valor agregado y amortizar parcialmente los recursos invertidos en esta transformación (JMP et al., 2017). La cartera de productos finales del procesamiento del suero de la leche es muy variada, entre los productos que se pueden obtener se encuentran alimento animal, alimento humano, sales minerales, proteínas, enzimas, productos fermentados – que pueden ser fuente para probióticos, ácidos orgánicos, alcoholes, entre otros.

9. Aplicaciones biomédicas

El uso de biomasa y bioresiduos con aplicaciones biomédicas también está siendo desarrollado por otros investigadores de la USFQ, y tiene varias publicaciones entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: propiedades antimicrobianas de fibras vegetales (Zamora-Mendoza et al., 2022); fibras vegetales como refuerzos para materiales compuestos (Zamora-Mendoza, Gushque, et al., 2023); hidrogeles basados en celulosa para apósitos antibacterianos (Guamba et al., 2023); nanopartículas a base de lignina con propiedades lumiscentes para bioimágenes (Arcentales et al., 2023); hidrogeles para

liberación controlada de componentes bioactivos de hojas de *Eupatorium glutinosum* (Zamora-Mendoza, Vispo, et al., 2023); y el uso de extractos de plantas y derivados de la miel como probióticos para combatir a los patógenos multiresistentes (Machado et al., 2023). Estos estudios demuestran el gran potencial de nuestro país para desarrollar el área de biomedicina apoyada en biodiversidad, biomasa y bioresiduos.

Todas las iniciativas anteriormente mencionadas están relacionadas con la valorización de la biodiversidad y sus elementos, la biomasa y la biomasa residual forestal, agrícola, agroindustrial. Industrial y urbana en Ecuador.

E. Biorrefinería en cascada multiproducto e integrada para la producción de biocombustibles

La biorrefinería en cascada multiproducto e integrada, utilizando rutas de conversión química, bioquímica y biotecnológica con enfoque en tecnología eco-amigable y sostenible, brinda una solución atractiva para reducir la dependencia de materias primas provenientes de fuentes fósiles y al mismo tiempo minimizar la biomasa residual y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, sobre todo del CO₂, fomentando un medio ambiente más limpio y una sociedad moderna sostenible.

En relación a la producción de biocombustible de segunda generación a gran escala en Ecuador, se puede indicar que para el caso del bioetanol, se usa como materia prima produce bioetanol a partir de la caña de azúcar, más no a partir de sus residuos agroindustriales, por lo que se hace necesario hablar del nexo Agua-Energía-Alimento y su contribución al desarrollo de energía asequible para implementar el enlace entre la generación de energía y la seguridad alimentaria (Herrera-Franco et al., 2022). En el 2010, Ecuador instauró la política de producción de bioetanol para reemplazar el 10% de la gasolina usada como combustible para transporte, a fin de reducir las emisiones de gas de efecto invernadero. No obstante, solo se comercializó gasolina con 5% de bioetanol en ciertas ciudades ecuatorianas y lamentablemente en septiembre de 2023, se terminó la implementación de este plan piloto (Angulo, 2023).

En un estudio reciente (Macias Mendoza et al., 2022) se evaluó el desarrollo de la industria de bioetanol en Ecuador en los últimos 10 años y su perspectiva futura; para lo cual realizó un análisis de datos e informes de EP Petroecuador, así como un estudio de la literatura publicado sobre la obtención de bioetanol a partir de diferentes materias primas. La Constitución Nacional, leyes y reglamentos ambientales y varios decretos ejecutivos son el marco legal que regula la producción de biocombustibles en Ecuador. El artículo 15 de la Constitución declara que "El Estado tomará las medidas orientadas a promover en el sector público y privado el uso de tecnologías limpias y energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (Constituyente, 2008, p. 13). El Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, dispone en el artículo 67 que "En la producción de combustibles, la calidad podrá ser mejorada mediante la incorporación de aditivos en refinerías y/o terminales. Se preferirá y fomentará el uso de aditivos oxigenados tal como el etanol anhidro a partir de materia prima renovable (Gobierno del Ecuador, 2001, p. 38). Según Gallardo & Saúl (2018), el 28 de septiembre de 2012, se promulga el Decreto Ejecutivo No. 1303, el cual establece en su artículo 1, que "Es de interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. Se dispone que la producción, el uso y el consumo de los biocombustibles responderán a una estrategia inclusiva de desarrollo rural, precautelando la soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental" (p 17). Adicionalmente, Martínez Olaya (2018, p. 40) señala que en el Acuerdo Ministerial 135 del Reglamento para autorización de actividades de Comercialización de Mezclas de Combustibles del Ecuador, se autoriza las actividades de comercialización de mezclas de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos con biocombustibles.

Lo anterior muestra que el marco legal en relación a los biocombustibles en Ecuador contempla las medidas dirigidas a fomentar las tecnologías limpias y energías alternativas no contaminantes, como

Parajuli et al. han estudiado aspectos de sostenibilidad de los sistemas de biorrefinería con enfoque en cadenas de suministro de biomasa, y su procesamiento en biorrefinerías. Desde el punto de vista de la sostenibilidad, es importante optimizar el sistema de producción agrícola y minimizar los impactos ambientales afines al sistema agrícola. Estos impactos están relacionados principalmente con los insumos agroquímicos y las emisiones ambientales no deseadas y con las repercusiones de la producción de biomasa. De igual manera, las biorrefinerías necesitan un suministro de biomasa durante todo el año y alrededor del 40% al 60% del costo operativo total de una biorrefinería típica está relacionado con las materias primas seleccionadas y, por lo tanto, hay que priorizar la selección de las materias primas en función de sus cargas económicas y medioambientales. En relación con el procesamiento en biorrefinería, la composición química de la biomasa es preponderante, por ejemplo, se prefiere utilizar biomásas con mayores concentraciones de celulosa y hemicelulosas a aquellas más ricas en lignina para la producción de bioetanol porque el interés es generar azúcares fermentables a partir de la celulosa para asegurar mayores rendimientos de conversión. Por otro lado, en una biorrefinería verde que permite la extracción de proteínas de pastos, se puede optimizar su valorización procesando también la biomasa residual para obtención de bioetanol. Actualmente, existe el enfoque de biorrefinería en cascada o multicomponente, cuyo objetivo es mejorar su sostenibilidad económica y medioambiental. Respecto de la evaluación de la sostenibilidad, las complejidades relacionadas con los flujos de materiales y la entrega de bioproductos alternativos se deben abordar incluyendo múltiples indicadores en el proceso de toma de decisiones. La evaluación del ciclo de vida (LCA) se considera una de las herramientas más relevantes para evaluar los puntos críticos ambientales en las cadenas de suministro de biomasa, en las etapas de procesamiento y también para apoyar la priorización de cualquier bioproducto específico (Parajuli et al., 2015).

El grupo de investigación de Makendrasinh señala que el desarrollo de una bioeconomía ambientalmente sostenible dependerá de las decisiones correctas que se tomen a todo nivel, que van desde la selección apropiada de la materia prima para su valoración en forma neutra en carbono siguiendo rutas eco-amigables y sostenibles para la producción de bioetanol y de productos químicos intermedios o de plataforma; la superación de los cuellos de botella de los pretratamientos; la reducción de costos en la hidrólisis química y enzimática; y el uso de la ingeniería genética y metabólica para incrementar los rendimientos de la biocatálisis necesaria para la deconstrucción de la biomasa y obtención de bioenergía, biocombustibles, bioproductos de plataforma y de alto valor agregado. Este estudio indica que los altos costos operativos y de capital, la poca maduración técnica y los desafíos del escalamiento son los principales obstáculos para los procesos de biorrefinación industrial. Asimismo, recomienda la realización de un análisis tecno-económico (TEA, por sus siglas en inglés) y una evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) simultáneos junto con la valoración económica de los efectos ambientales para que dichos procesos sean competitivos. Estos tres principales componentes de la biomasa son necesarios para asegurar el uso eficiente del recurso biomasa en una industria específica para que las instalaciones de biorrefinación utilizando residuos lignocelulósicos sean rentables (Mahendrasinh Kosamia et al., 2022).

Ecuador es un país biodiverso y las comunidades rurales en todo el territorio nacional se han dedicado a las actividades agrícolas y agroindustriales usando especies nativas y también varias especies introducidas que han sido exitosamente adaptadas a las condiciones climáticas del Ecuador. No obstante, existen cultivos que han tenido mayor éxito y han generado la agroindustria que ha desarrollado mercados internacionales con notables resultados. En este capítulo, se describen las industrias con mayor potencial para desarrollar una bioeconomía avanzada en Ecuador, que de acuerdo a la encuesta realizada entre los estudios de investigación y proyectos que se están desarrollando en la academia, los institutos nacionales de investigación, el sector privado y los organismos internacionales de asistencia técnica, son: la industria del banano, del cacao, del arroz, de la palma africana y de la tagua.

IV. Iniciativas de biorrefinerías en cadenas de valor promisorias y potencial escalamiento

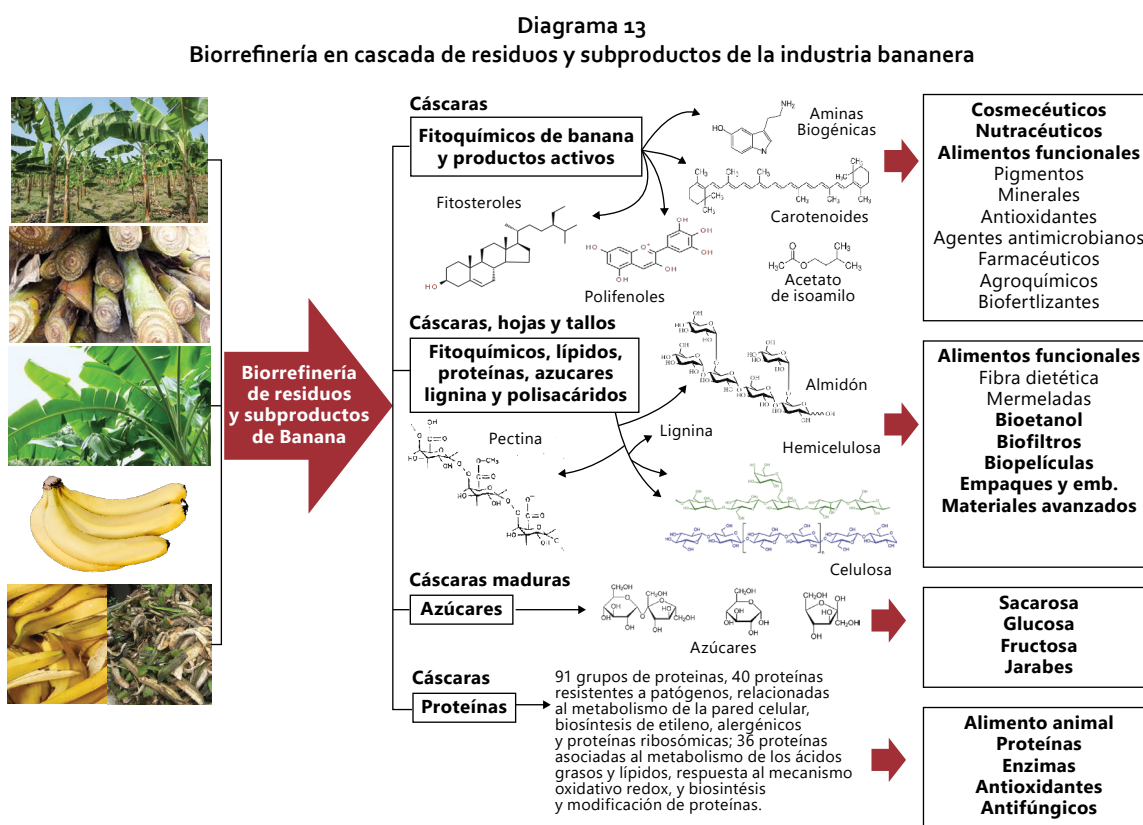
A partir de los criterios propuestos en el capítulo anterior para la identificación de iniciativas, de la caracterización realizada, y de los resultados de la encuesta realizada, se identifican cinco cadenas de valor promisorias y con potencial de escalamiento para el desarrollo de biorrefinerías. Cuatro son basadas en el aprovechamiento de desechos en cadenas agroindustriales existentes en el país (banano, cacao, arroz, y palma de aceite) y una basada en el uso integral de un producto de la biodiversidad (Tagua).

A. Biorrefinería en la cadena del banano (*Musa sp.*)

1. Oportunidades

El banano es la fruta más comercializada en el mundo. Su cultivo en el país inició en la década 1920 y alcanzó su auge en la década de 1940-1950, época en que Ecuador fue el primer exportador mundial con un 22% de la exportación mundial. Desde entonces la industria bananera ha crecido en otros países centroamericanos y el banano ecuatoriano ha sufrido restricciones en el mercado europeo, que es el principal comprador con un total de 28.9%. En Ecuador, alrededor del 78% de los productores bananeros son compañías pequeñas, que junto con un 18% de compañías medianas, hacen un total de aproximadamente 96%; de manera que la producción de esta fruta se basa en una economía familiar. Es decir, la producción de banana es 100% ecuatoriana y el 70% de las actividades de mercadeo son realizadas por ecuatorianos (Vaca et al., 2020). Para que esta industria incremente su rentabilidad y competitividad es importante que diversifique su oferta industrializando sus subproductos y residuos mediante biorrefinerías en cascada y la adopción de tecnologías eco-amigables y sostenibles.

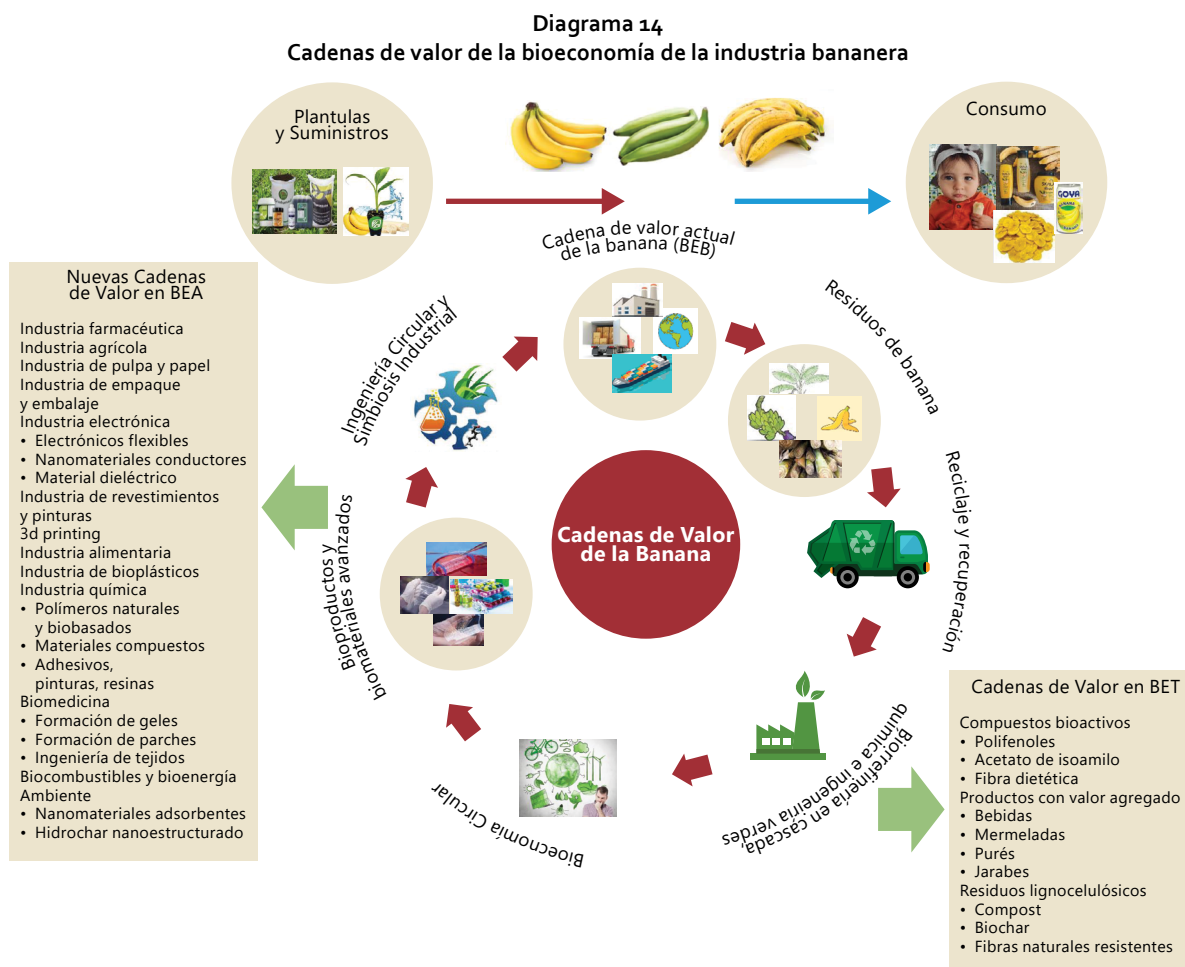
En el diagrama 13 se presenta la biorrefinería en cascada de residuos y subproductos de la especie *Musa sp.* y sus residuos en el campo y en la planta industrial de procesamiento para su comercialización (pseudotallo, hojas, racimos desnudos o poco desarrollados) y en la planta industrial (raquis o racimo vacío y cascaras), además, los componentes químicos varían según la fruta este verde o madura. El diagrama refleja el análisis de varias publicaciones científicas de la literatura, resaltando la riqueza de estos residuos en componentes químicos, que aislados y procesados mediante rutas eco-amigables y sostenibles se convierten en productos de alto valor agregado como compuestos bioactivos (polifenoles, pigmentos, carotenoides, azúcares, proteínas, enzimas, lípidos, así como polisacáridos y ligninas) que pueden ser incluidos en productos de mayor valor agregado como cosmecéuticos, nutraceuticos, farmacéuticos, agroquímicos, biofiltros para remediación de aguas contaminadas, bioplásticos y biopelículas, para empaques y embalajes y otro materiales avanzados con potencial de escalamiento a plantas piloto o escala industrial.



Fuente: Elaboración propia.

Una cadena de valor permite conocer el funcionamiento de un proceso productivo desde el punto de vista tecnológico y económico; definir parámetros para mantener o generar competitividad; evaluar el impacto de los cambios en el entorno y la influencia de la situación económica nacional e internacional; a fin de establecer agendas de trabajo conjuntas entre los agentes económicos que participan en la cadena (Coursaris et al., 2006). La biorrefinería en cascada abriría la posibilidad de desarrollar nuevas cadenas de valor. En el diagrama 14 se muestran las cadenas de valor actual en la bioeconomía básica (BEB), en la bioeconomía de transformación (BET) y en la bioeconomía de productos de alto valor agregado o bioeconomía avanzada (BEA), para la industria bananera. Las plantaciones bananeras requieren de suministros para asegurar la calidad y volumen apropiados para asegurar su comercialización nacional e

internacional, la fruta ingresa a la empresa, se empaqueta y luego se transporta a los diferentes mercados donde se consume. Su consumo genera residuos, que tradicionalmente no entraban en la cadena de valor, como son las cáscaras y raquis o racimos vacíos, que, sin embargo, en la actualidad y de manera local, se pueden recuperar y reciclar para obtener compuestos bioactivos (pigmentos, enzimas, aromas, fibra dietética), productos alimenticios como bebidas, purés, jarabes y mermeladas; así como también material lignocelulósico que es transformado a compost, biochar o fibras naturales de alta resistencia. El enfoque de biorrefinería en cascada y la aplicación de química e ingeniería verdes permitirían desarrollar la bioeconomía circular y se producirían una serie de nuevos bioproductos y biomateriales avanzados con propiedades químicas, físico-químicas y mecánicas mejoradas que permiten su aplicación en las áreas de salud, biomedicina, industrias (tradicionales y modernas - biotecnología, nanotecnología, electrónica, entre otras) y en remediación ambiental, especialmente en tratamiento de aguas contaminadas y recuperación de suelos erosionados; promoviendo el desarrollo de la bioeconomía avanzada.

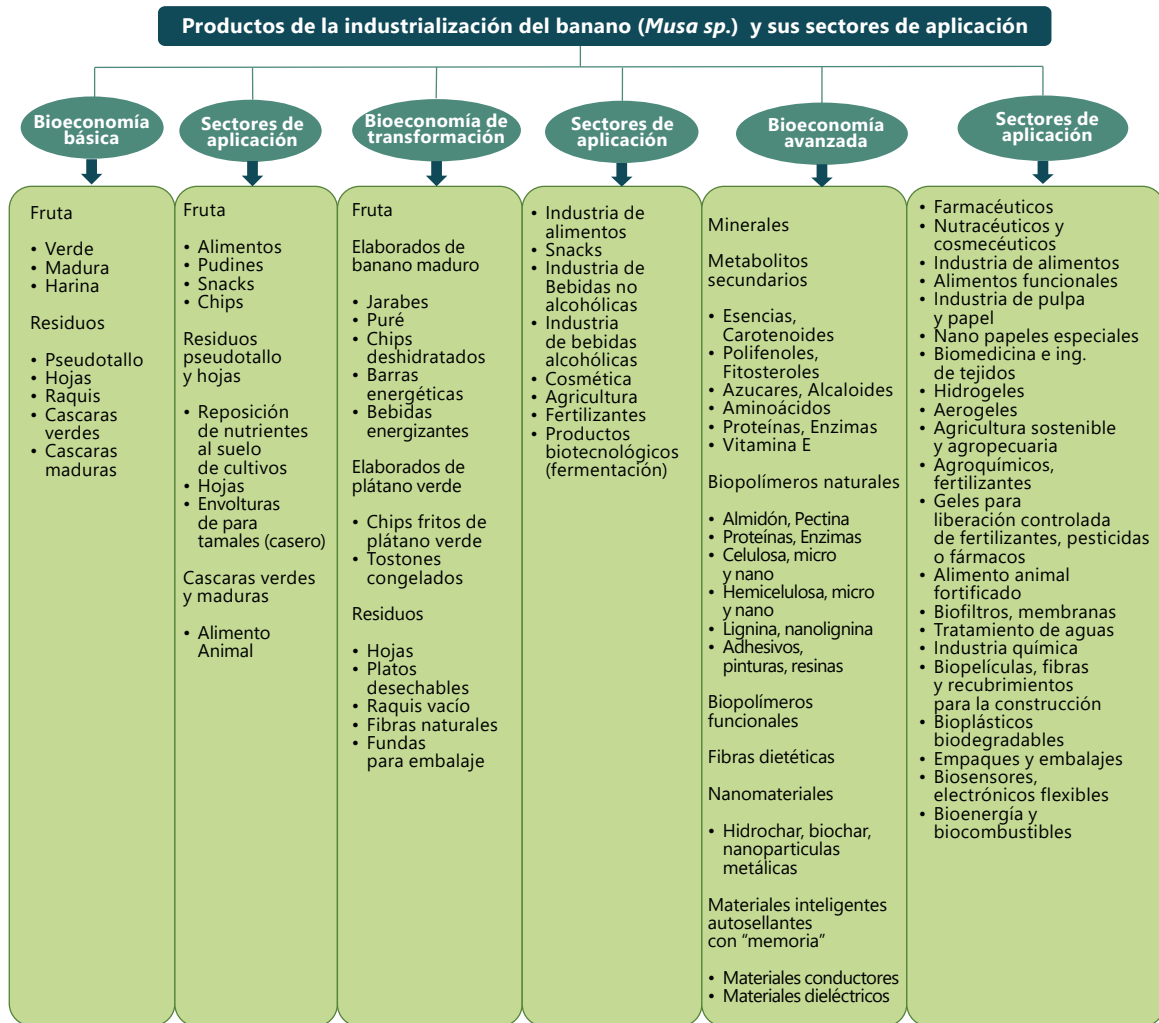


Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de ilustrar y a manera de comparación, en el diagrama 15 se presentan los productos de la industrialización del banano y de sus sectores de aplicación. En la bioeconomía básica, la industria bananera solo tiene tres productos a partir de la fruta: fruta verde, fruta madura y harina; y los residuos son pseudotallo, hojas, raquis vacío, cáscaras verdes y maduras. Los productos obtenidos son limitados y no

requieren de alta tecnología, los sectores de aplicación son alimentos humano y animal. En la bioeconomía de transformación hay más agregación de valor y se llegan a otros sectores de aplicación a más de la industria de alimentos, por ejemplo, cosmética, biofertilizantes y otros productos biotecnológicos. En la bioeconomía avanzada, gracias al avance de conocimientos científicos y tecnológicos se pueden aislar y recuperar los componentes químicos que están presentes en la biomasa residual y que pueden ser incluidos en una variedad de bioproductos y biomateriales para la mayoría de los sectores industriales.

Diagrama 15
Productos de la industria bananera y sus sectores de aplicación



Fuente: Elaboración propia.

2. Barreras para el escalamiento de las iniciativas productivas en el sector bananero

En el cuadro 3 ilustran las necesidades, barreras y oportunidades que enfrenta el sector bananero en general, y en particular los pequeños productores.

Cuadro 3
Identificación de necesidades/barreras y oportunidades en la industria del banano

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Introducción de control más sostenible y eficiente de plagas y enfermedades, que eviten pérdidas y bajos rendimientos de las plantaciones bananeras.	Poca disponibilidad de tecnologías modernas sostenibles para control y manejo de enfermedades y plagas como el fusarium y la Sigatoka Negra (<i>Mycosphaerella Fijiensis</i>) en las plantaciones de banano y <i>Colletotrichum musae</i> (post cosecha) que causan daño estético y económico.	Establecimiento de políticas públicas agrícolas, agroindustriales y de producción y exportación acordes a la realidad ecuatoriana e internacional actual en el sector bananero.	Escasez de capital físico por parte de los pequeños productores.	Necesidad de aplicación de control más sostenible ambientalmente de plagas y enfermedades, que eviten pérdidas y bajos rendimientos de las plantaciones bananeras.
Limitada investigación y desarrollo para manejo de plagas y enfermedades de las plantaciones y de la fruta.	Elevados costos de pesticidas sintéticos y costos muy elevados de los mismos.	Regulaciones cada vez más estrictas sobre seguridad laboral y ambiental respecto al uso de pesticidas sintéticos y orgánicos en las plantaciones bananeras.	Escasez de financiamiento y poca inversión para manejo de plagas y enfermedades de las plantaciones y de la fruta.	Necesidad de entrenamiento y capacitación en técnicas de manejo de plagas sostenibles y eficientes ambientalmente.
Necesidad de Mejoramiento en la nutrición de la plantación bananera y control de uso de fertilizantes sintéticos para la producción de fruta de calidad de exportación.	Elevados costos de fertilizantes sintéticos y costos muy elevados de los mismos para la producción de fruta de calidad.	Regulaciones por parte de las entidades gubernamentales de control cada vez más estrictas sobre seguridad laboral y ambiental respecto al uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos en las plantaciones bananeras.	Escasez de financiamiento y poca inversión para manejo de la nutrición de las plantaciones para la obtención de fruta de calidad.	Necesidad de entrenamiento y capacitación en técnicas de manejo de fertilizantes sostenibles y eficientes ambientalmente.
Necesidad de mano de obra calificada.	Poca disponibilidad de tecnologías adaptadas a la realidad local.	Establecimiento de políticas de comercialización local.	Escasez de respaldo financiero.	Limitado acceso a sistemas viales para transporte de sus productos.
Necesidad de uso de suministros de calidad y de costos justos, a tiempo en la implementación de nuevas tecnologías (verdes, sostenibles).	Limitada accesibilidad a suministros de calidad y de costos justos a tiempo.	Regulaciones por parte de las entidades gubernamentales de control cada vez más estrictas sobre el uso de suministros en la producción bananera.	Incapacidad de acceder a créditos para adquisición de suministros.	Socialización entre productores.
Necesidad de adoptar nuevos sistemas de producción que aseguren la calidad del producto, a nivel nacional e internacional.	Falta de promoción sobre nuevos bioproductos o biomateriales a partir de residuos y subproductos a nivel local, nacional y global a público general.	Conocimiento de regulaciones y certificaciones internacionales sus productos.	Fondos escasos para pago de aranceles.	Limitada capacidad para explotar su potencial real.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Abundancia de estándares no es beneficiosa y los intermediarios prefieren estándares mínimos comunes para reducir los costos comerciales.	Se recomienda la recopilación y simplificación de los estándares para disponer de estándares mínimos.	Regular y regularizar el uso de estándares mínimos.	Regular y regularizar el uso de estándares mínimos.	Deficiente acceso a mercados internacionales. Procurar cumplir con los estándares mínimos.
La compatibilidad entre los estándares de sostenibilidad y las realidades locales debería ser una prioridad para la adopción de estándares globales de sostenibilidad.	Se recomienda buscar la compatibilidad de los estándares mínimos de sostenibilidad con las realidades locales para disponer de estándares de sostenibilidad globales.	Regular y regularizar el uso de estándares de sostenibilidad globales.	Regular y regularizar el uso de estándares de sostenibilidad globales.	Deficiente acceso a mercados internacionales. Procurar cumplir con los estándares de sostenibilidad globales.
Necesidad de uso de herramientas electrónicas sofisticadas para compartir conocimientos sobre la identificación de zonas homólogas y analógicas, modelización de cultivos, clima y plagas, estudio de la salud del suelo y de las raíces.	Falta de información relevante para guiar las estrategias de mejoramiento a través de la genética y la genómica.	Necesidad de Formulación de políticas concertadas para controlar las plagas y enfermedades de las plantaciones y de la fruta.	Fondos escasos para adquisición de tecnología electrónica y capacitación en la misma.	Limitada capacidad de las comunidades para manejo de tecnologías electrónicas.
Preocupación global por las cadenas de valor del banano.	Escasez de conocimiento sobre cadenas de valor del banano.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para mejorar la cadena de valor del banano.	Incapacidad de financiamiento para acceder a información sobre cadenas de valor.	Falta de capacitación en información para añadir valor en la producción de banano.
Estructura de cadena de valor que amenaza la supervivencia de las pequeñas plantaciones bananeras.	Adoptar tecnologías sostenibles que se adapten a las pequeñas plantaciones bananeras.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para asegurar la supervivencia de los pequeños productores en la aplicación de las nuevas cadenas de valor del banano.	Disponibilidad de fondos públicos, privados y de asistencia internacional para desarrollar nuevas cadenas de valor en la industria bananera.	Urgencia de asegurar la supervivencia de las pequeñas plantaciones bananeras en la adopción de nuevas cadenas de valor.
Urgencia de desarrollar nuevos segmentos/ modelos de mercado acordes con la realidad de los pequeños productores.	Adaptar tecnologías sostenibles acordes con la realidad de los pequeños productores que cubran los nuevos segmentos/modelos de mercado.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para que los pequeños productores adapten nuevas tecnologías para la aplicación de las nuevas cadenas de valor del banano.	Disponibilidad de fondos públicos, privados y de asistencia internacional para desarrollar segmentos/ modelos de mercado en la industria bananera.	Urgencia de asegurar la inclusión de las pequeñas plantaciones bananeras en los nuevos segmentos/ modelos de mercado en la industria bananera.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Falta de interés en la diversificación de la oferta productiva y la incursión en mercados para productos de alto valor agregado.	Mercados de biocombustibles, bioenergía, bioproductos y biomateriales avanzados todavía muy pequeños.	Asistencia en la negociación y contratos de venta del producto.	Falta de financiamiento y espacio físico para escalamiento.	Suministro limitado y costos altos de servicios básicos de calidad (agua y electricidad).
Limitada capacidad de los productores para realizar mejoras revolucionarias (innovación disruptiva).	Dificultad en realizar el escalamiento, una vez que se tiene el producto en el laboratorio.	Fijación del precio del producto de manera técnica y no sujeto a criterio de comprador.	Muy pocos incentivos para emprendimientos y para producción a escala.	Política de gobierno inestable, varía con los cambios de gobiernos.
Falta de iniciativa para adaptación/adopción de nuevas técnicas de producción para mercados más exigentes.	Reducida capacidad instalada en las empresas para adaptar nuevas tecnologías.	Trámites burocráticos en entidades públicas para permisos.	Escasez de fondos para importación de suministros.	Escasez o ausencia de seguridad social para trabajadores.
Desconexión entre países productores y países consumidores en temas de sostenibilidad.	Falta de modernización en tecnologías más sostenibles.	Estándares voluntarios de sostenibilidad e iniciativas regulatorias basadas en un conocimiento pobre de la realidad de la producción.	Escasez de recursos económicos y poca inversión en tecnologías sostenibles.	Falta de conocimientos de las comunidades sobre sostenibilidad y el impacto e implicaciones de aplicar conceptos de sostenibilidad en la comunidad.
Tendencia a la baja del precio y falta de precio diferenciado para contabilizar las pérdidas y los costos derivados de los estándares de sostenibilidad.	Necesidad de modernizarse a tecnologías de producción más sostenibles.	Establecer regulaciones que permitan incluir los costos derivados de la aplicación de estándares de sostenibilidad en la fijación del precio diferenciado de venta.	Falta de financiamiento para estas actividades.	Capacitar a las comunidades involucradas en la producción de banano.
Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos técnicos.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de comercialización.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos legales.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de financiamiento.	Sistemas de producción en comunidades socioeconómicas locales que desconocen aspectos sociales, de liderazgo para involucrar a los miembros de la comunidad en el desarrollo local (asociaciones).
Falta de capacitación en temas técnicos de los productores afectados por el cambio climático.	Falta de capacitación en temas tecnológicos como influencia del cambio climático en la producción de banano (estrés abiótico).	Mayor socialización en temas regulatorios relacionados a la influencia del cambio climático a productores para evitar desconfianza en el sistema.	Falta de capacitación en temas de finanzas, por ejemplo búsqueda de fondos no reembolsables para temas de cambio climático.	Socialización en temas de cambio climático y su impacto en el sistema de producción.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Comercialización deficiente.	Falta de capacitación en temas de comercialización efectiva del banano.	Mayor socialización en temas comerciales a productores para evitar desconfianza en el sistema.	Financiamiento para integrar el uso de prácticas de comercialización efectivas.	Capacitación en temas de comercialización modernas y efectivas que impulsen la competitividad de los emprendimientos y PYMES del sector.
Fijación del precio de la caja de banano no concertada entre países productores y países consumidores.	Fijación de precio no considera la adopción de nuevas tecnologías más sostenibles.	Regulación en la fijación de precios concertada.	Proveer financiamiento para la fijación de precios del producto concertada.	Socialización en temas de fijación de precios de la caja de banano concertada.
Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.

Fuente: Elaboración propia con información de (Abdoussalami et al., 2023; Coral & Mithöfer, 2023; Dita et al., 2013; M. B. García et al., 2016; Ismaila et al., 2023; Jansen & de la Cruz Bekema, 2023; Martínez et al., 2023; Mathur et al., 2023; Vilaplana et al., 2018).

B. Biorrefinería en la cadena del cacao (*Theobroma cacao*)

1. Oportunidades

De acuerdo con estudios realizados por el Ministerio de la producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP) las exportaciones de cacao y elaborados en el año 2021 llegaron a US\$ 265.9 millones, siendo los países de destino Estados Unidos (US\$198 millones), Indonesia (US\$ 193 millones), Malasia (US\$125 millones) y Países Bajos (US\$ 69 millones). Según la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao (Anecacao), el sector cacaotero aporta actualmente a Ecuador ingresos anuales mayores a \$1.000 millones y genera 400,000 plazas de trabajo, logrando un record en el 2022 al exportar 414,644 toneladas, con un incremento del 14.95 % en relación a 2021 y un aporte económico de más de \$ 1.080 millones (Anecacao, 2023). Estos datos pueden incrementarse al integrar una bioeconomía avanzada y disponer de biocombustibles y productos de alto valor agregado con potencial en el mercado internacional, incorporando tecnologías de punta como la biorrefinería y la biotecnología para fortalecer y mejorar la cadena de valor de esta industria.

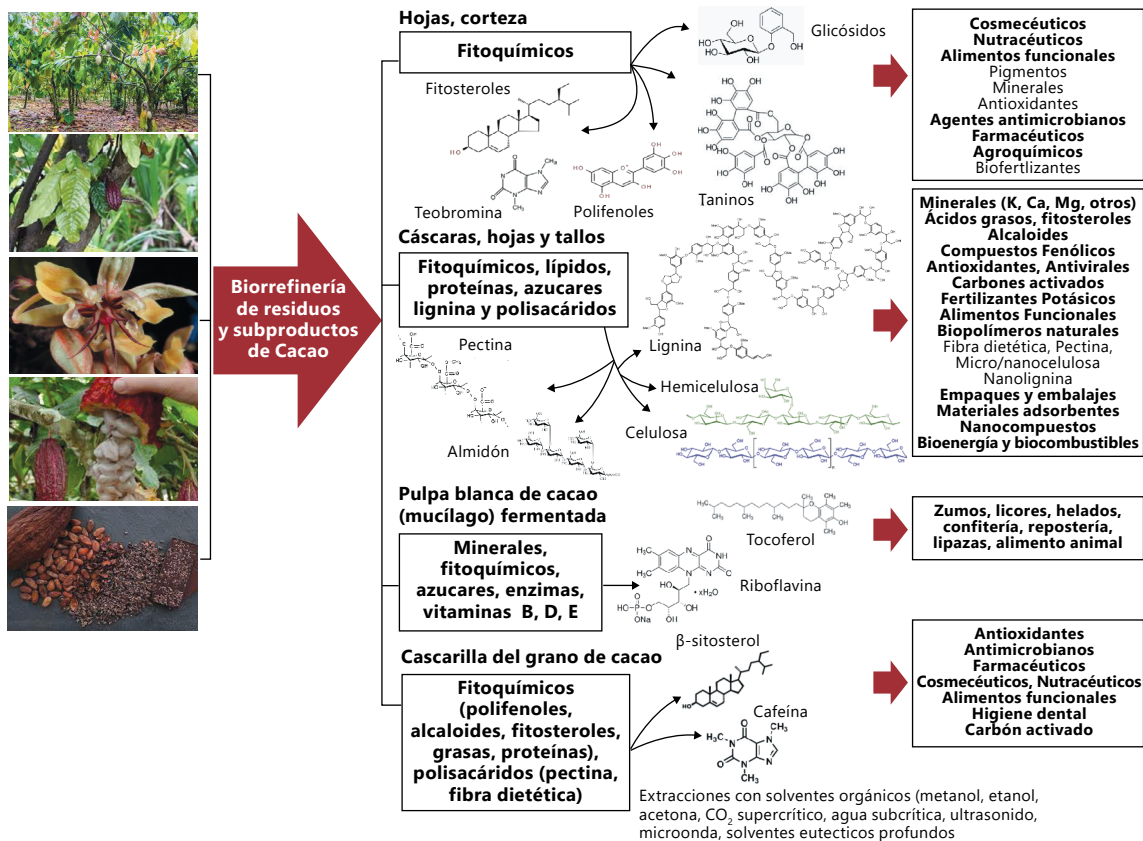
Ecuador es el principal productor de cacao fino de aroma en el mundo y en las últimas décadas esta industria ha sido motivada por las transformaciones globales del sistema alimentario y una demanda creciente gracias a las reconocidas características y propiedades atribuidas a esta "pepa de oro". La respuesta del sector privado a esta demanda ha sido muy positiva al identificar las oportunidades y tomar iniciativas productivas que están ayudando a superar los desafíos emergentes presentados, al trabajar de manera conjunta instituciones gubernamentales, academia, asociaciones de productores, y asociaciones de exportadores. Un estudio reciente (Villacis et al., 2022) tomó dos grupos focales con productores de dos asociaciones en la Amazonía ecuatoriana y encontraron que es necesario que las diversas compañías dedicadas a esta actividad económica deben diferenciar y personalizar sus productos, para ello es importante obtener certificaciones de calidad, como, por ejemplo, producción orgánica y comercio justo.

Las regulaciones internacionales, sobre todo las europeas, cada vez son más exigentes. En el caso del cacao el contenido de cadmio y su trazabilidad, un metal pesado tóxico, es una preocupación importante que está impulsando a los productores y exportadores a mejorar la cadena de valor en Ecuador.

El cacao es un cultivo con alto valor a nivel mundial, sin embargo, en algunos países productores, como es el caso en Ecuador, el sistema productivo está basado en pequeños productores que luchan contra multinacionales en la comercialización de sus productos, generando una brecha en lo social, ambiental y económico. Los productores enfrentan actualmente dificultades relacionadas a sostenibilidad. Un estudio publicado recientemente (Salazar et al., 2023) cuyo objetivo fue el de identificar los mecanismos de integración de los productores ancestrales Kichwas (asociación ubicada en la Amazonía ecuatoriana) a la cadena de valor del cacao y los desafíos de sostenibilidad en su sistema productivo, identificó algunos factores que impiden la comercialización que se incluyen en el cuadro 4.

En el diagrama 16 se describe la biorrefinería en cascada o multicomponente de los subproductos y residuos de la industria cacaotera, destacando la gama de productos que se pueden obtener a partir de los distintos tipos de residuos.

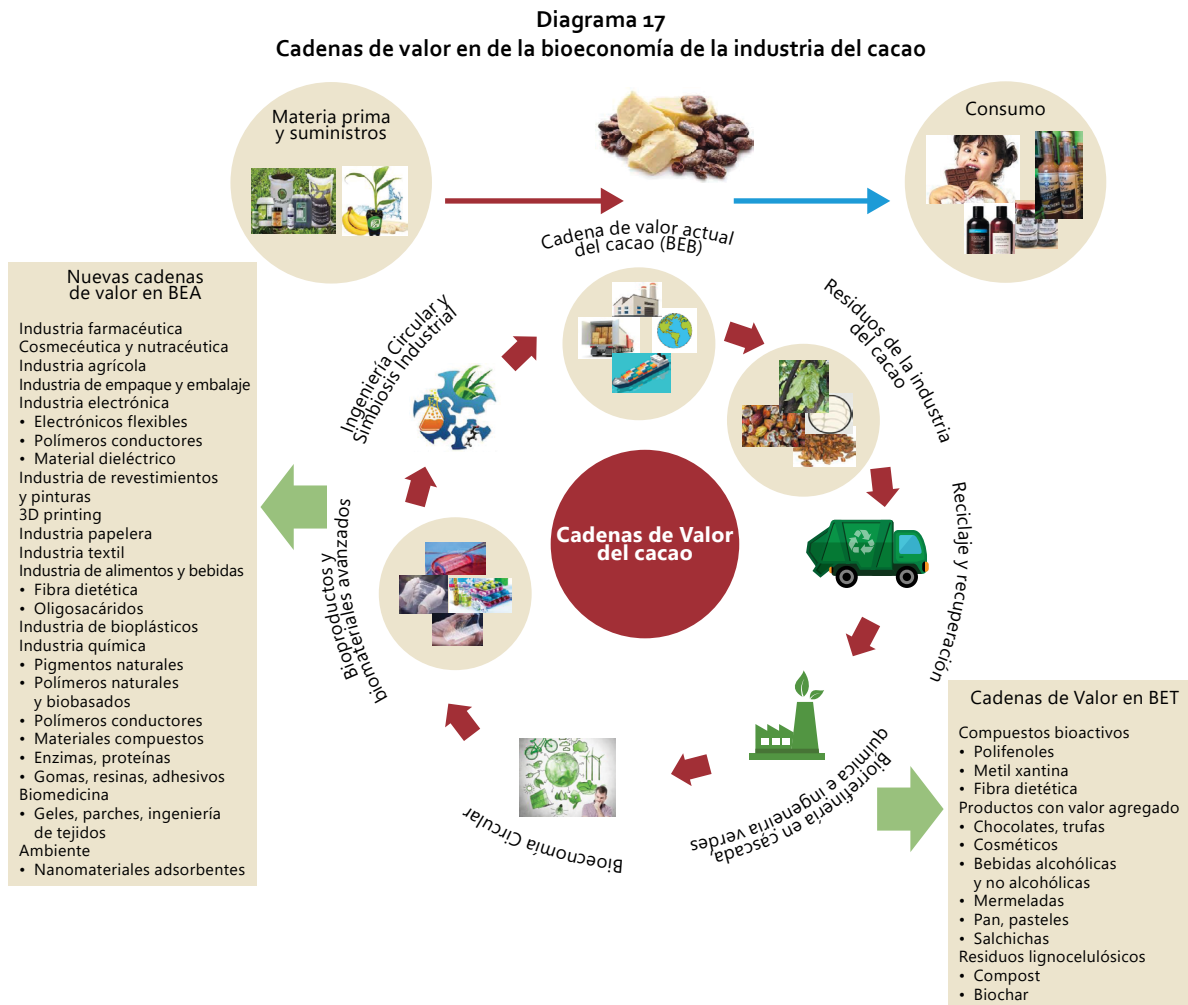
Diagrama 16
Biorrefinería en cascada de residuos y subproductos de la industrialización de Theobroma cacao



Fuente: Elaboración propia.

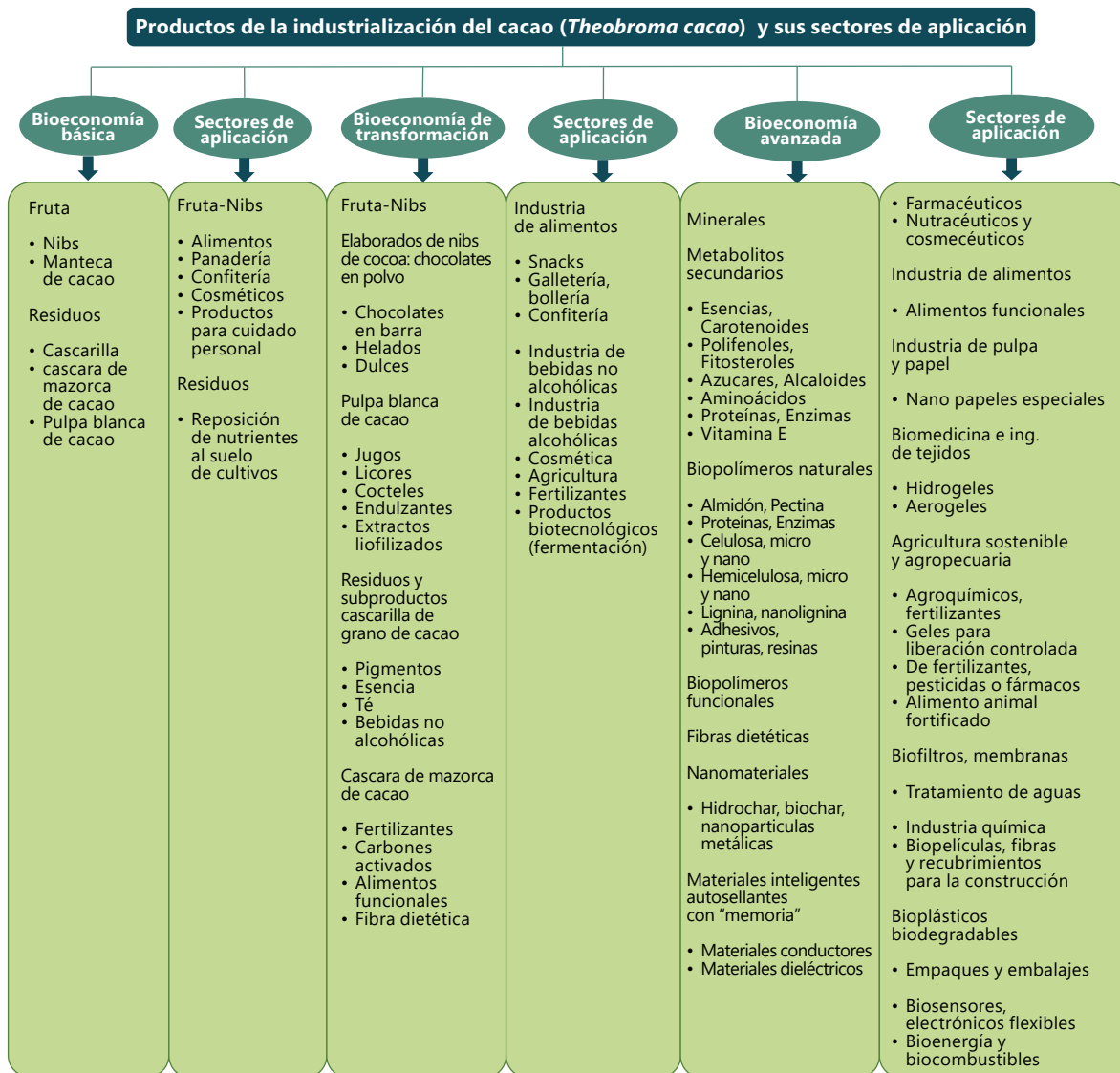
En el diagrama 17 se muestran las cadenas de valor desarrolladas en la evolución de la bioeconomía básica (BEB) en la cual se parte de la materia prima e insumos, que en este caso son las semillas de cacao y suministros requeridos para la producción de un grano de calidad que sirve como fuente de alimento humano con excelentes propiedades nutritivas y para productos de la industria de alimentos y bebidas, pastelería, confitería y cosmética que los distribuyen al mercado local, nacional y global. La necesidad de un uso sostenible del recurso biológico ha permitido desarrollar productos valorizando los residuos y así la bioeconomía básica evoluciona a bioeconomía de transformación (BET), de manera que se producen bioproductos y biomateriales con valor agregado como compuestos bioactivos para olores, colores y sabores en las industrias farmacéutica, cosmética, y de alimentos y bebidas. Además ésta última diversifica su oferta elaborando productos como mermeladas y otros derivados; adicionalmente, los residuos son aprovechados para obtener compost o biochar para remediación ambiental, como agentes mejoradores de suelos desgastados.

En el diagrama 18 se visualiza la diversidad de productos de la industria del cacao y los sectores de aplicación, destacando que la evolución es favorable hacia los biocombustibles, bioproductos y biomateriales de alto valor agregado que incursionan en sectores industriales estratégicos y que permitirían mejorar la calidad de vida de la sociedad en su conjunto.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 18
Productos de la industria cacaotera y sus sectores de aplicación



Fuente: Elaboración propia.

2. Barreras y necesidades en la industria del cacao

Ecuador ha ocupado el tercer lugar como país exportador de cacao de calidad y fino de aroma, no obstante, es importante anotar que un análisis reciente de los factores que intervienen en la cadena del cacao indica que la producción ecuatoriana de cacao depende de la articulación de cinco acciones; i) mejorar el entorno rural del productor, ii) fomentar la asociatividad y cooperativismo, iii) mejorar la productividad y el consumo del mercado nacional, iv) consolidar el mercado internacional, v) e investigación orientada al mejoramiento (A. García et al., 2021). En el cuadro 4 se describe las necesidades y barreras que enfrentan los productores de cacao en Ecuador en cuanto a dificultades técnicas, tecnológicas, legales, de financiamiento y socioeconómicos y/o ambientales recopiladas de varias fuentes bibliográficas y conversaciones con los productores.

Cuadro 4
Identificación de necesidades/barreras/oportunidades que enfrentan los productores de cacao

Técnicas	Tecnológicas	Legales	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Introducción de modelos de producción más eficientes.	Poca disponibilidad de Tecnologías modernas menos costosas.	Establecimiento de políticas públicas agrícolas, agroindustriales y de producción y exportación acordes a la realidad ecuatoriana e internacional actual.	Escasez de capital físico.	Necesidad de aplicación de modelos de producción más sostenibles.
Necesidad de mano de obra calificada.	Poca disponibilidad de tecnologías adaptadas a la realidad local.	Establecimiento de políticas de comercialización local.	Escasez de respaldo financiero.	Limitado acceso a sistemas viales para transporte de sus productos.
Necesidad de expertos en aplicación de nuevas tecnologías (verdes, sostenibles).	Limitada accesibilidad a suministros de calidad y de costos justos a tiempo.	Conocimiento de políticas de comercio exterior.	Incapacidad de acceder a créditos.	Deficiente acceso a mercados internacionales.
Necesidad de establecer especificaciones claras en cuanto a la calidad del producto, a nivel nacional e internacional.	Mercados de biocombustibles, bioenergía, bioproductos y biomateriales avanzados todavía muy pequeños.	Conocimiento de regulaciones y certificaciones internacionales sus productos.	Fondos para pago de aranceles.	Limitada capacidad para explotar su potencial real.
Falta de interés en la diversificación de la oferta productiva y la incursión en mercados para productos de alto valor agregado.	Falta de promoción de nuevos bioproductos o biomateriales a nivel local, nacional y global a público general.	Asistencia en la negociación y contratos de venta del producto.	Falta de financiamiento y espacio físico para escalamiento.	Suministro limitado y costos altos de servicios básicos de calidad (agua y electricidad).
Limitada capacidad para realizar mejoras revolucionarias (innovación disruptiva).	Dificultad en realizar el escalamiento, una vez que se tiene el producto en el laboratorio.	Fijación del precio del producto de manera técnica y no sujeto a criterio de comprador.	Muy pocos incentivos para emprendimientos y para producción a escala.	Política de gobierno inestable, varía con los cambios de gobiernos.
Falta de iniciativa para adaptación/adopción de nuevas técnicas de producción para mercados más exigentes.	Reducida capacidad instalada en las empresas para adaptar nuevas tecnologías.	Trámites burocráticos en entidades públicas para permisos.	Escasez de fondos para importación de suministros.	Escasez o ausencia de seguridad social para trabajadores.
Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos técnicos.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de comercialización.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos legales.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de financiamiento.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos sociales, de liderazgo para involucrar a los miembros de la comunidad en el desarrollo local (asociaciones).
Falta de capacitación en temas técnicos.	Falta de capacitación en temas tecnológicos.	Socialización en temas legales a productores para evitar desconfianza en el sistema.	Falta de capacitación en temas económicos, por ejemplo búsqueda de fondos no reembolsables.	Socialización en temas de convivencia comunitaria, de organización y planificación de una actividad productiva y su impacto ambiental.
Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.

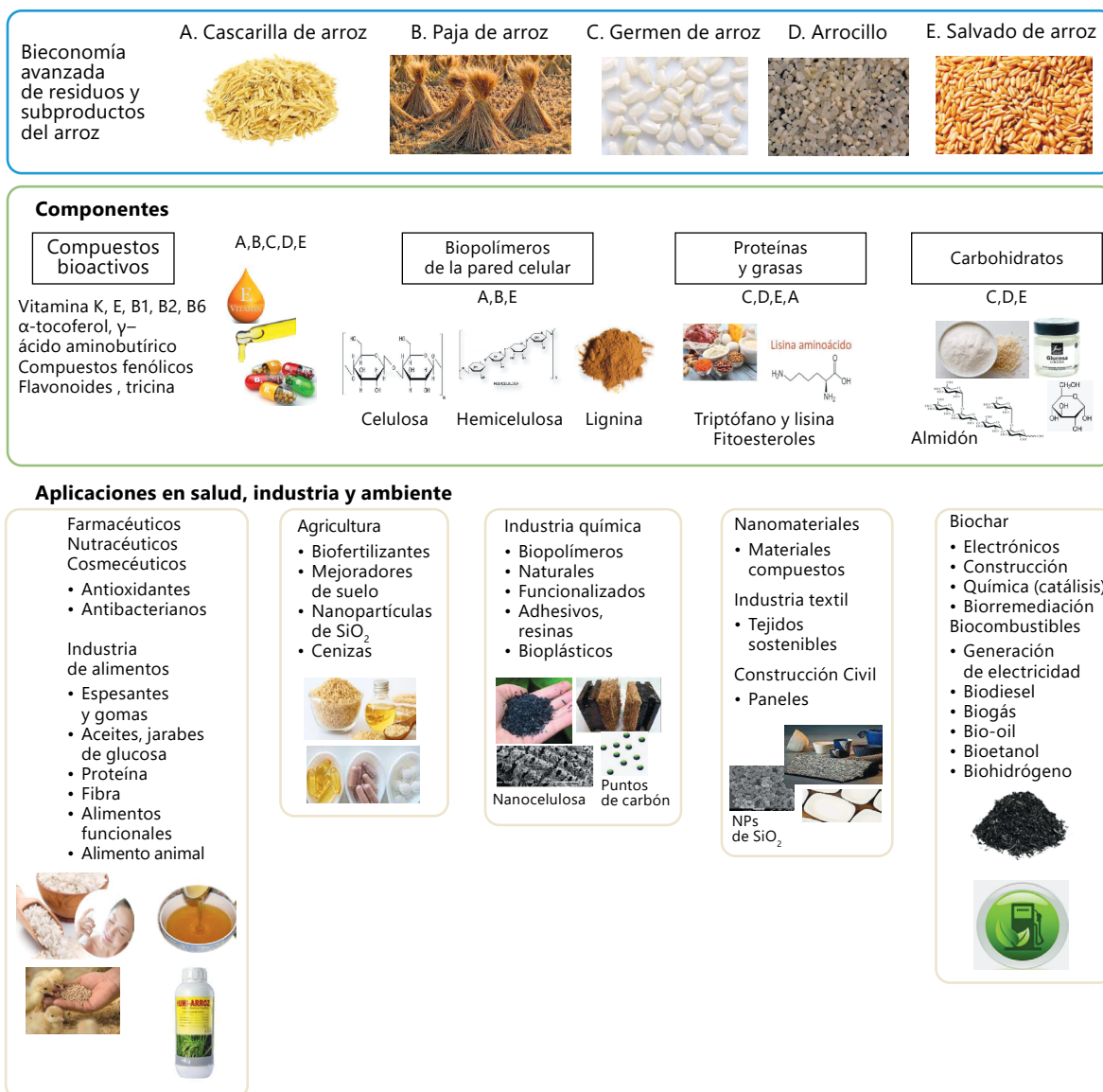
Fuente: Elaboración propia, adaptada de (Salazar et al., 2023) y otras fuentes.

C. Biorrefinería en la cadena del arroz (*Oriza sativa*)

1. Oportunidades

En el diagrama 19 se muestra los subproductos y residuos de la industria del arroz, tales como la paja, la cascarilla, el germen, el arroz quebrado o arrocillo y el salvado, los mismos que se generan en gran volumen. Estos bioresiduos poseen fitoquímicos, polisacáridos con propiedades nutritivas, antioxidantes, anticancerígenas, entre otras, que brindan beneficios para la salud humana o animal y además tienen aplicaciones industriales interesantes (Mohd Esa & Ling, 2016) como la obtención de biocombustibles tales como bioetanol (Abraham et al., 2016), gas de síntesis, hidrógeno y furfural; bioproductos como enzimas y glucosa (Abu-Bakar et al., 2023), biopolímeros como la celulosa, hemicelulosa y lignina y biomateriales (Chen et al., 2023; Rathour et al., 2023). Todos ellos de interés industrial y ambiental.

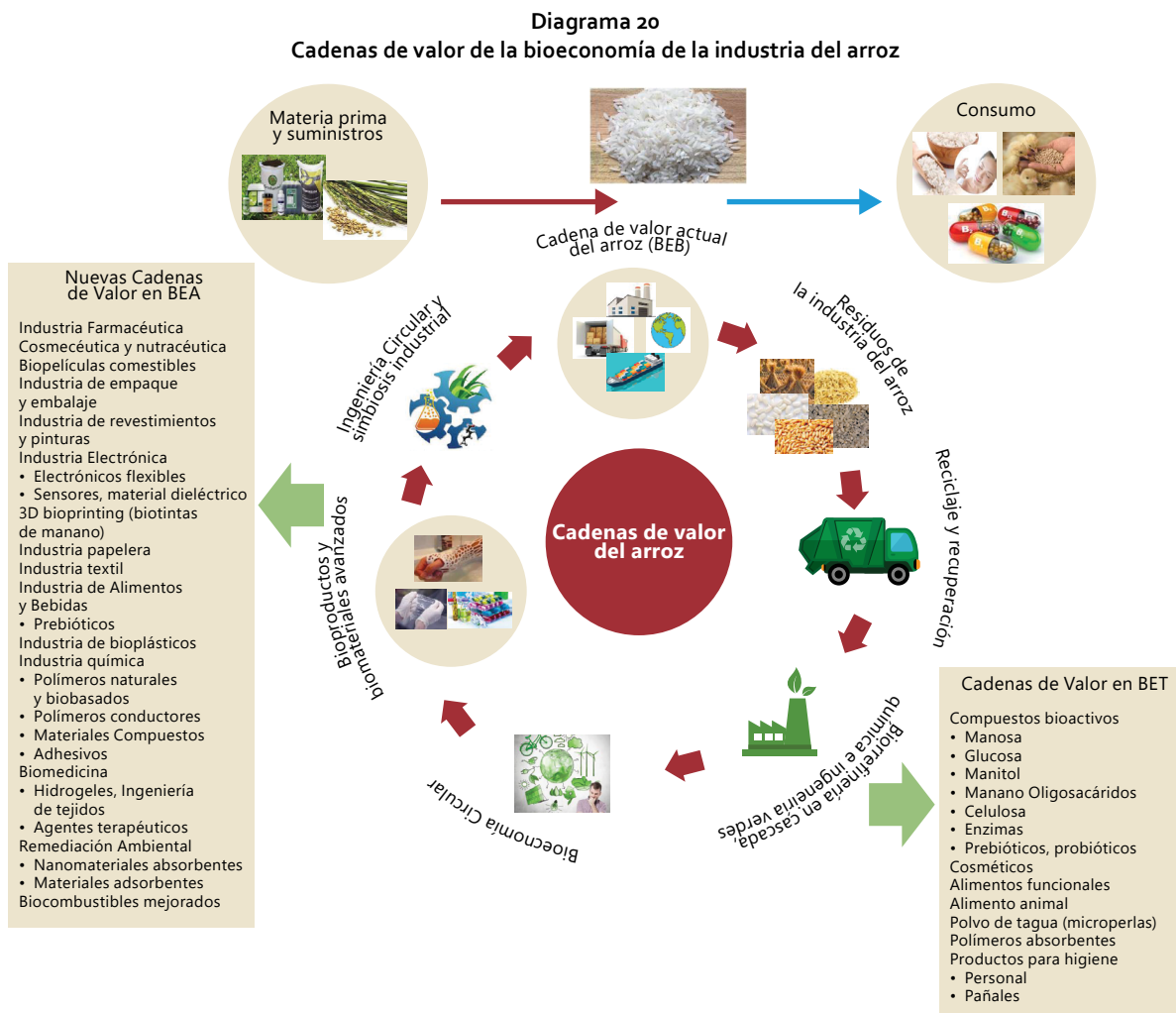
Diagrama 19
Biorrefinería en cascada y bioeconomía avanzada de la industria arrocera



Fuente: Elaboración propia.

Todos los residuos de la industria arrocera contienen una variedad de componentes químicos muy valiosos que pueden ser extraídos, aislados, y purificados mediante los enfoques de tecnología cero residuos, biorrefinería en cascada o multicomponente (Abraham et al., 2016) y pirolisis para obtención de carbones, carbones activados, cenizas (Moraes et al., 2014), bioenergía y productos de alto valor agregado. Estos enfoques ofrecen productos finales o materiales intermedios que pueden ser mezclados con otros para formar materiales avanzados o nanomateriales con aplicaciones en salud y biomedicina, industria farmacéutica, cosmeceútica, nutraceutica, alimentos humano y animal (Mohd Esa & Ling, 2016), nanomateriales avanzados sostenibles (AboDalem et al., 2022) para aplicaciones modernas en sectores de tecnología de punta (Kordi et al., 2023); y en remediación de suelo y agua (Li et al., 2023).

Respecto a la cadena de valor actual, y a las posibilidades existentes al desarrollar la bioeconomía de transformación y avanzada podemos observar que hay grandes oportunidades de I+D+i, tal como se ilustra en el diagrama 20. El campo de la utilización de subproductos y residuos de la industria arrocera ha recibido la atención de académicos y científicos alrededor del mundo y se han logrado importantes avances, sin embargo, es un área en donde todavía hay mucho por hacer en investigación, desarrollo de tecnología e innovación, sobre todo en Ecuador.



Fuente: Elaboración propia.

2. Necesidades, barreras y oportunidades en la valorización de subproductos y residuos de la industria del arroz del Ecuador

Los recursos agrícolas no solo representan parte de la ingesta alimenticia humana, sino que también contribuyen al desarrollo agroindustrial y a la economía del Ecuador. Uno de los cultivos más populares en la región Costa es el arroz (*Oriza sativa*), que, pese a que tiene un gran potencial de desarrollo, presenta barreras como la escasez de inversión, modernización y comercialización. Un estudio reciente realizado con una muestra de 63 productores asociados de Samborodón, provincia del Guayas, evaluó indicadores tales como rentabilidad, capacidad, interés en diversificar su oferta produciendo elaborados a partir de los subproductos del arroz, a más de la calidad de vida de los productores (Mendoza Avilés, H. E., Loor Bruno, A. C., & Vilema Escudero, 2019). La industria arrocera tiene una alta demanda, pues es uno de los alimentos básicos de la dieta ecuatoriana, y no implica grandes inversiones iniciales; por lo que es un cultivo relativamente fácil de ser establecido, una vez que se posee la tierra donde realizar su cultivo. No obstante, en los últimos años se han incrementado los costos de los insumos a nivel mundial, que ocasiona un incremento en los costos de producción. Es recomendable reducir el impacto negativo en rendimiento de la producción y calidad del grano debido a plagas y enfermedades más comunes para este importante cereal (Rodríguez Delgado et al., 2018), el uso de insecticidas y plaguicidas sintéticos debe ser regulado, ya que no toda la producción de arroz en Ecuador es para consumo nacional, pues también se exporta a países de América Latina y el Caribe. Otro problema que enfrenta este sector es la intermediación. Esto hace que muchos productores de arroz se cambien a otros cultivos más prometedores o abandonen el campo para migrar a la ciudad en busca de mejores ingresos que les permitan obtener un mejor nivel de vida (Bioversity-CIAT et al., 2022).

Por otro lado, la producción agrícola rural presenta poca diversificación y mínima innovación y promoción de nuevos productos para llegar a nuevos mercados, muchas veces tornándose en actividades productivas rurales informales, con insuficiente competencia organizativa, tecnologías de producción y gestión deficientes que no promueven el desarrollo rural sostenible, algunas necesidades, barreras y oportunidades de este sector se detallan en el cuadro 5. Por lo tanto, urge explorar nuevos modelos de negocio que permitan integrar tecnologías más eficientes y que promuevan el desarrollo productivo, económico y social en las zonas rurales arroceras. En este sentido, la biorrefinería en cascada, la tecnología cero desechos y la pirolisis, junto con sus elementos como la química verde, la química circular son alternativas favorables a ser implementadas en estas zonas geográficas para fomentar su desarrollo, generar fuentes de trabajo para mejorar la calidad de vida de las comunidades involucradas en las actividades industriales del arroz y propender al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Cuadro 5

Identificación de necesidades/barreras y oportunidades en la industria arrocera y sus subproductos y residuos en Ecuador

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Introducción de control más sostenible y eficiente de plagas y enfermedades, que eviten pérdidas y bajos rendimientos de las plantaciones de arroz.	Falta de tecnologías modernas sostenibles para control y manejo de enfermedades y plagas como la sogata (<i>Tagosodes orizicolus</i> Muir.), la mosca minadora, el acaro blanco (<i>Steneotarsonemus spinki</i>), el hongo <i>Sarocladium oryzae</i> , la bacteria <i>Burkholderia glumae</i> , la rata arrocera, y las aves.	Establecimiento de políticas públicas agrícolas, agroindustriales y de producción y exportación acordes a la realidad ecuatoriana e internacional actual en el sector arrocero.	Escasez de capital físico por parte de los pequeños productores.	Necesidad de aplicación de control más sostenible ambientalmente de plagas y enfermedades, que eviten pérdidas y bajos rendimientos de las plantaciones arroceras.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Limitada investigación y desarrollo para manejo de plagas y enfermedades de las plantaciones y del grano.	Elevados costos de pesticidas sintéticos.	Regulaciones cada vez más estrictas sobre seguridad laboral y ambiental respecto al uso de pesticidas sintéticos y orgánicos en las plantaciones arroceras.	Escasez de financiamiento y poca inversión para manejo de plagas y enfermedades de las plantaciones y del grano.	Necesidad de entrenamiento y capacitación en técnicas de manejo de plagas sostenibles y eficientes ambientalmente.
Necesidad de Mejoramiento en la nutrición de la plantación arroceras y control de uso de fertilizantes sintéticos para la producción de grano de calidad.	Elevados costos de fertilizantes sintéticos para la producción de grano de calidad.	Regulaciones por parte de las entidades gubernamentales de control cada vez más estrictas sobre seguridad laboral y ambiental respecto al uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos en las plantaciones arroceras.	Escasez de financiamiento y poca inversión para manejo de la nutrición de las plantaciones para la obtención de arroz de calidad.	Necesidad de entrenamiento y capacitación en técnicas de manejo de fertilizantes sostenibles y eficientes ambientalmente.
Necesidad de mano de obra calificada.	Poca disponibilidad de tecnologías adaptadas a la realidad local.	Establecimiento de políticas de comercialización local.	Escasez de respaldo financiero.	Limitado acceso a sistemas viales para transporte de sus productos.
Necesidad de uso de suministros de calidad y de costos justos, a tiempo en la implementación de nuevas tecnologías (verdes, sostenibles).	Limitada accesibilidad a suministros de calidad y de costos justos a tiempo.	Regulaciones por parte de las entidades gubernamentales de control cada vez más estrictas sobre el uso de suministros en la producción arroceras.	Incapacidad de acceder a créditos para adquisición de suministros.	Socialización entre productores.
Necesidad de adoptar nuevos sistemas de producción que aseguren la calidad del producto, a nivel nacional e internacional.	Falta de promoción sobre nuevos bioproductos o biomateriales a partir de residuos y subproductos a nivel local, nacional y global a público general.	Conocimiento de regulaciones y certificaciones internacionales sus productos.	Fondos escasos para pago de aranceles.	Limitada capacidad para explotar su potencial real.
Abundancia de estándares no es beneficiosa y los intermediarios prefieren estándares mínimos comunes para reducir los costos comerciales.	Se recomienda la recopilación y simplificación de los estándares para disponer de estándares mínimos.	Regular y regularizar el uso de estándares mínimos.	Regular y regularizar el uso de estándares mínimos.	Deficiente acceso a mercados internacionales. Procurar cumplir con los estándares mínimos.
La compatibilidad entre los estándares de sostenibilidad y las realidades locales debería ser una prioridad para la adopción de estándares globales de sostenibilidad.	Se recomienda buscar la compatibilidad de los estándares mínimos de sostenibilidad con las realidades locales para disponer de estándares de sostenibilidad globales.	Regular y regularizar el uso de estándares de sostenibilidad globales.	Regular y regularizar el uso de estándares de sostenibilidad globales.	Deficiente acceso a mercados internacionales. Procurar cumplir con los estándares de sostenibilidad globales.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Necesidad de uso de herramientas electrónicas sofisticadas para compartir conocimientos sobre la identificación de zonas homólogas y analógicas, modelización de cultivos, clima y plagas, estudio de la salud del suelo y de las raíces.	Falta de información relevante para guiar las estrategias de mejoramiento a través de la genética y la genómica.	Necesidad de Formulación de políticas concertadas para controlar las plagas y enfermedades de las plantaciones y de la fruta.	Fondos escasos para adquisición de tecnología electrónica y capacitación en la misma.	Limitada capacidad de las comunidades para manejo de tecnologías electrónicas.
Preocupación global por las cadenas de valor del arroz.	Escasez de conocimiento sobre cadenas de valor del arroz.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para mejorar la cadena de valor del arroz.	Incapacidad de financiamiento para acceder a información sobre cadenas de valor.	Falta de capacitación en información para añadir valor en la producción de arroz.
Estructura de cadena de valor que amenaza la supervivencia de las pequeñas plantaciones arroceras.	Adoptar tecnologías sostenibles que se adapten a las pequeñas plantaciones arroceras.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para asegurar la supervivencia de los pequeños productores en la aplicación de las nuevas cadenas de valor del arroz.	Disponibilidad de fondos públicos, privados y de asistencia internacional para desarrollar nuevas cadenas de valor en la industria arroceras.	Urgencia de asegurar la sobrevivencia de las pequeñas plantaciones arroceras en la adopción de nuevas cadenas de valor.
Urgencia de desarrollar nuevos segmentos/ modelos de mercado acordes con la realidad de los pequeños productores.	Adaptar tecnologías sostenibles acordes con la realidad de los pequeños productores que cubran los nuevos segmentos/modelos de mercado	Necesidad de formulación de políticas concertadas para que los pequeños productores adapten nuevas tecnologías para la aplicación de las nuevas cadenas de valor del arroz.	Disponibilidad de fondos públicos, privados y de asistencia internacional para desarrollar segmentos/ modelos de mercado en la industria arroceras.	Urgencia de asegurar la inclusión de las pequeñas plantaciones bananeras en los nuevos segmentos/ modelos de mercado en la industria arroceras.
Falta de interés en la diversificación de la oferta productiva y la incursión en mercados para productos de alto valor agregado.	Mercados de biocombustibles, bioenergía, bioproductos y biomateriales avanzados todavía muy pequeños.	Asistencia en la negociación y contratos de venta del producto.	Falta de financiamiento y espacio físico para escalamiento.	Suministro limitado y costos altos de servicios básicos de calidad (agua y electricidad).
Limitada capacidad de los productores para realizar mejoras revolucionarias (innovación disruptiva).	Dificultad en realizar el escalamiento, una vez que se tiene el producto en el laboratorio.	Fijación del precio del producto de manera técnica y no sujeto a criterio de comprador.	Muy pocos incentivos para emprendimientos y para producción a escala.	Política de gobierno inestable, varía con los cambios de gobiernos.
Falta de iniciativa para adaptación/adopción de nuevas técnicas de producción para mercados más exigentes.	Reducida capacidad instalada en las empresas para adaptar nuevas tecnologías.	Trámites burocráticos en entidades públicas para permisos.	Escasez de fondos para importación de suministros.	Escasez o ausencia de seguridad social para trabajadores.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Desconexión entre países productores y países consumidores en temas de sostenibilidad.	Falta de modernización en tecnologías más sostenibles.	Estándares voluntarios de sostenibilidad e iniciativas regulatorias basadas en un conocimiento pobre de la realidad de la producción.	Escasez de recursos económicos y poca inversión en tecnologías sostenibles.	Falta de conocimientos de las comunidades sobre sostenibilidad y el impacto e implicaciones de aplicar conceptos de sostenibilidad en la comunidad.
Tendencia a la baja del precio y falta de precio diferenciado para contabilizar las pérdidas y los costos derivados de los estándares de sostenibilidad.	Necesidad de modernizarse a tecnologías de producción más sostenibles.	Establecer regulaciones que permitan incluir los costos derivados de la aplicación de estándares de sostenibilidad en la fijación del precio diferenciado de venta.	Falta de financiamiento para estas actividades.	Capacitar a las comunidades involucradas en la producción de banano.
Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos técnicos.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de comercialización.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos legales.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de financiamiento.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos sociales, de liderazgo para involucrar a los miembros de la comunidad en el desarrollo local (asociaciones).
Falta de capacitación en temas técnicos de los productores afectados por el cambio climático.	Falta de capacitación en temas tecnológicos como influencia del cambio climático en la producción de banano (estrés abiótico).	Mayor socialización en temas regulatorios relacionados a la influencia del cambio climático a productores para evitar desconfianza en el sistema.	Falta de capacitación en temas de finanzas, por ejemplo búsqueda de fondos no reembolsables para temas de cambio climático.	Socialización en temas de cambio climático y su impacto en el sistema de producción.
Comercialización deficiente.	Falta de capacitación en temas de comercialización del banano.	Mayor socialización en temas comerciales a productores para evitar desconfianza en el sistema.		Falta de capacitación en temas de comercialización modernas.
Fijación del precio del arroz no concertada entre productores, comerciantes y consumidores.	Fijación de precio no considera la adopción de nuevas tecnologías más sostenibles.	Regulación en la fijación de precios concertada.	Proveer financiamiento para la fijación concertada de precios del arroz.	Socialización en temas de fijación de precios del arroz concertada.
Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.

Fuente: Elaboración propia.

Las necesidades de la industria arrocera son similares a las de la industria de banano y cacao, así como también las oportunidades para convertirse en unidades productivas eficientes que utilicen los subproductos y residuos de manera sostenible en biorrefinerías de mediana y pequeña escala donde se produzcan biocombustibles, bioproductos y biomateriales de alto valor agregado, aportando a la bioeconomía del Ecuador.

D. Biorrefinería en la cadena de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*)

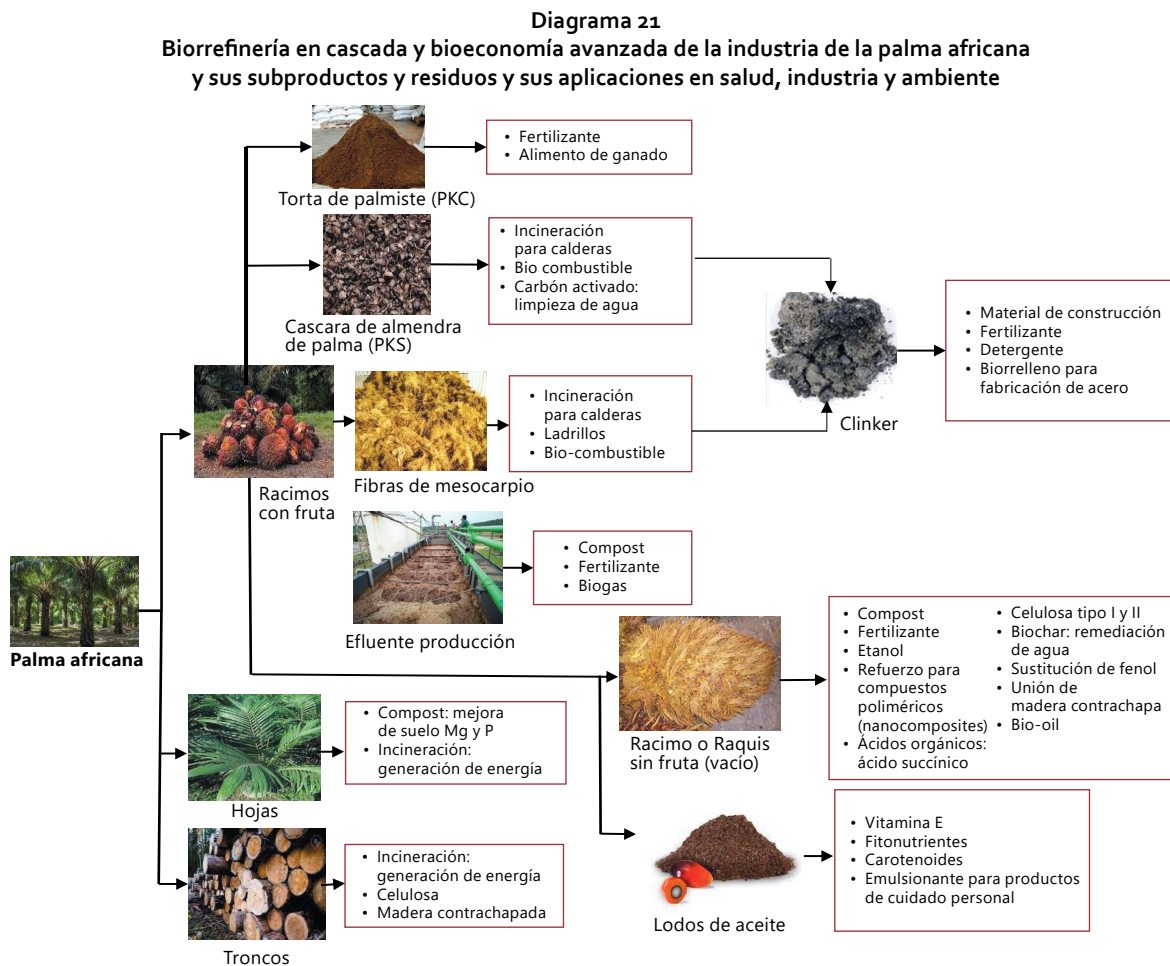
1. Oportunidades

El cultivo de palma aceitera ha estado en auge durante las últimas décadas gracias a su aporte a la economía de los países productores y por facilitar las exportaciones de aceite y otros derivados de este cultivo a los países consumidores, que también han tenido una mejora en su economía por las actividades que genera. Sin embargo, su cultivo tiene consecuencias ambientales negativas y discutibles aspectos socioeconómicos. Según una reciente publicación científica (Sibhatu, 2023), se han realizado muchos estudios en lo ambiental y en la parte técnica de síntesis y valoración de los subproductos y residuos de esta industria, pero los estudios socioeconómicos no han sido prioritarios; y aunque las economías rurales han mejorado, y por ende su seguridad alimentaria también, y se ha reducido el nivel de pobreza; los conflictos entre comunidades locales y agro-empresas han aumentado, empeorando las condiciones de los trabajadores. La desigualdad económica ha incrementado entre las zonas productoras y no productoras dentro de un país productor en particular. En general, se indica que la pérdida de servicios eco sistémicos y sociales es mucho mayor que los beneficios provenientes del aumento de la producción de palma aceitera (Sibhatu, 2023). No obstante, el cultivo del aceite de palma es el más importante dentro de los cultivos de oleaginosas, provee el 40% del mercado de aceite vegetal mundial, y esta no solamente en la dieta nutritiva humana sino también en el sector industrial que incluye artículos de limpieza y aseo.

La palma africana es un cultivo perenne con más de 25 años de ciclo de vida y una huella de tierra marcadamente baja comparada a los cultivos de semillas para aceite (Murphy et al., 2021). Sin embargo, este cultivo ha sufrido grandes desafíos en los últimos años, la más difícil siendo la incidencia de enfermedades y nuevas plagas y la expansión y agravamiento de las existentes, aunque también están entre las grandes barreras a superar las condiciones climáticas debidas al calentamiento global en la producción, como por ejemplo altas temperaturas, los patrones de lluvia alterados; así como las dificultades relacionadas a la cadena de suministros y a la comercialización, sobre todo debido a la percepción del consumidor. Nuevas especies más resistentes (mejoradas) son necesarias para superar los efectos del cambio climático y de las enfermedades y plagas, sobre todo su gestión biológica (Sundram, 2022), tales como la marchitez sorpresiva, pudrición letal del cogollo, añublo o secamiento de las hojas, anillo marrón, amarillamiento sorpresivo de las hojas, y últimamente, el moteado o mancha anular de las hojas jóvenes.

Otros inconvenientes encontrados en el sector de la palma africana son la falta de un sistema moderno de análisis de datos y de un sistema de registro nacional de la producción de palma aceitera y aceite de palma que permita conocer los resultados de esta actividad y planificar con anticipación (Jaimes Becerra et al., 2023). Las prácticas de Responsabilidad Social Empresarial (RSE), especialmente en Santo Domingo de los Tsáchilas, muestran interés de la industria aceitera con las comunidades locales, sin embargo, hace falta realizar acciones concretas en favor de la gente para mejorar su situación actual y calidad de vida (Almenaba-Guerrero, 2023).

La palma aceitera genera un 72% de residuos (Centeno, 2023), que son ricos en compuestos químicos diversos y de los cuales se puede obtener diferentes productos de valor agregado aplicando tecnologías sostenibles como la biorrefinería en cascada y la tecnología cero desechos, tal como se muestra en el diagrama 21.



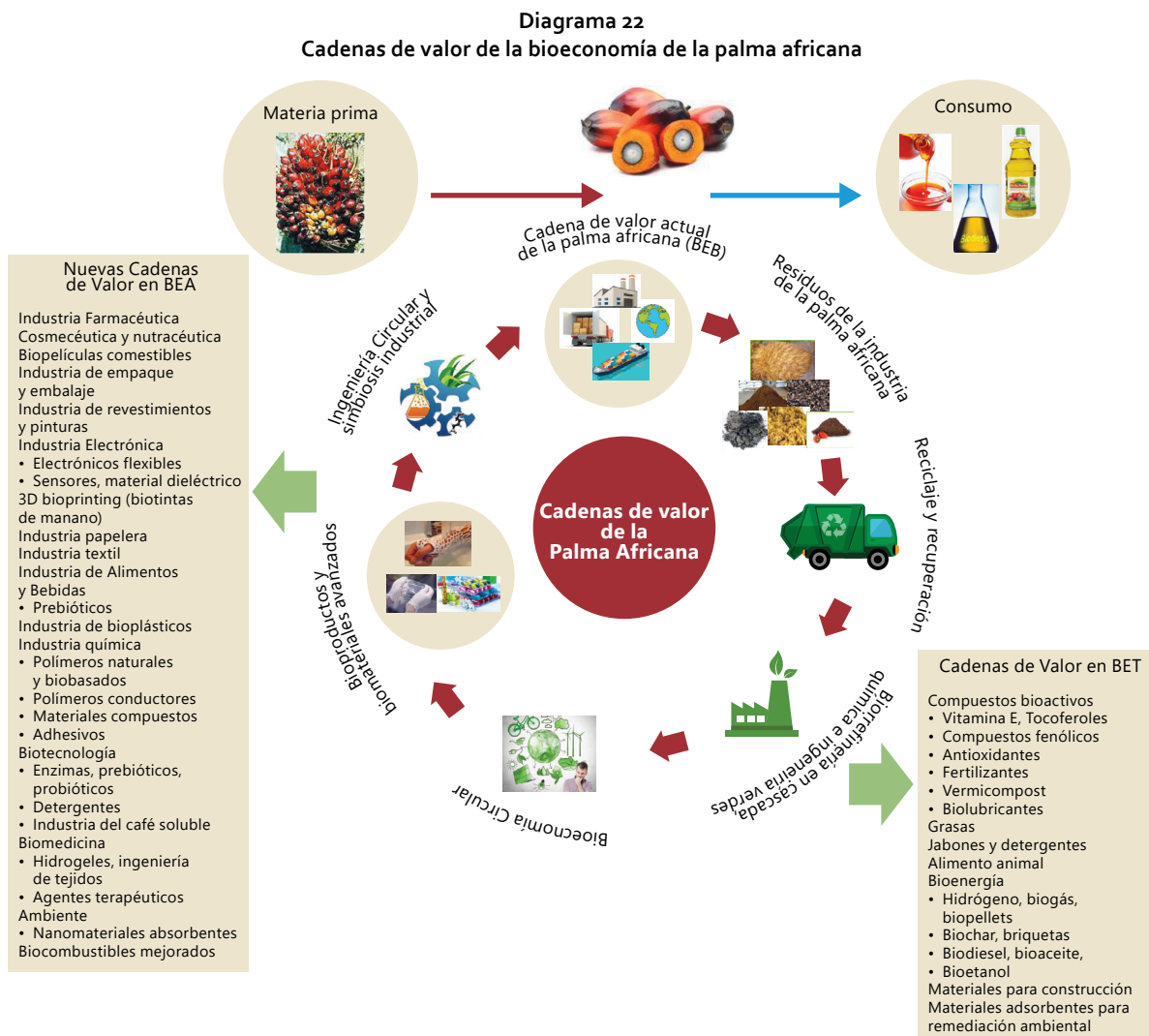
Fuente: Elaboración propia.

Entre los productos que se pueden obtener destacan la bioenergía (biogás, biodiesel, bio-aceite, bioetanol, bio-pellets, briquetas); bio-fertilizantes (Martínez-Padilla et al., 2018) at low (18 + 40 kHz; bioactivos, sobre todo compuestos fenólicos (Tsouko et al., 2019) namely palm kernel cake, palm pressed fibre, palm kernel shells and empty fruit bunches, were evaluated as sources of phenolic compounds. Among these streams, kernel cake had the highest total phenolic content (in mg of gallic acid equivalents (GAE) y biopolímeros como la celulosa, xilano y lignina, y bio-compuestos como carbón activado, filtros para remediación ambiental (Adu et al., 2022). Tales productos se pueden obtener de subproductos y residuos de la industria aceitera, tanto en el campo (hojas y troncos), así como de aquellos generados en el procesamiento del racimo de fruta madura que es industrializado en una extractora y del que en una primera fase se obtiene aceite rojo, almendra y fibra prensada del mesocarpio de la fruta. En esta primera fase se generan los racimos vacíos de fruta y un efluente residual mezclado con aceite (lodos), y la almendra o palmiste o cuesco del fruto, el mismo que es procesado en otra sección del proceso para extraer su aceite (producto), las cáscaras o cuescos vacíos y la torta del palmiste. Una parte de los racimos vacíos de fruta, las fibras prensadas del mesocarpio y las cascara del palmiste se queman en las calderas como combustibles; de donde resulta el clinker, que se usa como aditivo en los materiales de construcción, fertilizante, detergente y biorrelleno para la fabricación de acero (Jagaba et al., 2021).

Todos los subproductos y residuos de las empresas extractoras de aceite de palma puede ser procesados en las biorrefinerías en cascada, y aplicando la tecnología cero desechos y química verde, química circular e ingeniería circular se pueden generar una variedad de compuestos de alto valor agregado

y biocombustibles y bioenergía, que pueden ser productos finales que están listos para ser distribuidos en el mercado local, regional o global o pueden ser productos intermedios para la elaboración de otros productos de alto valor agregado según se puede observar en las cadenas de valor actuales, de bioeconomía de transformación, y de bioeconomía avanzada descritas en el diagrama 21.

En el diagrama 22 se muestra las cadenas de valor de la palma africana y su importancia para el desarrollo de la bioeconomía avanzada en Ecuador, ya que su valor económico va más allá de la obtención de aceite vegetal proveniente del mesocarpio del fruto (drupa o llamado comúnmente "coco") de los racimos de palma, sino también en la obtención de biodiesel y otros productos que entran en la cadena de suministro de productos químicos, como el aceite rojo de palma, el aceite de palmiste, y la estearina (grasa), que son materia prima para la obtención de jabones, detergentes y productos de cuidado personal, así como también para la elaboración de aceite comestible, margarinas, chocolates y galletería. Los residuos de la actividad de extracción de aceite se convierten en parte de nuevas cadenas de valor, como materia prima para obtener bioproductos y biomateriales avanzados o de alto desempeño, que gracias a la biotecnología, ingenierías, nanobiociencia, y nanotecnología, adquieren propiedades mejoradas para aplicaciones en salud y biomedicina, en la gran mayoría de industrias y para la remediación ambiental, tal como se ilustra en el diagrama 22.



Fuente: Elaboración propia.

2. Necesidades, barreras, y oportunidades en la valorización de subproductos y residuos de la industria de la palma en el Ecuador

La industria de la palma en Ecuador es de importancia ya que su cadena de valor involucra comunidades rurales de la Costa y Amazonía del Ecuador y genera empleo por transporte y comercialización de sus productos de mercado actuales; sin embargo, enfrenta necesidades y barreras que debe superar, pero también oportunidades que puede aprovechar para asegurar su sostenibilidad técnica, financiera, social y ambiental, detalladas en el cuadro 6.

Cuadro 6
Identificación de necesidades/barreras y oportunidades en la industria de la palma africana y sus subproductos y residuos en Ecuador

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Introducción de control más sostenible y eficiente de plagas y enfermedades, que eviten pérdidas y bajos rendimientos de las plantaciones de palma.	Falta de tecnologías modernas sostenibles para control y manejo de enfermedades y plagas como la pudrición del cogollo y otras que afectan a las plantaciones de palma.	Establecimiento de políticas públicas agrícolas, agroindustriales y de producción y exportación acordes a la realidad ecuatoriana e internacional actual en el sector palmicultor.	Escasez de capital físico por parte de los pequeños productores.	Necesidad de aplicación de control más sostenible ambientalmente de plagas y enfermedades, que eviten pérdidas y bajos rendimientos de las plantaciones de palma.
Limitada investigación y desarrollo para manejo de plagas y enfermedades de las plantaciones y de los frutos de los racimos de palma.	Elevados costos de pesticidas sintéticos.	Regulaciones cada vez más estrictas sobre seguridad laboral y ambiental respecto al uso de pesticidas sintéticos y orgánicos en las plantaciones de palma.	Escasez de financiamiento y poca inversión para manejo de plagas y enfermedades de las plantaciones y de los frutos de los racimos de palma.	Necesidad de entrenamiento y capacitación en técnicas de manejo de plagas sostenibles y eficientes ambientalmente.
Necesidad de Mejoramiento en la nutrición de la plantación de palma y control de uso de fertilizantes sintéticos para la producción de frutos de calidad.	Elevados costos de fertilizantes sintéticos para la producción de grano de calidad.	Regulaciones por parte de las entidades gubernamentales de control cada vez más estrictas sobre seguridad laboral y ambiental respecto al uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos en las plantaciones de palma.	Escasez de financiamiento y poca inversión para manejo de la nutrición de las plantaciones para la obtención de frutos de palma de calidad.	Necesidad de entrenamiento y capacitación en técnicas de manejo de fertilizantes sostenibles y eficientes ambientalmente.
Necesidad de mano de obra calificada.	Poca disponibilidad de tecnologías adaptadas a la realidad local.	Establecimiento de políticas de comercialización local.	Escasez de respaldo financiero.	Limitado acceso a sistemas viales para transporte de sus productos.
Necesidad de uso de suministros de calidad y de costos justos, a tiempo en la implementación de nuevas tecnologías (verdes, sostenibles).	Limitada accesibilidad a suministros de calidad y de costos justos a tiempo.	Regulaciones por parte de las entidades gubernamentales de control cada vez más estrictas sobre el uso de suministros en la producción de palma.	Incapacidad de acceder a créditos para adquisición de suministros.	Socialización entre productores

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Necesidad de adoptar nuevos sistemas de producción que aseguren la calidad del producto, a nivel nacional e internacional.	Falta de promoción sobre nuevos bioproductos o biomateriales a partir de residuos y subproductos a nivel local, nacional y global a público general.	Conocimiento de regulaciones y certificaciones internacionales sus productos.	Fondos escasos para pago de aranceles.	Limitada capacidad para explotar su potencial real.
La compatibilidad entre los estándares de sostenibilidad y las realidades locales debería ser una prioridad para la adopción de estándares globales de sostenibilidad.	Se recomienda buscar la compatibilidad de los estándares mínimos de sostenibilidad con las realidades locales para disponer de estándares de sostenibilidad globales.	Regular y regularizar el uso de estándares de sostenibilidad globales.	Regular y regularizar el uso de estándares de sostenibilidad globales.	Deficiente acceso a mercados internacionales. Procurar cumplir con los estándares de sostenibilidad globales.
Necesidad de uso de herramientas electrónicas sofisticadas para compartir conocimientos sobre la identificación de zonas homólogas y analógicas, modelización de cultivos, clima y plagas, estudio de la salud del suelo y de las raíces.	Falta de información relevante para guiar las estrategias de mejoramiento a través de la genética y la genómica.	Necesidad de Formulación de políticas concertadas para controlar las plagas y enfermedades de las plantaciones y de los frutos.	Fondos escasos para adquisición de tecnología electrónica y capacitación en la misma.	Limitada capacidad de las comunidades para manejo de tecnologías electrónicas.
Preocupación global por las cadenas de valor de la palma.	Escasez de conocimiento sobre cadenas de valor de la palma.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para mejorar la cadena de valor de la palma.	Incapacidad de financiamiento para acceder a información sobre cadenas de valor de la palma.	Falta de capacitación en información para añadir valor en la producción de la palma.
Estructura de cadena de valor que amenaza la supervivencia de las pequeñas plantaciones de palma.	Adoptar tecnologías sostenibles que se adapten a las pequeñas plantaciones arroceras.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para asegurar la supervivencia de los pequeños productores en la aplicación de las nuevas cadenas de valor de la palma.	Disponibilidad de fondos públicos, privados y de asistencia internacional para desarrollar nuevas cadenas de valor en la industria de la palma.	Urgencia de asegurar la supervivencia de las pequeñas plantaciones arroceras en la adopción de nuevas cadenas de valor.
Urgencia de desarrollar nuevos segmentos/ modelos de mercado acordes con la realidad de los pequeños productores.	Adaptar tecnologías sostenibles acordes con la realidad de los pequeños productores que cubran los nuevos segmentos/ modelos de mercado.	Necesidad de formulación de políticas concertadas para que los pequeños productores adapten nuevas tecnologías para la aplicación de las nuevas cadenas de valor de la palma.	Disponibilidad de fondos públicos, privados y de asistencia internacional para desarrollar segmentos/ modelos de mercado en la industria de palma.	Urgencia de asegurar la inclusión de las pequeñas plantaciones bananeras en los nuevos segmentos/ modelos de mercado en la industria de palma.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Falta de interés en la diversificación de la oferta productiva y la incursión en mercados para productos de alto valor agregado.	Mercados de biocombustibles, bioenergía, bioproductos y biomateriales avanzados todavía muy pequeños.	Asistencia en la negociación y contratos de venta del producto.	Falta de financiamiento y espacio físico para escalamiento.	Suministro limitado y costos altos de servicios básicos de calidad (agua y electricidad).
Limitada capacidad de los productores para realizar mejoras revolucionarias (innovación disruptiva).	Dificultad en realizar el escalamiento, una vez que se tiene el producto en el laboratorio.	Fijación del precio del producto de manera técnica y no sujeto a criterio de comprador.	Muy pocos incentivos para emprendimientos y para producción a escala.	Política de gobierno inestable, varía con los cambios de gobiernos.
Falta de iniciativa para adaptación/adopción de nuevas técnicas de producción para mercados más exigentes.	Reducida capacidad instalada en las empresas para adaptar nuevas tecnologías.	Trámites burocráticos en entidades públicas para permisos.	Escasez de fondos para importación de suministros.	Escasez o ausencia de seguridad social para trabajadores.
Desconexión entre países productores y países consumidores en temas de sostenibilidad.	Falta de modernización en tecnologías más sostenibles.	Estándares voluntarios de sostenibilidad e iniciativas regulatorias basadas en un conocimiento pobre de la realidad de la producción.	Escasez de recursos económicos y poca inversión en tecnologías sostenibles.	Falta de conocimientos de las comunidades sobre sostenibilidad y el impacto e implicaciones de aplicar conceptos de sostenibilidad en la comunidad.
Tendencia a la baja del precio y falta de precio diferenciado para contabilizar las pérdidas y los costos derivados de los estándares de sostenibilidad.	Necesidad de modernizarse a tecnologías de producción más sostenibles.	Establecer regulaciones que permitan incluir los costos derivados de la aplicación de estándares de sostenibilidad en la fijación del precio diferenciado de venta.	Falta de financiamiento para estas actividades.	Capacitar a las comunidades involucradas en la producción de palma.
Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos técnicos.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de comercialización.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos legales.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos de financiamiento.	Sistemas de producción en comunidades locales que desconocen aspectos sociales, de liderazgo para involucrar a los miembros de la comunidad en el desarrollo local (asociaciones).
Falta de capacitación en temas técnicos de los productores afectados por el cambio climático.	Falta de capacitación en temas tecnológicos como influencia del cambio climático en la producción de palma (estrés abiótico).	Mayor socialización en temas regulatorios relacionados a la influencia del cambio climático a productores para evitar desconfianza en el sistema.	Falta de capacitación en temas de finanzas, por ejemplo búsqueda de fondos no reembolsables para temas de cambio climático.	Socialización en temas de cambio climático y su impacto en el sistema de producción.
Comercialización deficiente.	Falta de capacitación en temas de comercialización de la palma, sus productos y subproductos y residuos.	Mayor socialización en temas comerciales a productores para evitar desconfianza en el sistema.	Escasez de financiamiento para actividades que mejoren la comercialización.	Falta de capacitación en temas de comercialización modernas.

Técnicas	Tecnológicas	Legales/Políticas	Financiamiento	Socioeconómicas, demográficas y/o ambientales
Fijación del precio del arroz no concertada entre productores, comerciantes y consumidores.	Fijación de precio no considera la adopción de nuevas tecnologías más sostenibles.	Regulación en la fijación de precios concertada.	Proveer financiamiento para la fijación concertada de precios de la palma.	Socialización en temas de fijación concertada de precios de los productos, subproductos y residuos de la palma.
Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.	Concientización sobre la importancia de apoyar la bioeconomía avanzada en el país.

Fuente: Elaboración propia.

E. Biorrefinería en la cadena de la tagua (*Phytelephas aequatorialis*)

1. Oportunidades

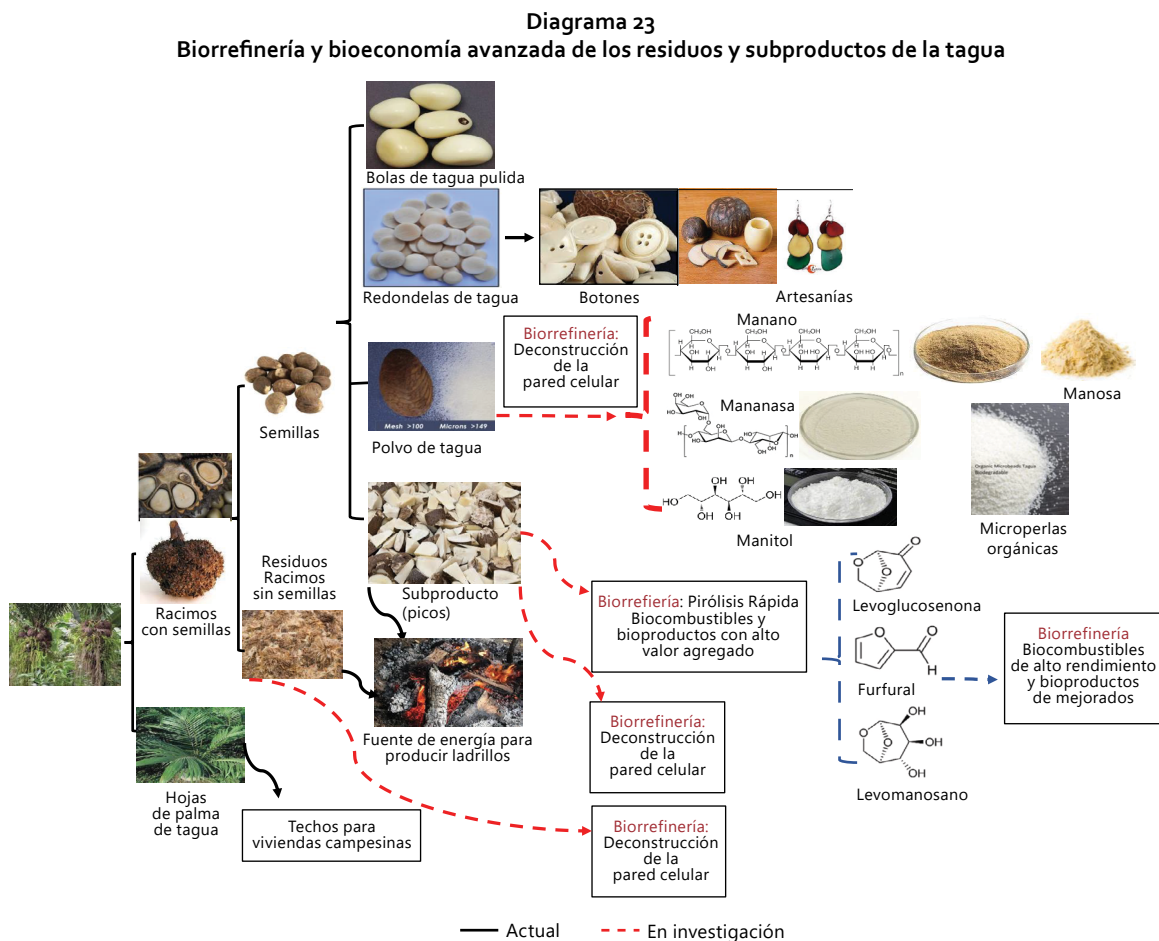
La tagua (*Phytelephas aequatorialis*) o marfil vegetal es una especie endémica de Ecuador que crece en forma silvestre en bosques subtropicales (taguales), en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena y en la Amazonía. La tagua es un producto forestal no maderero (PFNM), es una palma y se industrializa su semilla, considerada por sí misma como un tesoro natural sostenible que crece a orillas de los ríos. En su etapa adulta la palma alcanza una altura de 15 metros, su tallo es delgado, tiene una flor y su fruto crece en racimos; y se ubica en terrenos hasta 1500 metros sobre el nivel del mar. En su etapa de germinación, una palma masculina puede germinar al menos 15 palmas femeninas (Barfod, 1989). La producción de nuez de tagua se realiza dos veces al año, principalmente en verano, mientras que en la temporada de invierno la cosecha se reduce totalmente. El material es blanco, parecido al marfil, duro, pesado, liso y opaco, inodoro e insípido, y adquiere brillo con el pulido, pero no es elástico ni duradero como el marfil genuino (Acosta-Solis, 1948). La nuez de marfil se exporta desde mediados del siglo XIX, como botones para la industria textil y de confección, por lo que ha tenido una gran importancia en la economía ecuatoriana (Barfod, 1989), sobre todo en las zonas rurales donde crece. La comercialización de semillas de tagua tuvo su auge hasta después de la Segunda Guerra Mundial, cuando la producción masiva de plástico resultó económica y tomó mayor posicionamiento en el mercado mundial (Barfod & Bergmann, 1990). Otro uso tradicional de la semilla de tagua es la elaboración de artesanías para los mercados locales e internacionales (Brokamp et al., 2011). A nivel local, el procesamiento de botones de tagua genera un alto volumen de residuos, llamados sobras o picos y los botones que no alcanzan la calidad ideal para la exportación se utilizan como polvo para la alimentación del ganado o aves de corral, o se queman como carbón vegetal (Koziol & Pedersen, 2010).

En un estudio realizado en tres comunidades de la costa central del Ecuador se destacan sus servicios ecosistémicos (Montúfar et al., 2022). En total se logró identificar 28 servicios eco-sistémicos, incluyendo 13 de aprovisionamiento, 7 de regulación, 6 culturales y 2 de apoyo. Los usos reportados incluyen interacciones vegetal/animal, techos de paja, e identidad cultural, lo que significa que las comunidades valoran la tagua como especie clave para la fauna local, uso de sus hojas para techos de viviendas locales, y como un recurso natural renovable que ha sido parte de sus tradiciones. En dicho estudio también se señala la preocupación respecto al comercio de tagua, las dificultades y amenazas de su cosecha y la pérdida de sus tradiciones porque esta especie es amenazada, si no se toman los correctivos necesarios para la conservación de este recurso muy importante para las zonas rurales donde crece (Montúfar et al., 2022).

Investigaciones llevadas a cabo a finales del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX indican que la hidrólisis alcalina de la tagua resulta en el azúcar manosa y que estos monómeros constituyen el biopolímero manano (Aspinall et al., 1953). Estudios más recientes sobre la composición química de la tagua determinan que su componente principal es el polisacárido manano, un biopolímero formado por

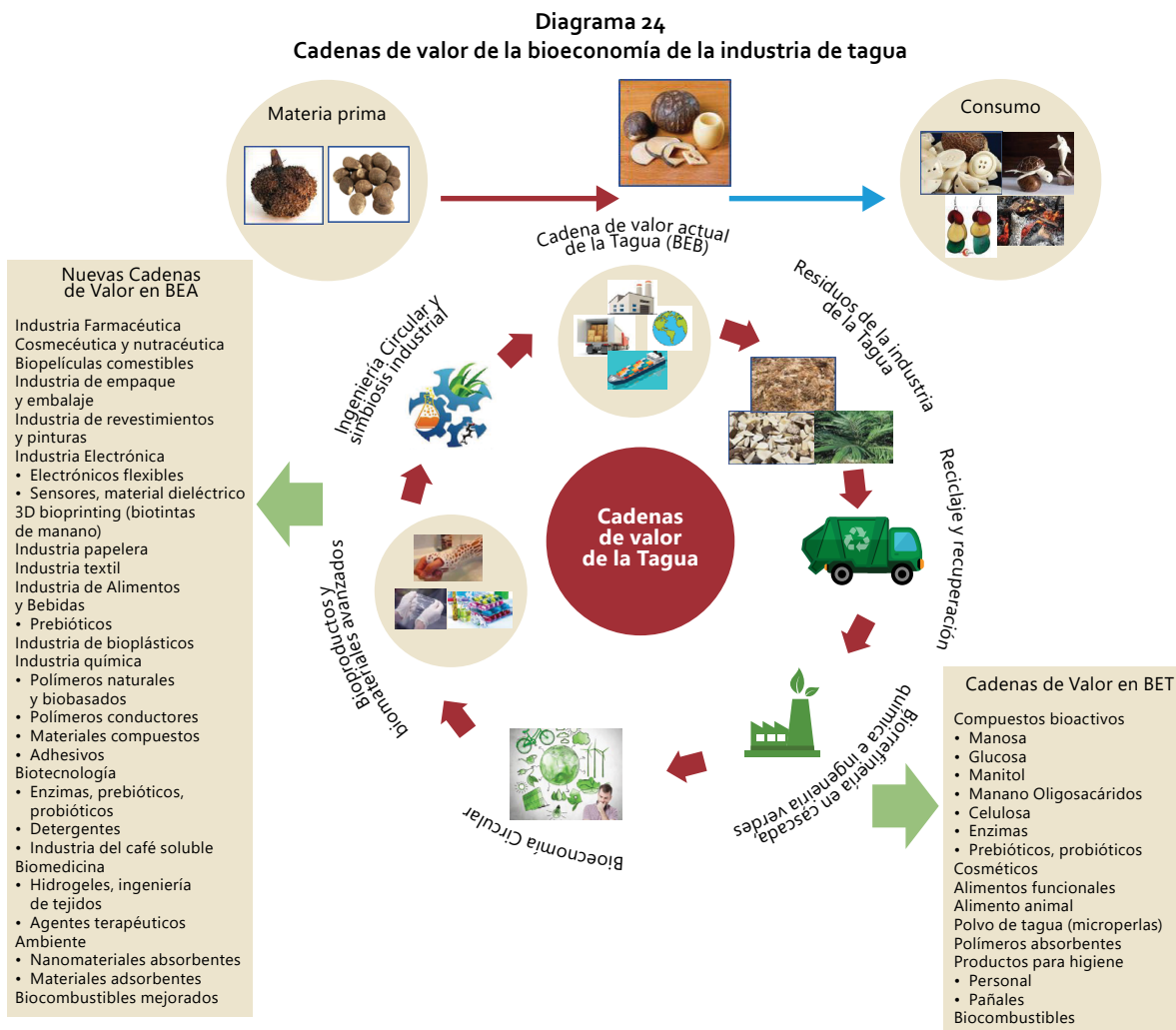
el monómero D-manosa, hasta en un 90%; y alrededor de 7.5% es celulosa (Beals, 1916; Timell, 1957). La D-manosa es un azúcar reductor, un epímero de la glucosa con poder calórico menor a otros azúcares, que es utilizado como suplemento alimenticio que influye en la gluconutrición de la salud humana, ya que regula el desbalance (Hu et al., 2016). La tagua es uno de los pocos materiales que contiene manosa pura, a diferencia de otras especies vegetales como la tara o el café verde que contienen glucomanosa o galactomanosa, por lo que es una fuente natural promisoría para la obtención de biocombustibles y productos de alto valor agregado (Yamabhai et al., 2016). La tagua tierna (mococho) es utilizada como alimento animal para los animales silvestres que habitan las fincas y recintos donde crece naturalmente.

En Ecuador se producen aproximadamente 100.000 toneladas métricas de semillas de tagua anualmente (Palacios et al., 2021). La actividad económica para las comunidades alrededor de la palma de tagua y sus semillas es crucial en las áreas donde crece. La industria de botones y las artesanías generan residuos que pueden ser valorizados mediante la aplicación de las tecnologías de vanguardia, como la biotecnología para obtención de enzimas de importante uso industrial y biopolímeros naturales como el manano, celulosa y MOS; para obtención de enzimas, azúcares, prebióticos con amplios usos industriales y biotecnológicos y otros compuestos con valor agregado con aplicación en electrónica (Tayeb et al., 2021), en empaque sostenibles y biodegradables para alimentos (Díaz-Montes, 2022; Mikkonen, 2012), en terapia anti-metástasis (Uthaman et al., 2023), prebióticos (Rana et al., 2023), biotintas para 3D bioprinting (Zhou et al., 2022), sensores portátiles (Xiao et al., 2024). Más investigación se requiere en la producción de la enzima β -mananasa, que actualmente se realiza principalmente a partir de hongos, bacilos o mohos, pero que también se puede producir a partir de residuos agrícolas y agroindustriales. De la misma manera, la obtención de biocombustibles a partir de los oligosacáridos de manano es aún incipiente. En el diagrama 23 se destacan los residuos y subproductos de la tagua y sus aplicaciones; y en el diagrama 24 se muestran sus cadenas de valor.



El manano es un polímero de la manosa y está ampliamente distribuido en la naturaleza, es una hemicelulosa que se encuentra en la pared celular y vacuolas de las plantas superiores, principalmente en las coníferas; además está presente en la pared celular de las levaduras como glicoproteínas (Moreira & Filho, 2008). El manano, como polímero natural cumple varias funciones en la planta, en las semillas es reserva de alimento y puede almacenarse en las paredes celulares formando capas delgadas, que le brindan una resistencia mecánica similar a la de un hueso (Singh et al., 2018), que es la característica principal de la semilla de tagua (endospermo). Esta característica físico-mecánica macroscópica ha sido explotada en la elaboración de artesanías, ya que puede ser cortada, pulida y molida. En 1979, Chanzy y colegas determinaron la cristalinidad del manano (Chanzy et al., 1979) evidenciando que la dureza de la tagua se debe al grado de cristalinidad y orden de esta macromolécula.

El manano, y en general los polisacáridos son polímeros naturales, no tóxicos, biodegradables, y bioactivos que recubren la superficie de las células que desempeñan un papel importante en el sistema inmunológico, la adhesión y la infección (Yildiz & Oner, 2014). El manano tiene una capacidad para formar películas, por lo que es una interesante alternativa a los materiales derivados del petróleo que puede tener un impacto positivo en la industria química, de bioplásticos comestibles, entre otros. Además, las enzimas involucradas en su biodegradación han sido estudiadas por largo tiempo debido a su aplicación industrial en farmacéutica, alimentos, y biocombustibles para mejorar el rendimiento de los pretratamientos de la biomasa lignocelulósica (Costa & Filho, 2019; Singh et al., 2018); alimento animal y en la industria de pulpa y papel (Moreira & Filho, 2008).



Estudios recientes de residuos de tagua indican la posibilidad de usar esta materia prima en biorrefinería. Ghysels et al. (2019) sometieron residuos de tagua, provenientes de la industria de botones de Ecuador, a una pirolisis rápida y obtuvieron tres fases: i) Gases no condensables con potencial para la obtención de gas de síntesis; ii) Fase líquida rica en levomanosano y 5-hidroximetil furfural (5-HMF); y iii) iochar con potenciales aplicaciones para remediación de suelos. La conversión termocatalítica de los residuos de tagua a compuestos intermedios que sirvan como plataformas químicas (la levoglucosenona, el furfural y el levomanosano) para la conversión en biocombustibles y otros productos de alto valor agregado (Ghysels et al., 2023). Otro grupo de investigación en la USFQ está desarrollando tecnología para la obtención de manano y manosa y las versiones micro/nano mediante la deconstrucción celular usando técnicas eco-amigables sostenibles (Orejuela et al., manuscrito en proceso de publicación) y se ha realizado el estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta de procesamiento de tagua para la extracción de manano, indicando que sería una actividad rentable, con una tasa de retorno del capital de 1.5 años (Andrade, 2021). Esto permitiría contar con el biopolímero y su derivatización aumentaría su versatilidad para aplicaciones que fomenten el desarrollo de la BEA en Ecuador, como por ejemplo la generación de sistemas de liberación controlada de fármacos y su uso en biomedicina, farmacia, alimentos funcionales, industria química, bioplásticos y películas y recubrimientos comestibles, y otros bioproductos, biomateriales avanzados, y nano biomateriales de alto rendimiento combinados con nanopartículas metálicas para investigación clínica y diagnóstica (Cui et al., 2023), ya que los mananooligosacáridos (MOS) presentan biocompatibilidad, biodegradabilidad, renovabilidad, asequibilidad y disponibilidad (Jabeen & Atif, 2023).

2. Necesidades, barreras y oportunidades en la valorización de subproductos y residuos de la industria de la tagua en Ecuador

La industria de la tagua como producto forestal no maderero se inició alrededor de 1850 cuando inmigrantes de Alemania, Francia e Italia comenzaron a exportar la semilla de tagua a Europa como material para hacer botones, gracias a su dureza y facilidad de ser pulida, cortada, molida y tallada. Su comercialización ha ido evolucionando a través del tiempo, y depende mucho de la situación externa, pues eventos como la COVID 19 afectan su comercialización e impactan negativamente a las familias y comunidades rurales involucradas en esta actividad. Se han realizado varios estudios para identificar las necesidades, barreras y oportunidades de esta actividad productiva, entre los que destaca el de Palacios Cedeño et al., (2021), que se resume a continuación:

a) Técnicas y tecnológicas

- La cadena de valor actual no requiere de maquinaria especializada, la mayoría de los equipos que se usan en el procesamiento de la tagua para la elaboración de artesanías, por ejemplo, consisten en pasos básicos como la recolección manual de los racimos en el campo, la extracción manual de la semilla de los racimos, la selección por calidad de semilla y secado (al sol toma un tiempo de alrededor de 60 días o en horno alrededor de una semana), el pelado (manual), y la clasificación por tamaño y color de la semilla (usando zarandas con orificios de diferente diámetro). Luego se da forma a la semilla con esmeriles y tornos de mano (taladros), continúa con el pulido (con pulidora industrial), el teñido y el curado (con tintes especiales para evitar la pudrición). Y finalmente el terminado, que depende del tipo de producto final (aretes, pulseras, collares, anillos, pipas, pájaros, tortugas, entre otros). Mayor valor se le da a la creatividad y habilidad del artesano para elaborar productos llamativos por sus colores y formas. Hay pasos de la cadena productiva que pueden mejorarse para acortar tiempos y mejorar la productividad.
- La infraestructura asociada al producto que se comercializa localmente, como las carreteras, centros de acopio, zonas de empaque, sistema y formas de transporte, satisface las necesidades de los proveedores y las necesidades del mercado objetivo (comprador). Pero es insuficiente para el mercado de exportación.

b) Legales y de políticas

- Hay escasez de estándares mínimos de calidad de semilla en el racimo y después de pelada.
- Hay escasez de regulación de precios a nivel de proveedor e intermediario.
- Faltan políticas que fomenten esta actividad económica como parte del desarrollo de una bioeconomía avanzada.

c) Financiamiento y comercialización

- Aunque la producción de artesanías tiene costos bajos, hay insuficiente capacidad financiera para adquirir maquinarias que optimicen la cantidad de mano de obra, tiempo de elaboración de productos, cantidad de unidades producidas y calidad de los acabados. Por otra parte, los productores exportan sus productos a través de intermediarios, lo cual implica una disminución de sus ganancias.
- La inestabilidad de los precios en el mercado es el factor negativo preponderante en esta actividad artesanal, aunque los artesanos reconocen que también hay sobreoferta en determinada época del año; por otro lado, el acceso a mercados internacionales es difícil.
- La comercialización se ve afectada por factores como la competencia local y nacional, la variación de la oferta y la demanda, estándares rigurosos y variables dispuestos por la moda y gustos de públicos diferentes, y la competencia con artículos de bisutería similares, pero de plástico de procedencia china.
- La dificultad de acceder a mercados internacionales debido a los estándares cada vez más exigentes de sostenibilidad, que pueden llegar a ser restrictivos para muchos de los proveedores, por el costo de transporte muy elevado y por la barrera del idioma.
- Aunque en menor grado, pero la comercialización se ve afectada por la sobreproducción en temporadas de cosecha. Según los proveedores, es debido a la falta de comunicación y asociatividad de los productores locales y de otras provincias. Esto se podría evitar colocando las semillas en centros de acopio que dispongan de equipamiento adecuado para mantener las semillas de tagua en buenas condiciones.

d) Socio económicas, organizacionales y ambientales:

- Los proveedores no son productores, son recolectores de la tagua en el campo, ya que esta crece de forma silvestre. Son familias que viven en el campo y se han dedicado a esta actividad por generaciones.
- Los recolectores comercializan el producto en cantidades pequeñas a intermediarios (compradores-vendedores) o a empresas exportadoras.
- Los intermediarios (proveedores) tiene dificultades en el abastecimiento de la tagua, debido a condiciones climáticas; en el invierno no pueden mantener grandes volúmenes para evitar pérdidas económicas por el peligro de pudrición o ataque de plagas de la tagua.
- Los proveedores están organizados en una asociación, sin embargo sus actividades comerciales las realizan de forma individual, la mayoría a través de intermediarios (87%), el 9% lo hace a través de supermercados y el 4% realiza venta directa.
- El nivel de ingresos generados por la cadena de valor de la tagua es considerado medio (96%) por los actores involucrados. Ellos consideran que podrían mejorar si no hubiera competencia desleal y se fijarán precios justos tanto para las semillas como para los productos terminados.
- Si no se realizan los correctivos necesarios para la conservación de la tagua y su uso sostenible, esta especie amenazada puede entrar al rango de especie en peligro de extinción; lo cual implicaría también la pérdida de un ingreso económico importante para las comunidades involucradas (Montúfar et al., 2022).
- La pérdida paulatina de los servicios eco-sistémicos asociados a la cosecha, comercialización e industrialización de la tagua (Montúfar et al., 2022).

F. Barreras en el escalamiento de la producción de biocombustibles y bioproductos avanzados mediante un enfoque de biorrefinería

Para lograr que la biomasa juegue un papel clave en el cumplimiento de los objetivos climáticos globales en Ecuador es necesario lograr su uso eficiente, para lo cual es importante apoyar las iniciativas de bioeconomía sostenible, planteadas a través del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica y el Ministerio de la Producción, Comercio, Inversión y Pesca. Además, es necesario superar las barreras identificadas por los sectores productivos de este sector y que se detallan a continuación:

- Barreras a la producción integrada de bioquímicos y biocombustibles celulósicos en Ecuador
 - Costos de servicios básicos (agua y electricidad).
 - Calidad de estos servicios.
 - Aranceles.
 - Exportaciones del Ecuador hacia nuevos mercados.
 - Mercados de biocombustibles, bioenergía, bioproductos y biomateriales avanzados todavía muy pequeños.
 - Importaciones.
 - Política inestable.
 - Seguridad social para trabajadores.
 - Pocos incentivos para los emprendimientos.
 - Trámites burocráticos en entidades públicas para permisos.
- Condiciones requeridas para el escalamiento de biorrefinerías de pequeña y mediana escala integradas o no a la agroindustria ya existente y cuya materia prima sea la biodiversidad, biomasa o bioresiduos.
 - Estudios sobre rentabilidad, liquidez, rendimiento y apalancamiento de las agroindustrias existentes para determinar necesidades de mejoras.
 - Implementación de una estrategia de diversificación en la industria y agroindustria del Ecuador.
 - Establecimiento de regulaciones mínimas que deben cumplir los diferentes tipos de materia prima bio-basada o bioresiduos (bagazos, afrechos, cascaras, tallos, cortezas, hojas, entre otros).
 - Apoyo a investigación sobre los componentes químicos de los principales bioresiduos agroindustriales que se generan en gran volumen en Ecuador.
 - Diseño circular y planificación de las biorrefinerías en cascada multicomponente considerando procesos eco-amigables y sostenibles.
 - Diseño circular de biocombustibles y/o bioproductos en cascada, tomando en cuenta la tecnología cero desechos y carbono neutral.
 - Estudios de fin de vida útil de los productos de origen biológico (diseño, reciclaje y cascada de productos circulares).
 - Políticas consistentes, alianzas estratégicas y una planificación a corto, mediano y largo plazo.
 - Balance entre desarrollo energético de fuentes renovables, soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental.

V. Conclusiones y recomendaciones

A. Conclusiones

Los graves problemas ambientales generados por la industrialización de materia prima no renovable están llevando del desarrollo de una economía globalizada basada en la gestión del carbono, de la cual es parte la bioeconomía o economía basada en el uso sostenible de los recursos biológicos. Esta ha sido impulsada por la reducción de los niveles de GEI y la descarbonización de una amplia gama de industrias para equilibrar las oportunidades de bioenergía y bioproductos en todos los ámbitos geográficos, culturales, económicos y sociales.

La biorrefinería en cascada multicomponente jugará un rol central en este nuevo paradigma y funcionará desde un nicho de un producto básico hasta una escala regional o internacional, desarrollando una variedad de tecnologías necesarias y fomentando una bioeconomía de productos de alto valor agregado o bioeconomía avanzada. Las materias primas y los productos podrían ser limitados o numerosos, dependiendo de las oportunidades locales y en consecuencia la ciencia y la ingeniería apropiada variará según casos particulares (tecnología y productos sostenibles a medida o personalizados). Los aspectos sociales y políticos, y los factores económicos probablemente cambien durante los próximos años y la necesidad de minimizar los niveles globales de carbono y reducir los residuos orgánicos y no orgánicos en el ambiente seguirá aumentando. Por esta razón, las tecnologías de base biológica prometen ayudar en la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible y son la mejor y probablemente la única alternativa para lograr este esfuerzo global a gran escala y en el menor tiempo posible. Para implementar soluciones viables se requerirá de un trabajo constante y continuo, de políticas gubernamentales claras que fomente el uso sostenible de los recursos biológicos, de la difusión de resultados, de colaboraciones entre disciplinas y de asistencia internacional en un inicio, para implementar y avanzar en la biorrefinería en cascada a un nivel significativo para resolver la creciente demanda de materiales y energía en todo el mundo y para alcanzar una bioeconomía avanzada e industrias sostenibles en una sociedad eco-amigable e inclusiva, en donde los seres humanos podamos desenvolvernos en equilibrio con la naturaleza.

Los conceptos de economía circular y bioeconomía están ganando importancia en la última década, en el afán de intentar encontrar soluciones a los problemas mundiales más apremiantes, como la crisis ambiental generada por el cambio climático y las graves implicaciones sociales. La utilización

de la biodiversidad, biomasa y biomasa residual como recursos para la obtención de productos de alto valor agregado mantiene los materiales en la economía por períodos más largos, cierra el círculo de los materiales e incrementa la productividad de los recursos.

El uso sostenible de la biodiversidad, biomasa y biomasa residual “en cascada”, incrementa la eficiencia del recurso, disminuye la demanda por materiales frescos (que son alimento humano o animal) o son fuente de materia prima para otras actividades económicas; y sobre todo crea un valor añadido tangible. Además, se generan fuentes de trabajo a nivel local, sobre todo en las áreas rurales, si se promueve el establecimiento de biorrefinerías en los centros cercanos a los cultivos y en las zonas urbano-marginales donde se encuentran la mayoría de emprendimientos e industrias de base biológica.

La academia, el sector privado, las instituciones gubernamentales y las de asistencia técnica internacional están aunando esfuerzos y dando pasos certeros para desarrollar la bioeconomía de productos con alto valor agregado en Ecuador. Sin embargo, es necesario tener un marco regulatorio apropiado e incrementar el financiamiento a proyectos de investigación y desarrollo en el uso sostenible de la biodiversidad, biomasa, y biomasa residual. Hay que fomentar una sociedad más sostenible y eficiente en recursos, que resulte en una huella de carbono menor y evite o disminuya el uso de recursos fósiles. Ecuador, como país megadiverso y agroindustrial, con condiciones geográficas y climáticas favorables tiene grandes oportunidades para desarrollar una bioeconomía avanzada, cuando logre superar los grandes desafíos que esta actividad multisectorial, multi e interdisciplinaria cuente con el apoyo necesario de las instituciones de gobierno encargadas de definir las políticas, estrategias y agendas a seguir y la academia, el sector privado y la sociedad en general coordinen un acuerdo mínimo para la bioeconomía y lograr los tan anhelados objetivos de desarrollo sostenible para el Ecuador.

B. Recomendaciones

Ecuador como país megadiverso y con una agroindustria que ha logrado desarrollar productos de calidad de exportación presenta un escenario propicio para desarrollar la bioeconomía avanzada, para ello es recomendable lo siguiente:

- Fortalecimiento integral de la Investigación + Desarrollo + Innovación para la bioeconomía sostenible avanzada acorde con las necesidades actuales de uso eficiente de biodiversidad, biomasa, y biomasa residual y del recurso hídrico y energético, que impulse una puesta en valor de una red de centros de transferencia de tecnología y hubs de innovación tecnológica a nivel nacional, a través de desarrollo de capacidades y transferencia de conocimiento. La I+D+i para la bioeconomía está relacionada al Principio 8 del “Pacto Nacional por la Bioeconomía Sostenible”.
- Impulso de la incubación y el escalamiento comercial de bioemprendimientos articulados a nuevas cadenas de valor, integración horizontal y vertical, y alianzas público-privadas, en concordancia con el Principio 7 del “Pacto Nacional por la Bioeconomía Sostenible”.
- Atención a mercados estratégicos basados en las tendencias de consumo nacional e internacional.
- Las actividades productivas en el sector camaronero son muy relevantes y de interés público, y el sector privado está avanzando en la investigación y desarrollo del mejoramiento de las condiciones de producción y sobre cómo incrementar la productividad y calidad de sus productos. Sin embargo, los residuos de esta industria no están siendo valorizados todavía, por lo que sería muy recomendable fomentar las investigaciones en esa dirección.
- Con relación al uso de la tagua, como especie insigne de la biodiversidad ecuatoriana y como el producto forestal no maderable con mayor potencial en Ecuador, es necesario continuar su investigación y desarrollo de nuevos productos con propiedades mejoradas cuya calidad se ajuste a estándares internacionales. Para ello es importante contar con mayor financiamiento para la tecnificación y escalamiento de la biorrefinería de la tagua, que por el momento

está en fase de laboratorio con TRLs entre 4 y 5. Se recomienda recuperar el manano como biopolímero u oligómero y el monómero manosa para potenciales aplicaciones en salud, industria y ambiente.

- Otros sectores importantes de la economía ecuatoriana son el café, la yuca, la papa, la quinua, las frutas tropicales como la piña, el mango, la pitahaya; de clima frío como la granadilla, uvilla; otras como el aguacate y los cítricos (naranja y limón) son de uso local y nacional generalizado, por lo que se generan grandes volúmenes de cascaras, semillas y otros residuos, por lo que sería interesante apoyar también el uso eficiente de los residuos de estas agroindustrias.
- Las agroindustrias introducidas en Ecuador, como el hemp (*Cannabis sativa*), flores, vainilla, moringa, mangostino y fruta milagrosa presentan oportunidades de I+D+i que deben ser apoyadas, por su gran potencial.
- En el sector social, el desarrollo de la bioeconomía avanzada tendría un efecto positivo en la creación de empleos en zonas rurales, urbano-marginales, y urbanas; por ejemplo en la academia, en los bio-negocios, en aplicación de la tecnología de punta en el diseño, procesamiento, mercadeo y distribución de estos nuevos biocombustibles y bio-productos.

Bibliografía

- Abdoussalami, A., Hu, Z., Islam, A. R. M. T., & Wu, Z. (2023), Climate change and its impacts on banana production: a systematic analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 25(11), 12217–12246. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03168-2>.
- AboDalam, H., Devra, V., Ahmed, F. K., Li, B., & Abd-Elsalam, K. A. (2022), Rice wastes for green production and sustainable nanomaterials: An overview. In *Agri-Waste and Microbes for Production of Sustainable Nanomaterials* (pp. 707–728), Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823575-1.00009-3>.
- Abraham, A., Mathew, A. K., Sindhu, R., Pandey, A., & Binod, P. (2016), Potential of rice straw for bio-refining: An overview. *Bioresource Technology*, 215, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.011>.
- Abu-Bakar, N. A., Roslan, A. M., Hassan, M. A., Rahman, M. H. A., Ibrahim, K. N., Abd Rahman, M. D., & Mohamad, R. (2023), Environmental impact assessment of rice mill waste valorisation to glucose through biorefinery platform. *Scientific Reports*, 13(1), 14767. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28487-2>.
- Acosta-Solis, M. (1948), Tagua or Vegetable Ivory: A Forest Product of Ecuador. *New York Botanical Garden*, 2(1), 46–57.
- Adu, M. O., Atia, K., Arthur, E., Asare, P. A., Obour, P. B., Danso, E. O., Frimpong, K. A., Sanleri, K. A., Asare-Larbi, S., Adjei, R., Mensah, G., & Andersen, M. N. (2022), The use of oil palm empty fruit bunches as a soil amendment to improve growth and yield of crops. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(2), 13. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00753-z>.
- Aguilar, A., & Patermann, C. (2020), Biodiplomacy, the new frontier for bioeconomy. *New Biotechnology*, 59, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.07.001>.
- Almenaba-Guerrero, Y. F. (2023), Responsabilidad social en las empresas extractoras de aceite de palma en la provincia de Santo Domingo. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(2), 59–72. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n2/68>.
- Ambiente, M. del, & Ecológica, A. y T. (2017), *Estrategia Nacional para el Cambio de Matriz Productiva*. <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2013/10/ENCMPweb.pdf>.
- Andrade, A. (2021), *Estudio de ampliación de Planta de procesamiento de tagua (Phytelephas aequatorialis) para la extracción de manano* [Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9958>.
- Anecacao. (2023), *Feria Chokao 2023: Ecuador busca, para el 2030, producir 800.000 toneladas de cacao y generar \$2.500 millones por exportaciones*. CAMAE / Cámara Marítima Del Ecuador. <http://www.camae.org/ecuador/feria-chokao-2023-ecuador-busca-para-el-2030-producir-800-000-toneladas-de-cacao-y-generar-2-500-millones-por-exportaciones/>.

- Angulo, S. (2023), *La gasolina eco plus 89 dejará de venderse desde este 1 de octubre de 2023*. Diario Expreso. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/gasolina-eco-plus-89-dejara-venderse-1-octubre-2023-174471.html#:~:text=Petroecuador informo este 28 de,de este tipo de combustible.>
- Arcenales, M., Martín-Sampedro, R., Santos-Oliveira, R., Attia, M. F., Anker, J. N., Whitehead, D. C., Debut, A., Deng, L., Zheng, Y., Hu, B., Romero, M. P., López, F., & Alexis, F. (2023), Lignocellulosic-Based Nanoparticles with Photoluminescent Properties for Bioimaging. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(26), 31320–31329. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c05248>.
- Arias Gutiérrez, R., Carpio, T. V., Sorzano, A. H., & Sousa, R. G. (2016), Diversified Crop Indigenous System And Local Development In Ecuadorian Amazonia. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 7–14. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1878.1688>.
- Arroyo, E., Landázuri, A., & Orejuela-Escobar, L. (2020), *Utilización de los subproductos de mango (Mangifera indica L.) con tecnología cero desechos para la elaboración de productos aplicados a la industria cosmética y alimenticia*. Universidad San Francisco de Quito.
- Aspinall, G. O., Hirst, E. L., Percival, E. G. V., & Williamson, I. R. (1953), The mannans of ivory nut (*Phytelphas macrocarpa*), Part I. The methylation of mannan A and mannan B. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 3184. <https://doi.org/10.1039/jr9530003184>.
- Banco Central de Ecuador. (2023), *Informe de Resultados de Comercio Exterior*. https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/ComercioExterior/informes/ResultCE_012023.pdf.
- Barfod, A. ., & Bergmann, B. (1990), *The Vegetable Ivory Industry : Surviving and Doing Well in Ecuador Author (s): A. S. Barfod, B. Bergmann and H. B. Pedersen Published by : Springer on behalf of New York Botanical Garden Press Stable URL : https://www.jstor.org/stable/4255244 The. 44(3), 293–300.*
- Barfod, A. S. (1989), The rise and fall of vegetable ivory. *Principes*, 33(4), 181–190.
- Basu, B., & Ghosh, S. (2017), Assessment of Technology and Manufacturing Readiness Levels. In *Biomaterials for musculoskeletal Regeneration* (pp. 235–246), https://doi.org/10.1007/978-981-10-3017-8_11.
- Beals, C. L. (1916), *The chemical composition , digestibility and feeding value of vegetable ivory meal Feeding Value of Vegetable Ivory Meal.*
- Beltrán-Tolosa, L. M., Navarro-Racines, C., Pradhan, P., Cruz-García, G. S., Solís, R., & Quintero, M. (2020), Action needed for staple crops in the Andean-Amazon foothills because of climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(6), 1103–1127. <https://doi.org/10.1007/s11027-020-09923-4>.
- Bioersivity-CIAT, A., Andrade, R., Garcia, C., Graterol, E., Hoyos, N., Loaiza, J. S., Nasner, H., Urioste, S., & Vergara, D. (2022), *Monitoring Survey and Open Access data for the Rice Sector*. Rice Observatory. <https://riceobservatory.org/es>.
- Brandão, A. S., Gonçalves, A., & Santos, J. M. R. C. A. (2021), Circular bioeconomy strategies: From scientific research to commercially viable products. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126407. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126407>.
- Brokamp, G., Valderrama, N., Mittelbach, M., R, C. A. G., Barfod, A. S., & Weigend, M. (2011), *Trade in Palm Products in North-Western South America*. 571–606. <https://doi.org/10.1007/s12229-011-9087-7>.
- Bröring, S., Laibach, N., & Wustmans, M. (2020), Innovation types in the bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121939. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121939>.
- Camargo-Amado, R. J., & Mosquera-Ayala, A. M. (2023), Retos de la ingeniería sostenible. *Ingeniería y Competitividad*, 25(1), 2. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.13292>.
- Cañadas, A., Gualle, A., Vizuete, K., Debut, A., Rojas-Silva, P., Ponce, S., & Orejuela-Escobar, L. M. (2022), Green Synthesis of Antibacterial Silver Nanocolloids with Agroindustrial Waste Extracts, Assisted by LED Light. *Colloids and Interfaces*, 6(4), 1–11. <https://doi.org/10.3390/colloids6040074>.
- CAPEIPI. (n.d.), *Cámara de la Pequeña Industria de Pichincha CAPEIPI*. CAPEIPI. <https://campusvirtual.capeipi.org.ec/sector-agrario-70-1.html>.
- Carvajal-Larenas, F. E., Sánchez-Montoya, A., Criollo-Criollo, G., Garcés-López, C., Martínez-Ochoa, N., Terán-Maldonado, P., Reyes-Jácome, C., & Andrade-Cruz, J. (2021), Biopolímeros de cáscaras de mango y su importancia en la soberanía alimentaria. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 13(1), 7. <https://doi.org/10.18272/aci.v13i1.1775>.
- Castellano, A. (2021), Bioeconomía, Valor Agregado y Desarrollo: vínculos conceptuales, antagonismos y complementariedades. https://ruralnet.com.ar/wp-content/uploads/2022/02/inta_bioeconomia_vagregado_2021.pdf.

- CCQ. (n.d.), *Cámara de Comercio de Quito*. https://ccq.ec/project_category/cursos/.
- CEDIA. (n.d.), *Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia*. <https://cedia.edu.ec/sobre-nosotros/>.
- Centeno, M. M. M. (2023), *Alternativas ambientales para el aprovechamiento de residuos sólidos y líquidos agroindustriales provenientes de la palma de aceite (Elaeis guineensis)*, [Universidad Libre, Santander, Colombia]. <https://hdl.handle.net/10901/26899>.
- CES. (n.d.), *Consejo de Educación Superior CES - República del Ecuador*. https://www.ces.gob.ec/?page_id=326
- CETEC. (2009), Centro Tecnológico de Entrenamiento y Capacitación. <https://www.cetececuador.com/>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2022), *Hacia la transformación del modelo de desarrollo en América Latina y el Caribe: producción, inclusión y sostenibilidad (LC/SES.39/3-P)*, Santiago. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48308-la-transformacion-modelo-desarrollo-america-latina-caribe-produccion-inclusion>.
- Chanzy, H., Dube, M., & Recherches, C. De. (1979), *Single Crystals and Oriented Crystallization of Ivory Nut Mannan*. 18, 887–898.
- Chen, Y.-L., Lo, C.-C., Liu, Y.-L., & Sun, Y.-M. (2023), Lignin extraction and fractionation from rice straw biorefinery residues. *Separation and Purification Technology*, 326, 124778. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124778>.
- Cheng, P., Li, Y., Wang, C., Guo, J., Zhou, C., Zhang, R., Ma, Y., Ma, X., Wang, L., Cheng, Y., Yan, X., & Ruan, R. (2022), Integrated marine microalgae biorefineries for improved bioactive compounds: A review. *Science of The Total Environment*, 817, 152895. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152895>.
- Chiriboga Novillo, O. (2010), *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas*. Universidad San Francisco de Quito.
- Coral, C., & Mithöfer, D. (2023), Contemporary narratives about asymmetries in responsibility in global agri-food value chains: the case of the Ecuadorian stakeholders in the banana value chain. *Agriculture and Human Values*, 40(3), 1019–1038. <https://doi.org/10.1007/s10460-022-10405-3>.
- Cornejo, C., & Wilkie, A. C. (2010), Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 14(4), 256–266. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.09.008>.
- Costa, D. A. L., & Filho, E. X. F. (2019), Microbial β -mannosidases and their industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(2), 535–547. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9500-9>.
- Coursaris, C., Hassanein, K., & Head, M. (2006), Mobile Technologies and the Value Chain: Participants, Activities and Value Creation. *2006 International Conference on Mobile Business*, 8–8. <https://doi.org/10.1109/ICMB.2006.35>.
- Cui, A., Meng, P., Hu, J., Yang, H., Yang, Z., Li, H., & Sun, Y. (2023), Fabrication of high-performance cell-imprinted polymers based on AuNPs/MXene composites via metal-free visible light-induced ATRP. *The Analyst*, 148(5), 1058–1067. <https://doi.org/10.1039/D2AN01896A>.
- Diana, C., Camacho, S., Silva, D., & Pineda, Ó. (2022), Impactos de la Palma Africana en Ecuador. In *Adrián L. Sánchez Martínez*. https://poderlatam.org/wp-content/uploads/2022/07/Informe_TOA.pdf.
- Díaz-Montes, E. (2022), Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, and Their Application in Biodegradable Films. *Polysaccharides*, 3(3), 480–501. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3030029>.
- Dita, M. A., Garming, H., Van den Bergh, I., Staver, C., & Lescot, T. (2013), Banana in Latin America and the Caribbean: current state, challenges and perspectives. *Acta Horticulturae*, 986, 365–380. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.39>.
- Eguiguren, M., Larrea, N., Proano, J. S., Streitwieser, D. A., & Ponce, S. (2023), Techno-Economic Analysis for the Production of Formic Acid Via Oxidation Processing of Residual Biomass in Ecuador. In *Congress on Research, Development, and Innovation in Renewable Energies* (pp. 3–18), https://doi.org/10.1007/978-3-031-26813-7_1.
- Excellence, C. of. (2023), *Cacao of Excellence Wraps Up Expert Training programme at R&D Laboratory with ANECACAO*. <https://www.cacaoofexcellence.org/news/news-item/cacao-of-excellence-wraps-up-expert-training-programme-at-its-cacao-rd-laboratory-with-anecacao>.
- Exterior, M. de C. (1997), *Ley Ecuatoriana de Comercio Exterior LEXI*. <https://www.uasb.edu.ec/observatorio-pyme/wp-content/uploads/sites/6/2022/02/Texto-Legal-Nº8.pdf>.
- FAO (2021), Aspirational principles and criteria for a sustainable bioeconomy. Rome, Italy. En línea: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb3706en>.

- _____. (2019), *FAO. 2019 Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets*. <https://www.fao.org/3/ca4526en/ca4526en.pdf>.
- Fiallos-Cárdenas, M., Pérez-Martínez, S., & Ramirez, A. D. (2022), Prospectives for the development of a circular bioeconomy around the banana value chain. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 541–555. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.014>.
- Filote, C., Santos, S. C. R., Popa, V. I., Botelho, C. M. S., & Volf, I. (2021), Biorefinery of marine macroalgae into high-tech bioproducts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 969–1000. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01124-4>.
- García, A., Pico, B., & Jaimez, R. (2021), La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Novasinergia revista digital de ciencia, ingeniería y tecnología*, 4(2), 152–172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>.
- García, M. B., Juca, F., & Juca, O. M. (2016), Estudio de las cadenas de valor del banano en la Provincia del Oro. *Universidad y Sociedad*, 8(3), 51–57. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v8n3/ruso6316.pdf>.
- Ghysels, S., Elena, A., Léon, E., Pala, M., Schoder, K. A., Acker, J. Van, & Ronsse, F. (2019), *Fast pyrolysis of mannan-rich ivory nut (Phytelephas aequatorialis) to valuable biorefinery products*. May. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.042>.
- Ghysels, S., Estrada, A., Vanderhaeghen, L., Rousseau, D., Dumoulin, A., Backx, S., Mangelinckx, S., & Ronsse, F. (2023), Levoglucosenone, furfural and levomannosan from mannan-rich feedstock: A proof-of-principle with ivory nut. *Chemical Engineering Journal*, 451, 138486. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138486>.
- GICAS. (2018), *Laboratorios del Grupo de Ingeniería Circular Aplicada y Simulación GICAS*. Instituto de Investigaciones Biológicas y Ambientales BIOSFERA. <https://instituto-biosfera.org/lab-gicas-grupo-de-ingenieria-ciencias-aplicadas-simulacion/#>.
- Gowthaman, N. S. K., Lim, H. N., Sreeraj, T. R., Amalraj, A., & Gopi, S. (2021), Advantages of biopolymers over synthetic polymers. In *Biopolymers and their Industrial Applications* (pp. 351–372), Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819240-5.00015-8>.
- Guamba, E., Vispo, N. S., Whitehead, D. C., Singh, A. K., Santos-Oliveira, R., Niebieskikwiat, D., Zamora-Ledezma, C., & Alexis, F. (2023), Cellulose-based hydrogels towards an antibacterial wound dressing. *Biomaterials Science*, 11(10), 3461–3468. <https://doi.org/10.1039/D2BM01369J>.
- Guo, Z., Yan, N., & Lapkin, A. A. (2019), Towards circular economy: integration of bio-waste into chemical supply chain. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 26, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2019.09.010>.
- Hadley Kershaw, E., Hartley, S., McLeod, C., & Polson, P. (2021), The Sustainable Path to a Circular Bioeconomy. *Trends in Biotechnology*, 39(6), 542–545. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.10.015>.
- Hernández-Aranda, V., Rojas-Tortolero, D., Álvarez-Barreto, J., Arias-Vega, C., Proaño-Saraguro, J., Portalanza-Chavarria, A., & Sosa, D. (2021), Characterization and Use of a Crop-Residue-Based Mat Mulch in the Production of Pepper (*Capsicum annuum*) during Dry Season. *Agronomy*, 11(6), 1173. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061173>.
- Herrera-Franco, G., Mora-Frank, C., Arteaga, G., López, A., & Carrión-Mero, P. (2022), Analysis of sugarcane ethanol production for energy development: case study ecuador. *International Journal of Energy Production and Management*, 7(4), 293–309. <https://doi.org/10.2495/EQ-V7-N4-293-309>.
- Hewett, E. W. (2012), High-value horticulture in developing countries: barriers and opportunities. *CABI Reviews*, 1–16. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20127054>.
- Holden, N. M., Neill, A. M., Stout, J. C., O'Brien, D., & Morris, M. A. (2023), Biocircularity: a Framework to Define Sustainable, Circular Bioeconomy. *Circular Economy and Sustainability*, 3(1), 77–91. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00180-y>.
- Hu, X., Shi, Y., Zhang, P., Miao, M., Zhang, T., & Jiang, B. (2016), D-Mannose: Properties, Production, and Applications: An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(4), 773–785. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12211>.
- Huang, T. H. (2015), *Estudio de la dependencia de la temperatura en la digestión anaeróbica de desechos de fruta* [Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5236/1/120686.pdf>.
- IACGB (Consejo Asesor Internacional sobre Bioeconomía Global) (2020), Expanding the Sustainable Bioeconomy: Vision and Way Forward. Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2020, Berlín.

- IICA. (2020), *Diseño e Implementación de un Programa de Capacitación y Asistencia Técnica para la Producción Sostenible de Café y Cacao en las Provincias que Conforman la CTEA en Ecuador*. IICA. <http://apps.iica.int/dashboardproyectos/programas/Detalle?CRON=5081&SCRON=00>.
- INIAP. (2023), *INIAP: innovando el agro ecuatoriano desde 1959*. Web Page. <https://www.iniap.gob.ec/iniap-innovando-el-agro-ecuadoriano-desde-1959/>.
- Islam, M. B., Khalekuzzaman, M., Kabir, S. Bin, & Hossain, M. R. (2022), Shrimp waste-derived chitosan harvested microalgae for the production of high-quality biocrude through hydrothermal liquefaction. *Fuel*, 320, 123906. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123906>.
- Ismaila, A. A., Ahmad, K., Siddique, Y., Wahab, M. A. A., Kutawa, A. B., Abdullahi, A., Zobir, S. A. M., Abdu, A., & Abdullah, S. N. A. (2023), Fusarium wilt of banana: Current update and sustainable disease control using classical and essential oils approaches. *Horticultural Plant Journal*, 9(1), 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.02.004>.
- Jabeen, N., & Atif, M. (2023), Polysaccharides based biopolymers for biomedical applications: A review. *Polymers for Advanced Technologies*. <https://doi.org/10.1002/pat.6203>.
- Jácome, J., Quezada Abad, C., Sánchez-Romero, O., Pérez, J. E., & Nirchio, M. (2019), Tilapia en Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 26(4), 543–550. <https://doi.org/10.15381/rpb.v26i4.16343>.
- Jagaba, A. H., Kuttu, S. R. M., Hayder, G., Baloo, L., Noor, A., Yaro, N. S. A., Saeed, A. A. H., Lawal, I. M., Birniwa, A. H., & Usman, A. K. (2021), A Systematic Literature Review on Waste-to-Resource Potential of Palm Oil Clinker for Sustainable Engineering and Environmental Applications. *Materials*, 14(16), 4456. <https://doi.org/10.3390/ma14164456>.
- Jaimes Becerra, J. R., Tinoco Diaz, E. K., Bravo Bravo, I. F., Caicedo Aldaz, J. C., Campaña Chaglla, J. A., & Pérez Rivas, N. Y. (2023), Análisis de datos en el cuidado de *Elaeis guineensis* (palma africana) en Colombia, Ecuador y Perú. *Ciencia y Tecnología*, 16(1), 35–42. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i1.470>.
- Jansen, K., & de la Cruz Bekema, J. (2023), The control of transboundary plant diseases and the problem of the public good: Lessons from Fusarium wilt in banana. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, 95(1), <https://doi.org/10.1080/27685241.2023.2261402>.
- JMP, C., JN, P., MVL, F., Rivera, L., VH, A., MJC, G., & LET, T. (2017), Milk Whey- From a Problematic Byproduct to a Source of Valuable Products for Health and Industry: An Overview from Biotechnology. *La Prensa Medica*, 103(4), <https://doi.org/10.4172/lpma.1000254>.
- Kordi, M., Farrokhi, N., Pech-Canul, M. I., & Ahmadikhah, A. (2023), Rice Husk at a Glance: From Agro-Industrial to Modern Applications. *Rice Science*. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.005>.
- Kozioł, M. J., & Pedersen, H. B. (2010), *Phytelephas aequatorialis (Arecaceae) in Human and Animal Nutrition Author (s): Michael J. Kozioł and Henrik Borgtoft Pedersen Published by : Springer on behalf of New York Botanical Garden Press Stable URL : http://www.jstor.org/stable/4255549 PHYTE*. 47(4), 401–407.
- Kumari, R., Kumar, M., Vivekanand, V., & Pareek, N. (2023), Chitin biorefinery: A narrative and prophecy of crustacean shell waste sustainable transformation into bioactives and renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 184, 113595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113595>.
- Kusch-Brandt, S. (2022), Industrial Symbiosis. In *The Palgrave Encyclopedia of Urban and Regional Futures* (pp. 914–917), Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87745-3_213.
- Lai, A., Clark, A. M., Escher, B. I., Fernandez, M., McEwen, L. R., Tian, Z., Wang, Z., & Schymanski, E. L. (2022), The Next Frontier of Environmental Unknowns: Substances of Unknown or Variable Composition, Complex Reaction Products, or Biological Materials (UVCBs), *Environmental Science & Technology*, 56(12), 7448–7466. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00321>.
- Landázuri, A. C., Prócel, L. M., Caisaluisa, O., Beltrán, K., Holguín, E., Yépez, S., Orejuela-Escobar, L. M., Guerrero, V. H., Herrera, N., & Taco, R. (2023), Valorization of ripe banana peels and cocoa pod husk hydrochars as green sustainable “low loss” dielectric materials. *Journal of Cleaner Production*, 426, 139044. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139044>.
- Li, Z., Zheng, Z., Li, H., Xu, D., Li, X., Xiang, L., & Tu, S. (2023), Review on Rice Husk Biochar as an Adsorbent for Soil and Water Remediation. *Plants*, 12(7), 1524. <https://doi.org/10.3390/plants12071524>.
- Lokesh, K., Ladu, L., & Summerton, L. (2018), Bridging the Gaps for a ‘Circular’ Bioeconomy: Selection Criteria, Bio-Based Value Chain and Stakeholder Mapping. *Sustainability*, 10(6), 1695. <https://doi.org/10.3390/su10061695>.
- Lucas-Toalombo, G. A., & Poveda-Morales, T. C. (2022), Implementación de platos a base de ancas de rana toro. Caso: Ambato, Ecuador. *Cienciamatria*, 8(3), 360–375. <https://doi.org/10.35381/cm.v8i3.764>.

- MACALUX. (n.d.), *Industria 5.0: más humana, sostenible y resiliente*. <https://www.mecalux.com.mx/blog/industria-5-0>.
- Machado, A., Zamora-Mendoza, L., Alexis, F., & Álvarez-Suarez, J. M. (2023), Use of Plant Extracts, Bee-Derived Products, and Probiotic-Related Applications to Fight Multidrug-Resistant Pathogens in the Post-Antibiotic Era. *Future Pharmacology*, 3(3), 535–567. <https://doi.org/10.3390/futurepharmacol3030034>.
- Macias Mendoza, A. M., Pérez Parra, J. C., & Torres Puentes, J. C. (2022), Pasado, presente y perspectiva del bioetanol en Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 15(40), 38–51. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp38-51p>.
- Mahendrasinh Kosamia, N., Samavi, M., Piok, K., & Kumar Rakshit, S. (2022), Perspectives for scale up of biorefineries using biochemical conversion pathways: Technology status, techno-economic, and sustainable approaches. *Fuel*, 324, 124532. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124532>.
- Martín, M., Taifouris, M., & Galán, G. (2023), Lignocellulosic biorefineries: A multiscale approach for resource exploitation. *Bioresource Technology*, 129397. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129397>.
- Martínez-Padilla, L. P., Franke, L., Xu, X. Q., & Juliano, P. (2018), Improved extraction of avocado oil by application of sono-physical processes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40(August 2017), 720–726. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.08.008>.
- Martínez, G., Olivares, B. O., Rey, J. C., Rojas, J., Cardenas, J., Muentes, C., & Dawson, C. (2023), The Advance of Fusarium Wilt Tropical Race 4 in Musaceae of Latin America and the Caribbean: Current Situation. *Pathogens*, 12(2), 277. <https://doi.org/10.3390/pathogens12020277>.
- Mathur, S., Kumar, D., Kumar, V., Dantas, A., Verma, R., & Kuca, K. (2023), Xylitol: Production strategies with emphasis on biotechnological approach, scale up, and market trends. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 35, 101203. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101203>.
- Mendoza Avilés, H. E., Loor Bruno, A. C., & Vilema Escudero, S. F. (2019), El arroz y su importancia en los emprendimientos rurales de la agroindustria como mecanismo de desarrollo local de Samborondón. *Universidad y Sociedad*, 11(1), 324–330. <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>.
- Mikkonen, K. S. (2012), Sustainable food- packaging materials based on future biorefinery products : Xylans and mannans. *Trends in Food Science & Technology*, 28(2), 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.012>.
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2019), *Centro de Promoción y Fomento de Bionegocios Sostenibles del Ecuador*. Boletín No. 198, Dirección de Comunicación. <https://www.ambiente.gob.ec/gobierno-nacional-implementa-el-primer-centro-de-promocion-y-fomento-de-bionegocios-sostenible-del-ecuador-bioemprende/>.
- Mohamad, U. H., King, D. W. Y., Riza, M. A. bin, & Ahmad, M. N. (2022), Emerging Crop Traceability Systems in Smart Farming: A Review. In *Proceedings of the International Conference on Computer, Information Technology and Intelligent Computing (CITIC 2022)* (pp. 182–194), Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-094-7_15.
- Mohd Esa, N., & Ling, T. B. (2016), By-products of Rice Processing: An Overview of Health Benefits and Applications. *Rice Research: Open Access*, 4(1), <https://doi.org/10.4172/jrr.1000107>.
- Montúfar, R., Gehrung, J., Ayala, M., And, & Atallah, S. (2022), Identifying the Ecosystems Services of the Ivory Palm (*Phytelephas aequatorialis* Spruce): A Qualitative Study from the Central Coast of Ecuador. *Economic Botany*, 76(3), 300–318. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12231-022-09552-9>.
- Mora, V., Uyaguari, M., & Osorio, V. (2009), *Situación actual de las especies introducidas en el Ecuador con fines acuícolas*. Escuela Politécnica Nacional ESPOL.
- Moraes, C. A., Fernandes, I. J., Calheiro, D., Kieling, A. G., Brehm, F. A., Rigon, M. R., Berwanger Filho, J. A., Schneider, I. A., & Osorio, E. (2014), Review of the rice production cycle: By-products and the main applications focusing on rice husk combustion and ash recycling. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 32(11), 1034–1048. <https://doi.org/10.1177/0734242X14557379>.
- Moreira, L. R. S., & Filho, E. X. F. (2008), *An overview of mannan structure and mannan-degrading enzyme systems*. 1, 165–178. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1423-4>.
- Murphy, D. J., Goggin, K., & Paterson, R. R. M. (2021), Oil palm in the 2020s and beyond: challenges and solutions. *CABI Agriculture and Bioscience*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00058-3>.

- Muscat, A., de Olde, E. M., Ripoll-Bosch, R., Van Zanten, H. H. E., Metze, T. A. P., Termeer, C. J. A. M., van Ittersum, M. K., & de Boer, I. J. M. (2021), Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy. *Nature Food*, 2(8), 561–566. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00340-7>.
- Nacional, A. (2014a), *Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones*. https://www.etapa.net.ec/Portals/0/TRANSPARENCIA/Literal-a2/CODIGO-ORGANICO-DE-LA-PRODUCCION_-COMERCIO-E-INVERSIONES.pdf.
- _____. (2014b), *Creación INABIO - Decreto Ejecutivo No. 245*. Web Page. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Crease-Instituto-Nacional-Biodiversidad.pdf.
- Narayanan, M. (2024), Promising biorefinery products from marine macro and microalgal biomass: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 190, 114081. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114081>.
- Narisetty, V., R., R., Maitra, S., Tarafdar, A., Alphy, M. P., Kumar, A. N., Madhavan, A., Sirohi, R., Awasthi, M. K., Sindhu, R., Varjani, S., & Binod, P. (2023), Waste-Derived Fuels and Renewable Chemicals for Bioeconomy Promotion: A Sustainable Approach. *BioEnergy Research*, 16(1), 16–32. <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10428-y>.
- Navas-Cárdenas, C., Caetano, M., Endara, D., Jiménez, R., Lozada, A. B., Manangón, L. E., Navarrete, A., Reinoso, C., Sommer-Márquez, A. E., & Villasana, Y. (2023), The Role of Oxygenated Functional Groups on Cadmium Removal using Pyrochar and Hydrochar Derived from *Guadua angustifolia* Residues. *Water*, 15(3), 525. <https://doi.org/10.3390/w15030525>.
- Negash, Y. T., Sarmiento, L. S. C., Tseng, S.-W., Lim, M. K., & Tseng, M.-L. (2023), A circular waste bioeconomy development model in the Ecuadorian fishery industry: the impact of government strategy on` supply chain integration and smart operations. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(43), 98156–98182. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29333-8>.
- Nielsen, J., Tillegreen, C. B., & Petranovic, D. (2022), Innovation trends in industrial biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 40(10), 1160–1172. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.03.007>.
- Orejuela-Escobar, L., Gualle, A., Ochoa-Herrera, V., & Philippidis, G. P. (2021), Prospects of microalgae for biomaterial production and environmental applications at biorefineries. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su13063063>.
- Orejuela-Escobar, L. M., Landázuri, A. C., & Goodell, B. (2021), Second generation biorefining in Ecuador: Circular bioeconomy, zero waste technology, environment and sustainable development: The nexus. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, August 2020, 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.01.004>.
- Orejuela, L., Renneckar, S., Goodell, B., Frazier, C. F., & Edgar, K. J. (2017), Lignocellulose deconstruction using glycylglycine and a chelator-mediated Fenton system. *Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University*.
- PACCARI. (n.d.), *Paccari - Premium Organic Chocolate from Bar*. 2002. <https://www.paccari.com/>.
- Palacios Cedeño, N., Zambrano Montesdeoca, J. L., Intriago Intriago, J. P., & Zamora Cevallos, J. A. (2021), Cadena de valor de la tagua y su productividad. *ECA Sinergia*, 12(1), 70. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v12i1.2862.
- Parajuli, R., Dalgaard, T., Jørgensen, U., Adamsen, A. P. S., Knudsen, M. T., Birkved, M., Gylling, M., & Schjørring, J. K. (2015), Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.041>.
- Pardilhó, S., Cotas, J., Pacheco, D., Gonçalves, A. M. M., Bahcevandziev, K., Pereira, L., Figueirinha, A., & Dias, J. M. (2023), Valorisation of marine macroalgae waste using a cascade biorefinery approach: Exploratory study. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135672. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135672>.
- Pazmiño-Sánchez, J., Vargas-García, Y., & Dávila-Rincón, J. (2017), Perspectivas de las biorrefinerías y Situación Actual de los Biocombustibles en Ecuador como país Emergente. *Perfiles, Revista Científica*, 2(18), 26. <http://dspace.espe.edu.ec/handle/123456789/9370>.
- Pfleger, B. F., & Takors, R. (2023), Recent progress in the synthesis of advanced biofuel and bioproducts. *Current Opinion in Biotechnology*, 80, 102913. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102913>.
- Ponce, S., Wesinger, S., Ona, D., Streitwieser, D. A., & Albert, J. (2023), Valorization of secondary feedstocks from the agroindustry by selective catalytic oxidation to formic and acetic acid using the OxFA process. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(8), 7199–7206. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01854-7>.

- Posso, F., Siguencia, J., & Narváez, R. (2020), Residual biomass-based hydrogen production: Potential and possible uses in Ecuador. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(26), 13717–13725. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.235>.
- Puglla, E. P., Guaya, D., Tituana, C., Osorio, F., & García-Ruiz, M. J. (2020), Biochar from Agricultural by-Products for the Removal of Lead and Cadmium from Drinking Water. *Water*, 12(10), 2933. <https://doi.org/10.3390/w12102933>.
- Rana, M., Jassal, S., Yadav, R., Sharma, A., Puri, N., Mazumder, K., & Gupta, N. (2023), Functional β -mannooligosaccharides: Sources, enzymatic production and application as prebiotics. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2222165>.
- Rathour, R. K., Devi, M., Dahiya, P., Sharma, N., Kaushik, N., Kumari, D., Kumar, P., Baadhe, R. R., Walia, A., Bhatt, A. K., & Bhatia, R. K. (2023), Recent Trends, Opportunities and Challenges in Sustainable Management of Rice Straw Waste Biomass for Green Biorefinery. *Energies*, 16(3), 1429. <https://doi.org/10.3390/en16031429>.
- Rentería Núñez, G., & Perez-Castillo, D. (2023), Business Models for Industrial Symbiosis: A Literature Review. *Sustainability*, 15(12), 9142. <https://doi.org/10.3390/su15129142>.
- Rodríguez Delgado, I., Pérez, H. I., & Socorro Castro, A. R. (2018), Principales insectos plaga, invertebrados y vertebrados que atacan los cultivos de arroz en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 95–107. <https://doi.org/aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.
- Ruales, J., Baenas, N., Moreno, D. A., Stinco, C. M., Meléndez-Martínez, A. J., & García-Ruiz, A. (2018), Biological Active Ecuadorian Mango “Tommy Atkins” Ingredients-An Opportunity to Reduce Agrowaste. *Nutrients*, 10(9), 1138. <https://doi.org/10.3390/nu10091138>.
- Salazar, O. V., Latorre, S., Godoy, M. Z., & Quelal-Vásconez, M. A. (2023), ISNN. *Journal of Rural Studies*, 98, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.01.015>.
- Sánchez Herrera, B. J., & Albán Dávila, M. B. (2018), *Biocontabilidad y la valoración de la riqueza natural en el Ecuador* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27938>.
- Sancho, D., Alvarez Gil, M. de J., & Fernández Sánchez, L. del R. (2015), Insectos y alimentación. Larvas de *Rhynchophorus palmarum* L, un alimento de los pobladores de la Amazonía Ecuatoriana. *Entomotropica*, 30(14), 135–149. <https://entomotropica.org/index.php/entomotropica/article/download/481/583>.
- Sarmiento, J., & Antonio, A. (2004), *La ranicultura como alternativa de diversificación de las exportaciones en el Ecuador* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/1338>.
- Sibhatu, K. T. (2023), Oil palm boom: its socioeconomic use and abuse. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1083022>.
- Singh, S., Singh, G., & Arya, S. K. (2018), Mannans: An overview of properties and application in food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, 119, 79–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.130>.
- Streitwieser, D. A., Villamil, D. O., Gutierrez, E., Salazar, S., Mora, J. R., & Bejarano, M. L. (2021), Fast Pyrolysis as a Valorization Mechanism for Banana Rachis and Low-Density Polyethylene Waste. *Chemical Engineering & Technology*, 44(11), 2092–2099. <https://doi.org/10.1002/ceat.202100232>.
- Sundram, S. (2022), Fungi in biological management of plant diseases: current and future perspective. *Journal of Oil Palm Research*. <https://doi.org/10.21894/jopr.2022.0061>.
- Tayeb, I. A., Zhao, F., Abdullah, J. M., & Cheong, K. Y. (2021), Resistive switching behaviour in a polymannose film for multistate non-volatile memory application. *Journal of Materials Chemistry C*, 9(4), 1437–1450. <https://doi.org/10.1039/DoTCo4655H>.
- Tennhardt, L. M., Lambin, E. F., Curran, M., & Schader, C. (2023), Implementation of sustainable farming practices by cocoa farmers in Ecuador and Uganda: the influence of value chain factors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1167683>.
- Timell, T. (1957), *VEGETABLE IVORY AS A SOURCE OF MANNAN POLYSACCHARIDE*.
- Tituana, C., & Orejuela-Escobar, L. (2018), *Evaluación del uso potencial del colorante extraído de la semilla del aguacate (Persea americana) como producto funcional alimenticio Ana Carolina Tituana Puente Ana Carolina Tituana Puente*. Universidad San Francisco de Quito.
- Tong, K. T. X., Tan, I. S., Foo, H. C. Y., Lam, M. K., Lim, S., & Lee, K. T. (2022), Advancement of biorefinery-derived platform chemicals from macroalgae: a perspective for bioethanol and lactic acid. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02561-7>.

- Torres, B., Eche, D., Torres, Y., Bravo, C., Velasco, C., & García, A. (2021), Identification and Assessment of Livestock Best Management Practices (BMPs) Using the REDD+ Approach in the Ecuadorian Amazon. *Agronomy*, 11(7), 1336. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071336>.
- Tsouko, E., Alexandri, M., Fernandes, K. V., Guimarães Freire, D. M., Mallouchos, A., & Koutinas, A. A. (2019), Extraction of Phenolic Compounds from Palm Oil Processing Residues and Their Application as Antioxidants. *Food Technology and Biotechnology*, 57(1), 29–38. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.01.19.5784>.
- UNESCO, I. de E. (2011), *Gasto de Investigación y Desarrollo en Ecuador*. https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?locations=EC&most_recent_value_desc=false.
- Uthaman, S., Pillarisetti, S., Lim, Y.-M., Jeong, J.-O., Bardhan, R., Huh, K. M., & Park, I.-K. (2023), Light and immunostimulant mediated in situ re-education of tumor-associated macrophages using photosensitizer conjugated mannan nanoparticles for boosting immuno-photodynamic anti-metastasis therapy. *Biomaterials Science*, 11(1), 298–306. <https://doi.org/10.1039/D2BM01508K>.
- Vaca, E., Gaibor, N., & Kovács, K. (2020), Analysis of the chain of the banana industry of Ecuador and the European market. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, 14(1–2), <https://doi.org/10.19041/APSTRACT/2020/1-2/7>.
- Valverde-Orozco, V., Gavilanes-Terán, I., Idrovo-Novillo, J., Carrera-Beltrán, L., Buri-Tanguila, S., Salazar-García, K., & Paredes, C. (2022), Characterization of Agro-Livestock Wastes for Composting in Rural Zones in Ecuador: The Case of the Parish of San Andrés. *Agronomy*, 12(10), 2538. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102538>.
- Vidal, J. L., Jin, T., Lam, E., Kerton, F., & Moores, A. (2022), Blue is the new green: Valorization of crustacean waste. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100330>.
- Vilaplana, R., Hurtado, G., & Valencia-Chamorro, S. (2018), Hot water dips elicit disease resistance against anthracnose caused by *Colletotrichum musae* in organic bananas (*Musa acuminata*), *LWT*, 95, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.085>.
- Villacis, A., Alwang, J., & Barrera, V. (2022), Cacao value chains and credence attributes: lessons from Ecuador. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 12(4), 549–566. <https://doi.org/10.1108/JADEE-10-2021-0267>.
- Vincent, Julian F.V.; Bogatyreva, Olga A.; Bogatyrev, Nikolaj R.; Bowyer, Adrian; Pahl, Anja-Karina (21 August 2006), Biomimetics: its practice and theory. *Journal of The Royal Society Interface*, 3 (9): 471–482. doi:10.1098/rsif.2006.0127.
- Vizuite-Montero, M. O., Figueroa-Saavedra, H. F., Barbaru-Grajales, A. D., Zapata-Mayorga, H. A., Herrera-Ocaña, H. R., & Moya, W. (2024), Physio-edaphoclimatic factors show optimal soil suitability for three tropical crops in the Ecuadorian Amazon. *Scientia Agricola*, 81. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0214>.
- Wang, Z., Walker, G. W., Muir, D. C. G., & Nagatani-Yoshida, K. (2020), Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories. *Environmental Science & Technology*, 54(5), 2575–2584. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06379>.
- Wani, A. K., Akhtar, N., Mir, T. ul G., Rahayu, F., Suhara, C., Anjli, A., Chopra, C., Singh, R., Prakash, A., El Messaoudi, N., Fernandes, C. D., Ferreira, L. F. R., Rather, R. A., & Américo-Pinheiro, J. H. P. (2023), Eco-friendly and safe alternatives for the valorization of shrimp farming waste. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27819-z>.
- Xiao, S., Lao, Y., Liu, H., Li, D., Wei, Q., Li, Z., & Lu, S. (2024), Highly stretchable anti-freeze hydrogel based on aloe polysaccharides with high ionic conductivity for multifunctional wearable sensors. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254, 127931. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127931>.
- Yamabhai, M., Sak-ubol, S., Srila, W., & Haltrich, D. (2016), *Mannan biotechnology: from biofuels to health*. 8551(1), 32–42. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923372>.
- Yildiz, S. Y., & Oner, E. T. (2014), Mannan as a Promising Bioactive Material for Drug Nanocarrier Systems. In *Application of Nanotechnology in Drug Delivery* (pp. 311–342), Intech Open. [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=XiShDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA311&dq=Mannan+as+a+Promising+Bioactive+Material+for+Drug+Nanocarrier+Systems&ots=_RI_qYJH3w&sig=QkU6LiNdXG6HoDJJCO_zovoFfSw#v=onepage&q=Mannan as a Promising Bioactive Material for Dr](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=XiShDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA311&dq=Mannan+as+a+Promising+Bioactive+Material+for+Drug+Nanocarrier+Systems&ots=_RI_qYJH3w&sig=QkU6LiNdXG6HoDJJCO_zovoFfSw#v=onepage&q=Mannan+as+a+Promising+Bioactive+Material+for+Dr).

- Zambrano-Mite, L. F., Villasana, Y., Bejarano, M. L., Luciani, C., Niebieskikwiat, D., Álvarez, W., Cueva, D. F., Aguilera-Pesantes, D., & Orejuela-Escobar, L. M. (2023), Optimization of microfibrillated cellulose isolation from cocoa pod husk via mild oxalic acid hydrolysis: A response surface methodology approach. *Heliyon*, *9*(6), e17258. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17258>.
- Zamora-Mendoza, L., Guamba, E., Miño, K., Romero, M. P., Levoyer, A., Alvarez-Barreto, J. F., Machado, A., & Alexis, F. (2022), Antimicrobial Properties of Plant Fibers. *Molecules*, *27*(22), 7999. <https://doi.org/10.3390/molecules27227999>.
- Zamora-Mendoza, L., Gushque, F., Yanez, S., Jara, N., Álvarez-Barreto, J. F., Zamora-Ledezma, C., Dahoumane, S. A., & Alexis, F. (2023), Plant Fibers as Composite Reinforcements for Biomedical Applications. *Bioengineering*, *10*(7), 804. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10070804>.
- Zamora-Mendoza, L., Vispo, S. N., De Lima, L., Mora, J. R., Machado, A., & Alexis, F. (2023), Hydrogel for the Controlled Delivery of Bioactive Components from Extracts of *Eupatorium glutinosum* Lam. Leaves. *Molecules*, *28*(4), 1591. <https://doi.org/10.3390/molecules28041591>.
- Zhang, Z., Ma, Z., Song, L., & Farag, M. A. (2023), Maximizing crustaceans (shrimp, crab, and lobster) by-products value for optimum valorization practices: A comparative review of their active ingredients, extraction, bioprocesses and applications. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.11.002>.
- Zhou, Z., Huang, Y., Liu, H., & Zhao, G. (2022), 3D bioprinting of modified mannan bioink for tissue engineering. *STAR Protocols*, *3*(3), 101585. <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2022.101585>.

Anexo A1

Iniciativas de bioeconomía avanzada identificadas

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
1	Producción de bacteriófagos con capacidad lítica para control de bacterias patógenas (<i>Vibrio</i> sp.) para granjas camaroneras.	Bacteriófagos.	Salud de sector camaronero.	APB-BIO C.A. y Clydent S.A, Guayas.	Si	9	9
2	Aprovechamiento del salvado de arroz para la elaboración de un Sustrato Simbiótico para cultivo de probióticos en camaronera.	Sustrato Simbiótico (harina micronizada).	Sector camaronero. Biorremediación y salud.	APB-BIO C.A. y Clydent S.A, Guayas.	Si	9	9
3	Aislamiento, evaluación, caracterización y producción de bacterias endémicas con actividades metabólicas específicas (oxidación de Amonio, Oxidación de nitrito, Oxidación de Sulfuro, Precipitación de fósforo y Acumulación de Polifosfato) con aplicación para biorremediación en sector camaronero.	Consortios de bacterias.	Sector camaronero. Biorremediación.	APB-BIO C.A. y Clydent S.A., Guayas.	Si	9	9
4	Exportación de discos de tagua para botones.	Discos de tagua para botones. Polvo de tagua para industria cosmética.	Industria de la moda Industria Cosmética.	Trafino S.A.	Si	9	10
5	Producción y exportación de polvo de tagua.	Polvo de tagua de diferentes tamaños de partícula.	Industria de cuidado personal (fabricación de pañales para bebés). Industria cosmética.	Sosa Export.	SI	9	9

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
6	Programa de monitoreo de la calidad ambiental de Playas en el Ecuador 2020-2030.	Gestión y certificación de playas.	Autoridades competentes en el manejo sostenible del ecosistema de playas. Sector turístico privado.	Facultad del Mar y Medio Ambiente. Universidad Del Pacífico – Ecuador.	Se han realizado proyectos piloto desde el 2020 con publicaciones científicas.	9	No aplica.
7	Reproducción de 6 morfos de <i>Oophaga sylvatica</i> .	Metamorfos viables de 6 morfos de <i>O. sylvatica</i> .	EE. UU., Canadá, Europa, Japón.	Wikiri, La Florida, Santo Domingo de los Tsáchilas.	No	9	7
8	Exportación de polvo de tagua para la producción de artículos de higiene personal.	Discos de tagua para botones. Polvo de tagua para industria cosmética.	Industria de la moda. Industria Cosmética.	Trafino S.A.	No	7	7
9	Producción de Glucosa mediante un proceso enzimático de bajo consumo energético a partir de arroz de descarte.	Glucosa. (Patente en proceso).	Industria de Alimentos tanto humana como animal.	Clydent, Guayas. Ingeniería Química, USFQ. Quito, Pichincha.	Si	7	7
10	Biodegradación de plásticos de distinta composición por medio de inoculación de sustrato con hongo <i>Ganoderma Lucidum</i> .	Masa híbrida de sustrato con micelio que metaboliza los desechos plásticos.	Limpieza ambiental, nuevo material para esculturas.	Artes Visuales, Laboratorio de Biotecnología Agrícola y de Alimentos USFQ, D-lab USFQ. Quito, Pichincha.	No	7	6
11	Producción de bioetanol a partir de desechos de la industria bananera.	Bioetanol. (Patente en proceso).	Biocombustibles.	Clydent, Guayas. Ingeniería Química, USFQ. Quito, Pichincha.	Si	6	7
12	Manejo de colillas de tabaco: uso de bacterias y hongos para la creación de nuevos materiales.	Biomateriales en base de acetato de celulosa y celulosa bacteriana.	Mercado de biomateriales con aplicación en moda, empaque, etc.	Dpto. Ingeniería Química, Dpto. de Ingeniería Ambiental, CORElab, Laboratorio de Biotecnología Agrícola y de Alimentos, D-lab USFQ.	No	4	5

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
13	Obtención de microcelulosa fibrilada MCF a partir de cascara de mazorca de cacao por hidrolisis con ácido oxálico.	Micro celulosa Fibrilada, MCF.	En nanobiomateriales con aplicación en Salud, Industria y Ambiente.	Ingeniería Química, USFQ. Quito, Pichincha. Departamento de Física, USFQ. Departamento de Ingeniería Mecánica. Biotecnología, Universidad Regional Amazónica Ikiam. Tena. Clydent S.A.	Si	4	5
14	Valorización de la tagua – Estudio de la composición química de la (<i>Phytelephas aequatorialis</i>), agregación de valor y usos potenciales.	Manejo sostenible de la tagua, nuevas aplicaciones.	Cosmecéuticos, nutracéuticos, farmacéutica, alimento animal, fibras dietéticas, biopolímeros, biopelículas comestibles. Azúcares con bajo índice glicémico (tratamiento de la diabetes).	Departamento de Ing. Química, USFQ. Instalaciones de Sosa Export, Otavalo, Ecuador.	SI	4	4
15	Producción de manano y manosa a partir de polvo de tagua de desecho.	Polvo de tagua de diferentes tamaños de partícula.	Industria cosmética, nutracéutica, farmacéutica.	Sosa Export.	SI	4	4
16	Obtención y Evaluación de extractos vegetales con actividad antimicrobiana contra patógenos relevantes del sector camaronero (<i>Vibrio sp.</i> y <i>Pseudomonas sp.</i>).	Fórmula a base de extractos vegetales.	Salud de sector camaronero.	Ingeniería Química, USFQ. Quito, Pichincha. Instituto de Microbiología, USFQ. Clydent S.A.	No	4	4
17	Producción de nanopartículas de plata antibacterianas mediante síntesis verde con extractos de residuos agroindustriales.	Nanopartículas de plata.	Salud y biomedicina. Empaques y embalajes antibacteriales.	Departamento Ing Química, USFQ, Quito. Centro de Nanotecnología de ESPE, Salgolqui, Pichincha, Ecuador.	No	4	4

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
18	Producción de biochar de cascarilla de arroz dopada de plata usando extracto de semilla de aguacate asistida por luz LED – Capacidades catalíticas y antibacterianas.	Nanotecnología.	Catálisis. Salud y biomedicina.	Departamento Ing Química, USFQ, Quito. Instituto de Microbiología, USFQ. Centro de Nanotecnología Centro de Nanotecnología, ESPE, Sangolqui, Pichincha, Ecuador.	No	4	4
19	Espumas de saponinas de desechos de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) y sus propiedades interfaciales para aplicación en Recuperación Mejorada de Petróleo.	Espumas comercializables (patente en proceso).	Surfactantes naturales, detergentes, espumantes, dispersantes, emulsionantes. Industria Petrolera. Industria de alimentos.	Departamento de Ing. Química, USFQ. Facultad de Ciencias de la Vida, Biotecnología, U. Ikiam. Programa de doctorado de la U. de Carabobo, Venezuela.	No	4	4
20	Obtención y Evaluación de extractos vegetales con actividad antioxidante y antimicrobiana contra patógenos comunes (<i>Stafilococcus aureus</i> , <i>Pseudomona ferruginosa</i> , <i>E. coli</i>).	Antibacteriales comercializables.	Antibióticos naturales con aplicación en salud y ambiente.	Departamento de Ing. Química, USFQ. Instituto de Microbiología, USFQ.	No	4	4
21	Recuperación de nanoligninas del licor negro proveniente de la biorefinería para producción de bioetanol a partir de residuos de la industria bananera para aplicaciones avanzadas.	Nanopartículas de lignina.	bloqueadores UV, antimicrobianos, inmovilización enzimática, administración de medicamentos, agricultura, anticorrosivos, medio ambiente, protección de la madera.	Departamento de Ing. Química, USFQ. Clydent S.A. U. Carabobo, Valencia, Venezuela.	No	4	4

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
22	Producción de microcelulosa fibrilada (MCF) de raquis de palma africana mediante procesos verdes.	Biopolímero nanocelulosa. (Patente en proceso).	Refuerzo para biopelículas para empaque y embalaje.	Departamento de Ing. Química, USFQ. Empresa Extractora de aceite de palma africana "San Daniel".	No	4	4
23	Bioplásticos sostenibles en base a microcelulosa fibrilada MCF obtenida a partir de residuos agroindustriales para empaques y embalajes en la industria de alimentos.	Bioplásticos.	Industria de empaques y embalajes.	Departamento de Ing. Química, USFQ. Empresa Extractora de aceite de palma, Sto. Domingo de los Tsáchilas.	No	3	3
24	Materiales a base de hidrochar/ biochar procedentes de residuos agrícolas para aplicaciones de semiconductores.	Green electronics.	Industria de semiconductores y electrónicos. Baterías y acumuladores de energía.	Departamento de Ing. Química, USFQ. Instituto de Nanoelectrónica, USFQ. Departamento de Física, USFQ.	No	4	4
25	Determinación de propiedades antioxidantes y antimicrobianas de fruta milagrosa, mangostino y moringa.	Antioxidantes, antibacterianos.	Alimentos funcionales, nutracéuticos, cosmeceúticos.	Departamento de Ing. Química, USFQ. Departamento de Ingeniería de Alimentos, USFQ. Instituto de Microbiología, USFQ.	No	4	4
26	Alternativas sostenibles para reducir el impacto negativo de vibrios patógenos en la salud y producción en la industria camaronera.	Optimized experimental setting conditions to evaluate alternative therapies against <i>Vibrio</i> -related biofilms.	Industria camaronera, industria de alimentos.	Instituto de Microbiología, USFQ. Departamento de Ing. Química, USFQ. Clydent S.A. USFQ. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias Aplicadas, UDLA.	No	4	4

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
27	Hormigón Circular con Fibras Naturales y Agregados Reciclad.	Diseño de mezcla de hormigones con fibras naturales y agregados reciclados.	Pavimentos.	Ingeniería Civil USFQ, Quito, Pichincha.	Si	3	4
28	"Development of iron-doped bacterial cellulose from <i>Ilex guayusa</i> and its application in the removal of cadmium from aqueous solutions.	Celulosa bacteriana dopada con Hierro.	Adsorbentes de contaminantes.	Universidad Regional Amazónica Ikiam, Yachay Tech.	No	4	4
29	Synthesis of carbon dots from bamboo (<i>Guadua angustifolia</i> Kunth) wood residues and optimization through response surface methodology.	Carbon Dots derivados de bambú.	Biosensores.	Universidad Regional Amazónica Ikiam, Yachay Tech.	No	4	4
30	Biochar de residuos de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth: efecto de la temperatura y el tiempo de residencia en la pirólisis lenta.	Biochar derivado de bambú.	Materiales adsorbentes y para enmienda de suelo.	Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena. Yachay Tech, Urcuqui.	No	4	4
31	Biochar de <i>Guadua angustifolia</i> como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales.	Aguas residuales tratadas.	Salud y ambiente.	Universidad Regional Amazónica Ikiam. Tena.	No	4	3
32	Valorización de <i>Ilex guayusa</i> . Un acercamiento metabólico, funcional y aplicativo.	Prototipos de productos fabricados con extractos de <i>Ilex guayusa</i> .	Salud.	Universidad Regional Amazónica Ikiam. Tena.	No	4	4
33	Simbiosis Industrial y Bioeconomía Circular: Actividad Antioxidante y Citotoxicidad de los extractos acuosos y etanólicos de las semillas de aguacate (<i>Persea americana</i>) de las variedades Hass y Fuerte.	Colorantes naturales para la industria farmacéutica, alimentos, textiles, tintas 3D, entre otros usos.	Industria química de colorantes naturales, alimentos funcionales, cosmecéuticos. Nutraceuticos.	Universidad San Francisco de Quito.	Si	4	4

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
34	Actividad antioxidante, antimicrobiana y citotoxicidad del colorante natural de la semilla de aguacate en fibroblastos primarios humanos.	Antibióticos naturales.	Salud humana.	Universidad San Francisco de Quito.	NA	4	NA
35	Producción de bioetanol a partir de cascaras de mazorca de cacao mediante hidrólisis ácida, alcalina y autohidrólisis.	Biocombustible.	Biocombustible líquido para transporte.	Universidad San Francisco de Quito.	No	4	4
36	Producción de bioetanol a partir del almidón de diferentes tubérculos andinos.	Biocombustible.	Biocombustible líquido para transporte.	Universidad San Francisco de Quito.	No	4	4
37	Electrodeposición de quitosano en superficies de Ti-6Al-4V.	Biorecubrimiento.	Biorecubrimiento para aleaciones metálicas.	Universidad San Francisco de Quito. Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI -México.	No	4	4
38	Recubrimientos comestibles de gel de micropartículas aloe vera y cera carnauba para aumentar la vida útil de la fresa. (<i>Fragaria ananassa</i>).	Biorecubrimiento.	Biorecubrimiento comestibles.	Universidad San Francisco de Quito.	No	4	4
39	Evaluación de la producción de ácido láctico por diferentes cepas de bacilos <i>Subtilis</i> aisladas de cultivos de <i>Theobroma Cacao</i> en Ecuador.	Bioproceso.	Producción de ácido láctico.	Universidad San Francisco de Quito. Escuela Politécnica del Litoral, ESPOL.	No	4	4
40	Esponjas porosas a partir del mesocarpio de las cascaras de la mazorca de <i>Theobroma cacao L.</i> para potenciales aplicaciones como biomaterial.	Biomateriales.	Biomedicina.	Universidad San Francisco de Quito.	No	4	4

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
41	Hidrogeles a base de celulosa – Hacia un apósito antibacteriano para heridas.	Biomateriales.	Biomedicina.	Universidad San Francisco de Quito. Yachay Tech Univ, Ecuador. Clemson Univ, South Carolina, USA. Laboratory of Nanoradiopharmacy Rio de Janeiro, Brazil. Laboratory of Radiopharmacy & Nanoradiopharmaceuticals, Rio de Janeiro, Brazil. UCAM Universidad Católica de Murcia, España. School of Chemistry & Physics, Univ. South Africa.	No	4	4
42	Nanopartículas lignocelulósicas con propiedades fotoluminiscentes para bio-imagen a partir de la biomasa residual de las rosas.	Biomateriales.	Agente de bioimagen. Biomedicina.	Yachay Tech, Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. Institute of Agricultural and Food Research (INIA, CSIC), Forest Research Center (CIFOR), Spain. Laboratory of Nanoradiopharmaceuticals and Radiopharmacy, Brazil. Clemson University, USA. Centro de Nanociencia y Nanotecnología, ESPE, Ecuador. Chinese Medical University, China. University of Plymouth, USA.	No	4	4
43	Hidrogel para la entrega controlada de componentes bioactivos a partir de extractos de la hoja de <i>Eupatorium glutinosum Lam.</i>	Liberación controlada de fármacos.	Biomedicina, farmacia.	Universidad San Francisco de Quito. Yachay Tech, Ecuador.	No	4	4

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
44	Determinación de metabolitos presentes en plantas amazónicas usadas en jarabes anti-COVID.	Caracterización de diversas plantas.	Salud.	Universidad Regional Amazónica Ikiam. Tena. Alcaldía de Arajuno.	No	4	2
45	Producción de bioproductos, bionanopolímeros, biocompuestos y biocombustibles de alto valor agregado a partir de biomasa residual mediante un proceso sostenible en cascada para aplicaciones de fenómenos interfaciales.	Nanocelulosa fibrilada (NCF). Carboximetilcelulosa.	Emulsificante, espesante, mejorador de rheología, emulsiones pickering, Industria petrolera, industria de alimentos, electrónicos, 3D printing.	Departamento de Ing. Química, USFQ. U. Regional Amazónica. Programa de Doctorado en Química Tecnológica. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Forestry and Forest Products Research Laboratory, Japón.	No	4	3
46	Eliminación de cafeína e irgasan del agua mediante residuos de bambú, laurel y moringa impregnados con nanopartículas comerciales de TiO ₂ .	Residuos lignocelulósicos impregnados con nanopartículas de TiO ₂ .	Biomateriales adsorbentes para filtros. Remediación ambiental.	Dpto. Ing Civil y Ambiental, EPN. Dpto. de Materiales, EPN. Dpto. Ing. Química, USFQ. Dpto. Ing. Mecánica, EPN.	No	4	3
47	Evaluación del diseño factorial de la eliminación de acesulfamo K, irgasan y cafeína del agua utilizando residuos de alimentos lignocelulósicos como materiales bioadsortivos en la filtración de lecho compacto.	Residuos alimenticios lignocelulósicos filtros.	Biomateriales adsorbentes para tratamiento de aguas contaminadas.		No	4	4
48	Actividad antioxidante y citotoxicidad usando fibroblastos primarios humanos de la hoja de moringa en polvo.	Extractos de la hoja de moringa como antioxidantes sin afectación en la salud humana.	Cosmecéticos. Niutraceuticos. Farmacéutico.	Dpto. de Ing. Química, USFQ. Colegio de Ciencias de la Salud, USFQ.	No	4	NA
49	Recuperación verde de acetato de celulosa de colillas de cigarrillo usadas y agregación de valor para aplicaciones avanzadas en bioplásticos, adhesivos, tintas 3D, recubrimientos hidrofóbicos, entre otros.	Circularidad del acetato de celulosa.	Industria química, bioplásticos, empaques y embalajes, materiales compuestos.	Dpto. de Ing. Química, USFQ. D-Lab, USFQ.	No	3	2

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
50	Sistema de monitoreo de biodiversidad biológica en sistemas agroforestales (SAF).	Cacao con agregación de valor por la biodiversidad biológica que habita en el SAF.	Nichos de mercado responsables. Empresas y consumidores responsables.	INABIO – Quito. Heifer – Quito. Unocace - Milagro.	No	1	1
51	Desarrollo de prototipo de Nutricafé: enmienda enriquecida con microorganismos eficientes.	Enmienda para mejorar recuperar fertilidad del suelo y nutrir el cultivo de café.	Productores de café.	Planta de Bioinsumos de la Prefectura de Loja. Heifer - Quito.	No Pero está previsto en el proyecto	1	1
52	Fortalecimiento de la Cadena de Valor de Vainilla (<i>Vanilla odorata</i>) y Canela Amazónica (<i>Ocotea quixos</i>) en Morona Santiago.	Cadena de valor de vainilla y canela amazónica.	Agrícola. Promoción del uso y aprovechamiento de la canela amazónica (<i>Ocotea quixos</i>) y vainilla amazónica (<i>vanilla spp.</i>) a través de la determinación de métodos de micropropagación y técnicas de extracción de los aceites esenciales.	Asociación Tsapau. Universidad Católica de Cuenca.	-	-	.
53	Morete: Ingrediente natural amazónico aplicado en cosmética natural ancestral.	Cadena de valor del morete.	Cosmética.	Laboratorios Luque. Universidad Técnica Particular de Loja.	-	-	-
54	Revalorización de la guayusa y la diversidad de la chakra amazónica.	Cadena de valor de la guayusa. Agregación de valor desde las chakras amazónicas y comercialización en la USFQ.	Alimentos y Bebidas no alcohólicas.	San Francisco Food Service y en la cafetería Ambrosía de la USFQ.	-	-	-

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
55	Máquina de producción continua para la obtención de biofilm de almidón de yuca.	Cadena de valor de la yuca.	Industria de la moda.	Biodegradables del Ecuador S. A. D-Lab, USFQ.	-	-	-
56	Procesos de extracción de guayusa y cacao provenientes de la chakra amazónica.	Cadena de valor de la guayusa y del cacao.	Alimentos con alto contenido de cafeína y antioxidantes.	ADITMAQ.	-	-	-
57	Fortalecimiento económico de pequeños productores amazónicos a través de la diversificación de la chakra y el posicionamiento de productos amazónicos en el sector gastronómico.	Cadena de valor del cacao blanco, ishpingo, yuca y chonta.	Nuevas negocios para productoras amazónicas, mujeres que realizan el manejo sostenible de sistemas agroforestales ancestrales para la conservación de la biodiversidad, seguridad alimentaria y equidad de género.	Ecodecisión.	-	-	-
58	Fortalecimiento socioeconómico y organizacional de comunidades recolectoras de tagua en Manabí, Santa Elena y Esmeraldas para la conservación y restauración de los ecosistemas asociados a esta especie, con acciones sensibles al género y a los saberes ancestrales.	Cadena de valor de la tagua.	Fortalecer la fase de recolección en cadena de valor de la tagua. Mejorar condiciones de vida de comunidades recolectoras con enfoque en género, saberes ancestrales, y protección de ecosistemas silvestres.	Industria textil y cosmética.	-	-	-
59	Conformación de cadenas de valor sostenibles para la guayusa, el ishpingo y sangre de drago.	Cadena de valor de la guayusa, ishpingo y sangre de drago. Capacitación y fortalecimiento productivo.	Apoyar la certificación orgánica de la comunidad Wambula.	Alimentos y bebidas no alcohólicas.	-	-	-

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/ Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
60	La gastronomía como motor de fortalecimiento de la pesca artesanal responsable y la conservación de los ecosistemas marinos.	Pesca artesanal, creación de mercados e incubación de emprendimientos, especialmente de mujeres, que permitan mejorar la calidad de vida de las familias y comunidades.	Pesca artesanal responsable en Santa Elena- Manabí, desarrollo de capacidades, generación de valor agregado.	Alimentos.	-	-	-
61	Kajkao, biomateriales circulares a base de desechos agrícolas de cultivo del cacao.	Biomateriales. El proceso productivo es en cascada, los productos finales son tableros de madera, cuero de origen vegetal, y bioplástico.	Diseño y fabricación de materiales con base biológica a partir de residuos agrícolas del cacao para elaboración de bioplásticos, cuero vegetal y materiales maderables.	KAJKAO.	-	-	-
62	SCYFUP - PROTEÍNA SOSTENIBLE.	Alimento animal: harina de insecto, aceite de insecto, fertilizante orgánico y snacks funcionales para perros formulados a partir de harina de insectos y espirulina.	Revaloración de residuos agroindustriales y alimentarios a partir de insectos y otras fuentes como bacterias y cianobacterias.	SCYFUP.	-	-	-

Número	Estudio o investigación	Producto o Servicio obtenido	Mercado potencial	Departamento/Escuela/Facultad / Institución/Ubicación	Estudio de prefactibilidad técnico-económica para planta piloto o escalado	Nivel de Madurez Tecnológica-TRL	Nivel de Madurez de Manufactura-MRL
63	Estudio fitoquímico del guarango (<i>Caesalpinia spinosa</i>).	Análisis fitoquímico de metabolitos secundarios.	Mejor precio de la vaina de guarango de Ecuador, con las empresas: SILVATEAM, Molinos Asociados, EXANDAL S.A.C., Valle Fresco, Biosolgar, Gomas y Taninos.	Laboratorios de Universidad Yachay Tech, ciudad de Urcuquí, cantón Urcuquí, provincia de Imbabura.	No	-	-
64	Study of the potential of lignocellulosic biomass hydrolysate for sustainable algal biomass and lipid/pigment production.	Identificación de microalgas de agua dulce de la Amazonía y de las Galápagos.	Potencial biorefinería para obtención de productos de alto valor agregado.	Laboratorios Ing. Ambiental, USFQ. Laboratorios de Bioenergía, Global Patel College of Sustainability, USF.	No	-	-
65	Proyecto Moringa en Ecuador: diversas aplicaciones, innovación y bioemprendimientos / Moringa Project in Ecuador: applications, innovation and entrepreneurship.	Propiedades y aplicaciones de materiales a partir de la moringa (<i>Moringa oleífera</i>).	Contaminación y remediación ambiental. Nutrición.	Laboratorio GICAS, Departamento de INQ, USFQ. Laboratorio de Ing. Alimentos, USFQ.	No	-	-
66	Efecto antimicrobiano del látex de <i>Jatropha curcas</i> frente a <i>Staphylococcus aureus</i> meticilino resistente (MRSA).	Determinación de bioactividad.	Potencial compuesto antibacteriano.	Instituto de Microbiología, USFQ, Quito, Ecuador.	No	-	-
67	Sacarificación de biomasa lignocelulósica pretratada con un solvente eutéctico profundo y un sistema Fenton con quelante para la obtención de bioacohol.	Deconstrucción de la pared celular de lignocelulosa.	Bioetanol y compuestos de valor agregado.	Laboratorios Virginia Tech, USA. USFQ.	No	-	-
68	Pirólisis catalítica de biomasa lignocelulósica con zeolitas chilenas dopadas con los metales de transición Ni y Cu para obtención de hidrocarburos.	Obtención de hidrocarburos a partir de biomasa lignocelulósica.	Bio-hidrocarburos y biocombustibles.	Laboratorios Univ. de Bio Bio, Concepción Chile. Laboratorios USFQ, Quito, Ecuador	No	-	-

Fuente: Elaboración propia, a partir de encuesta realizada (ver p. 41).



NACIONES UNIDAS

Serie

C E P A L

Recursos Naturales y Desarrollo

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en
www.cepal.org/publicaciones

225. Bioeconomía para la diversificación productiva y la agregación de valor: biorrefinerías de residuos en cadenas agroindustriales en el Ecuador”, Lourdes M. Orejuela-Escobar y Adrián G. Rodríguez (LC/TS.2024/130), 2024.
224. Incentivos y oportunidades en el marco regulatorio para el aprovechamiento energético del biogás producido en plantas de tratamiento de aguas residuales en países seleccionados de América Latina y el Caribe, Silvia Saravia Matus, Jordi de la Hoz, Diego Fernández, Alba Llavona, Helena Martín, Alfredo Montañez, Lisbeth Naranjo y Natalia Sarmanto (LC/TS.2024/39), 2024.
223. Perspectivas de desarrollo de las cadenas de valor relacionadas con el litio en Chile y América del Sur, Mario Castillo, Ingrid Garcés y Rodrigo Furtado Messias (LC/TS.2024/38), 2024.
222. Hoja de ruta técnica y financiera para la recuperación de metano y nutrientes de aguas residuales en América Latina y el Caribe, Silvia Saravia Matus, Diego Fernández, Antonio Santos, Pedro Chavarro, Alfredo Montañez y Natalia Sarmanto (LC/TS.2024/36), 2024.
221. Oportunidades para la adopción del enfoque de cadenas de valor en el ámbito de los recursos hídricos, Elisa Blanco (LC/TS.2023/201), 2024.
220. Recursos naturales y desarrollo sostenible. Propuestas teóricas en el contexto de América Latina y el Caribe, Jeannette Sánchez y Mauricio León (LC/TS.2023/198), 2023.
219. Cuentas satélite de bioeconomía para 13 países de América Latina y el Caribe: metodología y resultados, Renato Vargas, Andrés Mondaini y Adrián G. Rodríguez (LC/TS.2023/138), 2023.
218. Necesidades de inversión en agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe: efectos en el empleo verde y el valor agregado bruto, Silvia Saravia Matus, Diego Fernández, Alfredo Montañez, Santiago López, Lisbeth Naranjo y Alba Llavona (LC/TS.2023/101), 2023.
217. Diagnóstico de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en El Salvador, México y Panamá, Silvia Saravia Matus, Alfredo Montañez, Diego Fernández y Natalia Sarmanto (LC/TS.2023/96), 2023.
216. Pathways to sustainable planning for a just energy transition in Latin America and the Caribbean: an analysis of best practices in selected countries, Antonio Levy, Diego Messina, René Salgado and Rubén Contreras Lisperguer (LC/TS.2023/4), 2023.

RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO

Números publicados:

- 225 Bioeconomía para la diversificación productiva y la agregación de valor
Biorrefinerías de residuos en cadenas agroindustriales en el Ecuador
*Lourdes M. Orejuela-Escobar
y Adrián G. Rodríguez*
- 224 Incentivos y oportunidades en el marco regulatorio para el aprovechamiento energético del biogás producido en plantas de tratamiento de aguas residuales en países seleccionados de América Latina y el Caribe
*Silvia Saravia Matus, Jordi de la Hoz,
Diego Fernández, Alba Llavona, Helena Martín,
Alfredo Montañez, Lisbeth Naranjo
y Natalia Sarmanto*
- 223 Perspectivas de desarrollo de las cadenas de valor relacionadas con el litio en Chile y América del Sur
*Mario Castillo, Ingrid Garcés
y Rodrigo Furtado Messías*

