


Evaluación de las alternativas del empleo de la biomasa lignocelulósica del café en Chimborazo

Evaluation of alternatives for the use of coffee lignocellulosic biomass in Chimborazo

Carlos Leonel Burgos-Arcos ^I

 <https://orcid.org/0000-0001-7925-7746>

Neyfe Sablón-Cossío^{II}

 <https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>

^IEstudiante del programa de la Maestría Académica con Trayectoria Profesional en Ingeniería Industrial, Mención Planeación y Control de la Producción y los Servicios del Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí. Docente de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial.

Correo electrónico: cburgos@unach.edu.ec

^{II} Instituto de Posgrado. Grupo de Producción y Servicios. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Correo electrónico: nsablencossio@gmail.com

Recibido: 3 de octubre del 2022

Aprobado: 23 de noviembre del 2022

RESUMEN

La comprensión de los procesos de biomasa lignocelulósica es fundamental a la hora de seleccionar las vías de fraccionamiento y las posibilidades de obtención de nuevos productos, subproductos y bioenergía derivados de la biomasa seleccionada. El objetivo del artículo es: identificar las oportunidades de obtención de biomasa lignocelulósica de café en la provincia de Chimborazo en el marco de la Economía Circular. Se determinó las variedades y cantidades de café cultivado, se identificaron los sitios y las características de los lugares en donde se cultiva café en el Ecuador y en la provincia de Chimborazo. Se determinó los tipos, cantidades de residuos y subproductos provenientes de la industrialización del café. Se encontró que producto de la industrialización del café se generan grandes cantidades de residuos en forma de pergamino, pulpa y borra.

Palabras clave: biomasa lignocelulósica, café, biomasa.

ABSTRACT

An understanding of the lignocellulosic biomass processes is essential when selecting the fractionation routes and the possibilities of obtaining new products, by-products, and bioenergy derived from the selected biomass. The objective of the article is: to identify the opportunities for obtaining

lignocellulosic biomass from coffee in the province of Chimborazo within the framework of the Circular Economy. The varieties and quantities of cultivated coffee were determined, and the sites and characteristics of the places where coffee is grown in Ecuador and in the province of Chimborazo were identified. The types, amounts of waste, and by-products from the industrialization of coffee were determined. It was found that as a result of the industrialization of coffee, large amounts of waste are generated in the form of parchment, pulp, and grounds.

Keywords: *Lignocellulosic biomass, coffee, biomass.*

I. INTRODUCCIÓN

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas. Esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas [1]. La producción mundial de la biomasa se estima sea de 146 billones de toneladas métricas que comprende en su mayoría el crecimiento de plantas silvestres y 10 a 50 billones en base seca, dicho material está en cuarto lugar como fuente de energía y proporciona el 14% de la energía que el mundo necesita [1]. La biomasa lignocelulósica es el material renovable más abundante sobre la tierra, con una generación anual cercana a los 25 000 millones de toneladas; habitualmente se encuentra formando parte de los residuos agrícolas, forestales y agroindustriales, por lo que no compite con el mercado alimentario y su coste es menor al de los materiales azucarados o amiláceos [2].

En cuanto a los residuos del café, y el café como producto, más de 2,3 miles de millones de tazas de café son consumidas en el mundo cada día, y la mayoría del consumo del café se da lugar en los países industrializados, mientras que el 90% del café es producido en países en desarrollo [3]. El valor del comercio de café es de más de 200 mil millones de Dólares Americanos (USD) al año, por lo cual es un mercado en crecimiento que crea considerables oportunidades económicas para los productores y los actuantes en los tramos más altos de la cadena de valor [4].

Los tres mayores productores de café del mundo son: Brasil, Vietnam y Colombia. Sin embargo, en 2018 la producción fue de 170.781 millones de bolsas de 60kg de café, distribuida a lo largo de países situados entre los trópicos cáncer y capricornio. Se comercializan dos especies de café: café arábico y café robusto, distribuyendo su producción en 61.15% y 38.85% respectivamente según la organización internacional del café [5]. En la actualidad, el café ya no solo es una bebida, sino que su consumo está presente en la mayoría de las personas de occidente, haciendo que el producto se haya podido diversificar hasta límites insospechados.

Los residuos del café, al igual que otros residuos como los de palma o cacao, son materiales lignocelulósicos son una biomasa de origen vegetal y se caracterizan porque todos en su composición presentan celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa posee funciones estructurales en las paredes de las células vegetales. Por otro lado, la lignina tiene un carácter de adhesivo natural en la pared celular, lo que proporciona rigidez a la planta, además de ser una barrera física contra insectos y hongos, entre otras funciones [6].

Pese a su potencial para América Latina y el Caribe (ALC), el concepto de bioeconomía ha recibido poca atención en las políticas públicas de los países de la región. A la fecha no existen estrategias dedicadas de bioeconomía, como sí es el caso en otras regiones, sobre todo en Europa. Pero sí existen iniciativas que pueden servir de base para su desarrollo; por ejemplo, en los ámbitos de la bioenergía, biotecnología, biodiversidad y servicios ambientales, entre otras. No obstante, el tema está empezando a posicionarse en la agenda pública en varios países de la región [7].

En Ecuador, se cultivan las dos principales especies comerciales de café en el contexto mundial, *Coffea arábica L* (café arábico) y *Coffea canephora Pierre ex Froehner* (robusta). Las tecnologías de producción generadas y validadas han permitido elevar la productividad a tres tm/ha en arábigo y cinco tm/ha en robusta, esto en el ámbito de productores pioneros fincas de alto rendimiento. Sin embargo, el mayor problema que enfrenta la caficultura ecuatoriana es la baja producción nacional, con una producción promedio nacional de apenas 270 kg/has [8].

En el periodo 2017-2018, según el Informe del Servicio Agrícola Exterior del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos – USDA, en Ecuador se cosecharon únicamente 87.000 hectáreas, a pesar de que se cultivaron 200.000 hectáreas. La producción de café en el país ha disminuido

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL EMPLEO DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DEL CAFÉ EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR

paulatinamente, de acuerdo al II Censo Agropecuario realizado en 1983 existieron 346.971 hectáreas de café, mientras que en el año 2002 disminuyeron a 260.528 hectáreas y según datos de La Asociación Nacional de Exportadores de Café - ANECAFE para el año 2019 la producción se dio únicamente en 60.000 hectáreas [9].

De acuerdo a, (Venegas Sánchez et al. (2018); hasta el año 2013 en la provincia de Chimborazo había 21,27 hectáreas plantadas de café, de las cuales 8,44 fueron cosechadas, es decir el 39,68% [12].

Ecuador es uno de los países de ALC que cuenta con un gran potencial de biomasa. En el 2014, este país produjo 18,23 T de biomasa agrícola, 1,44 T de biomasa ganadera, 216 mil T de biomasa forestal y 1,7 T de biomasa municipal. [11]. En dicho país, los estudios sobre biorrefinería son escasos y se han centrado principalmente en la producción biocombustibles como etanol de segunda generación a partir de biomasa lignocelulósica provenientes de desechos agrícolas como banano, caña de azúcar, tagua y palma africana [12].

La información sobre los volúmenes de producción de biomasa proveniente del café es limitada y en algunos casos no está clara ni estructurada. Por lo anterior, existe escasa información que muestre los valores de producción de café en la provincia de Chimborazo, en qué lugares y en que volúmenes; junto con los volúmenes de residuos que podría producirse de las actividades de siembra, cultivo e industrialización del producto. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es evaluar el empleo de la biomasa lignocelulósica del café en el Chimborazo.

II. MÉTODOS

Se recogen los métodos empleados para encontrar: la cantidad y variedades de café que se cultivan en el Ecuador y en la provincia de Chimborazo y la cuantificación total de la biomasa proveniente del café.

Cantidad y variedades de café que se cultivan en el Ecuador y en la provincia de Chimborazo

Para encontrar las cantidades y variedades de café en el Ecuador y en la provincia de Chimborazo se aplicó mapeo sistemático de información [13]. Se aplicaron cuatro etapas:

1. Preguntas de investigación
2. Búsqueda de información, basándonos en criterios de inclusión y exclusión
3. Sintetizar las evidencias
4. Analizar y argumentar los resultados

Se realiza un estudio de mapeo sistemático, método relativamente nuevo para generar nueva información a partir de estudios existentes.[14]

En la etapa 1, Las preguntas de investigación fueron:

- (1) ¿Qué variedades de café se cultivan en el Ecuador?,
- (2) ¿Qué volúmenes de café (en toneladas) se cultivan en el Ecuador?
- (3) ¿En qué regiones, provincias y cantones se cultiva café en el Ecuador?
- (4) ¿En qué lugares se cultiva café en la provincia de Chimborazo?
- (5) ¿Qué cantidades de café se produce en Chimborazo?

En la etapa (2) La búsqueda de información se centró en bases de datos, páginas web del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), páginas web de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), página web de la Organización Internacional del café (ICO). Se consideró información de los años 2017 hasta el 2020, los términos introducidos en las búsquedas fueron: Producción de café en Ecuador, Producción de café en Chimborazo, Variedades de café en Ecuador.

Para sintetizar los resultados en la etapa (3) se construyeron tablas y figuras que permitieron mostrar las variedades y cantidad de cultivos de café en el Ecuador y la provincia de Chimborazo.

En la etapa (4) se recogieron los datos de manera que permitan ser analizados en el apartado de resultados y conclusiones.

Cuantificación total de la biomasa proveniente del café

Para obtener la cantidad de residuo que corresponde a biomasa de cultivo se consideró el denominado: **índice de residuo**. El índice de residuo es la relación existente entre la cantidad de residuos producidos a la cantidad del producto principal obtenido de la cosecha [15]. Este factor es clave a la hora de obtener la biomasa de cada cultivo [16].

Es importante aclarar que no toda la biomasa residual se aprovecha, ya que intervienen varios factores como la humedad elevada (60-80%) que poseen los restos vegetales, la cual influye en el aprovechamiento energético [16]. Sin embargo, los índices de residuos vienen expresados en función de este factor, otra variable que influye es la tecnología aplicada para que finalmente funcione como fuente alternativa de energía [16].

La producción de biomasa residual a partir de desechos agrícolas resultó de la siguiente ecuación:

$$Biomasa_{agrícola} = Producción_{agrícola}(ton) * Factor\ de\ residuo [1]$$

Para el caso del café, el tipo de residuo (primario) corresponde a las hojas y tallo y tiene un valor de 3,02; otro residuo a considerar es la pulpa que tiene un valor de factor de residuo de 2,13 y el cisco (las impurezas) que tiene un factor de residuo de 0,21 [17].

III. RESULTADOS

Se obtuvo: la cantidad y variedades de café cultivado en el Ecuador y en la provincia de Chimborazo, la producción de café en la provincia de Chimborazo, tipos y volúmenes de residuos del procesado de café: Biomasa de café y la Biomasa Lignocelulósica (LBC).

Cantidad y variedades de café que se cultivan en el Ecuador y en la provincia de Chimborazo

La producción de café en el Ecuador en sus distintas variedades, regiones y provincias se muestra en la figura 1. Puede verse que en el año 2017 en el territorio nacional el área de siembra - cosecha fue de, 37260 ha, generando una producción de, 7564 toneladas de café. En el año 2018 el área cosechada fue de 31924 ha y se obtuvieron, 5065 toneladas de café. En el año 2019, se consiguieron 8141 toneladas de café, con 36047 ha. Finalmente, en el año 2020, en un área de 26909 ha se obtuvieron 5280 toneladas de café en sus distintas variedades.

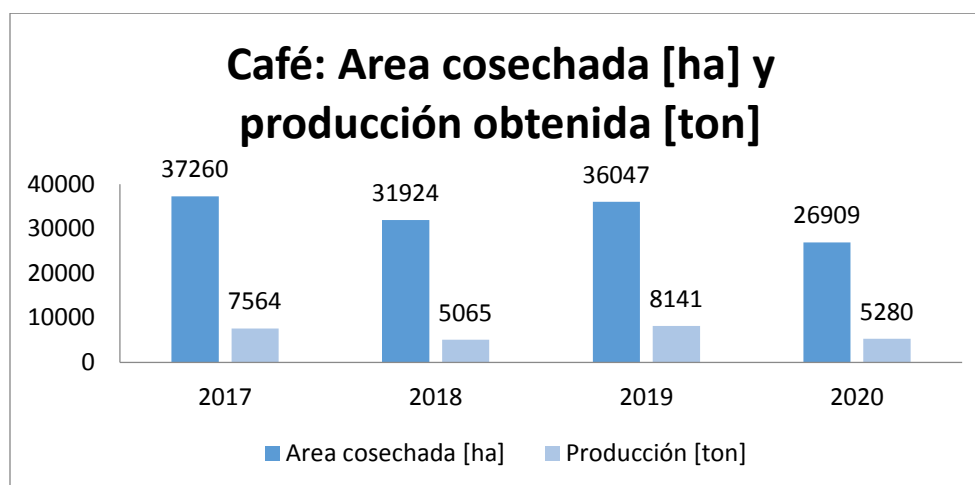


Fig. 1. Área cosechada y producción de café en el Ecuador.

Las variedades de café que se cultivan en el Ecuador son: arábigo lavado, arábigo natural y café tipo robusta. La distribución de los cultivos en sus distintas variedades puede verse en la tabla 1. Para el caso de la Provincia de Chimborazo las variedades que se cultivan son: arábigo natural y arábigo lavado.

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL EMPLEO DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DEL CAFÉ EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR

Tabla 1. Tipos de café que se producen en Ecuador.

Tipo de café	Provincias
Arábigo lavado	El Oro, Manabí, Loja, Guayas y Zamora Chinchipe, Chimborazo.
Arábigo natural	Loja, Manabí, El Oro, Los Ríos, Guayas y Pichincha, Chimborazo.
Robusta	Santa Elena, Guayas, Orellana y Sucumbíos.

En cuanto al cultivo de café orgánico, la mayor producción se concentra en: Guayas (corresponde el 47,48% del total nacional de producción estimada anual), y Loja (32,01%) [18].

La producción nacional de café se da en 15 de las 24 provincias del territorio nacional. Como se puede observar en la tabla 2. Manabí es la provincia de mayor cantidad de café. En el año 2021 se obtuvieron, 4663 toneladas de café arábigo que representan el 63, 52% de la producción nacional en una extensión de 9003 hectáreas. En Chimborazo durante el año 2021 se obtuvieron 4 toneladas, que representa apenas el 0,04 % de la producción nacional. La extensión de terreno sembrada en Chimborazo fue de 17 hectáreas. A pesar de que la producción en Chimborazo es relativamente baja, el café es de buena calidad, lo que ha determinado que el café de la región reciba varios reconocimientos internacionales [19]. Loja y el Oro, son provincias en donde durante el año 2021 la producción de café fue representativa con 1325 y 997 toneladas respectivamente. El rendimiento de producción toneladas por hectárea (t/ha) en Manabí fue de 0,52, en Chimborazo de 0,24 y el promedio nacional de 0,50.

Tabla 2. Superficie, Producción y Rendimiento de Café Arábigo Grano Oro año 2021.

Provincia	Superficie Cosechada (ha)*	Producción (t)**	Rendimiento (t/ha)***
Azuay	142	58	0,41
Bolívar	2	0	0,30
Carchi	150	146	0,97
Chimborazo	17	4	0,24
Cotopaxi	37	1	0,03
El Oro	997	315	0,32
Esmeraldas	2	1	0,31
Imbabura	313	155	0,49
Loja	2.636	1.325	0,50
Manabí	9.003	4.663	0,52
Morona Santiago	325	190	0,59
Napo	338	29	0,08
Pastaza	13	1	0,08
Pichincha	261	112	0,43
Zamora Chinchipe	485	341	0,70
Nacional	14.720	7.341	0,50

Fuente: Sistema de información pública agropecuaria, 2022.

Producción de café en la provincia de Chimborazo

En la provincia de Chimborazo el café se siembra entre 1300 y 2000 metros sobre el nivel del mar, por lo que se considera un café de altura. El café se siembra en: Cumandá, Chunchi, Alausí y Huigra¹. En cuatro cantones de Chimborazo hay 63 familias que producen café. De ellas, 43 son parte del programa de rescate de café del MAGAP; otras familias son parte de una pre asociación de Pallatanga, promovida por el Gobierno Provincial. La ubicación geográfica y la topografía de la zona sureste de Chimborazo son ideales para la producción cafetera. El clima promedio oscila entre los 18 y 20 grados [19].

En el año 2021, alrededor de 50 agricultores de cacao y café recibieron capacitación por parte de los profesionales de la institución que impulsan el **Proyecto de Reactivación de Café y Cacao Nacional Fino de Aroma** del MAGAP. Debido a la respuesta de los productores, se planea recuperar 135.000 hectáreas de plantaciones, a través de una nueva siembra: 105.000 hectáreas de café arábigo y 30.000 hectáreas de café robusta (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021).

La primera cosecha de café se obtiene luego de tres años. La expectativa de producción de las nuevas plantas de café es de 35 a 40 quintales por hectárea, superior a las entre cinco y ocho quintales anteriores (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021b). Para efectos de cálculo se considera 37,5 quintales por hectárea. En este sentido, se realizó una proyección de la producción de café en la provincia de Chimborazo para el año 2022, de café arábigo 181 125 toneladas y de robusta 51 750 toneladas.

La industria del café en Chimborazo no se ha desarrollado de forma adecuada, sin embargo, se han hecho esfuerzos para mejorar esta condición. La figura 2 muestra los sitios en donde las condiciones son ideales para el cultivo y aquellas zonas no lo son.



Leyenda:

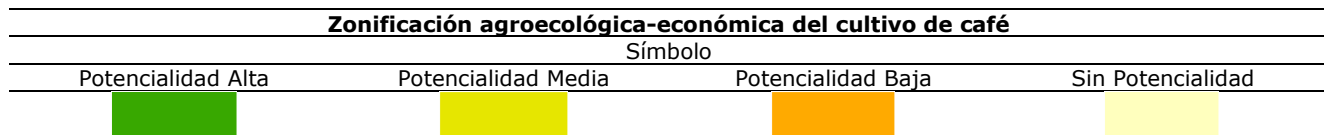


Fig. 2. Cultivos de café en la provincia de Chimborazo, zonificación agroecológica- económica del cultivo de café.

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL EMPLEO DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DEL CAFÉ EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR

De acuerdo a la Zonificación agroecológica - económica elaborada, Chunchi, Cumandá y Pallatanga corresponden a territorios con potencialidad alta y potencialidad media respectivamente para el desarrollo de cultivos de café². La potencialidad alta conjuga áreas en donde existen zonas agroecológicamente óptimas y que poseen alta y media accesibilidad a servicios e infraestructura de apoyo a la producción. Las zonas de potencialidad media muestran zonas agroecológicamente óptimas con restringida accesibilidad a servicios e infraestructura de apoyo a la producción. Se incluyen zonas agroecológicamente moderadas y que poseen alta accesibilidad a servicios e infraestructura. En la figura dos las zonas con potencialidad alta están en color verde y las zonas con potencialidad media están en color naranja.

Tipos y volúmenes de residuos que se generan en el procesado de café: Biomasa de café

En el proceso de industrialización de café se generan residuos y subproductos que representan al menos el 95% del total del fruto, solo el 5% de la biomasa generada se aprovecha³. Como puede verse en la figura 3 el café cereza o fruto de café pasa al primer proceso denominado despulpado, de este proceso se genera el residuo denominado pulpa, la pulpa representa en base húmeda alrededor del 43, 85 % del peso del fruto fresco o en base húmeda⁴. Se ha visto que la pulpa puede ser empleada como combustible directo cuando está seca, también se emplea para producción: de biogás, bioetanol, entre otras aplicaciones. La segunda etapa del proceso de industrialización del café es el desmucilaginado que significa desprender el mucílago del fruto. De acuerdo Montilla *et al.* (2008), mucílago que se genera representa alrededor del 14,85% del peso del fruto seco. El mucílago se emplea para producir: biogás y bioetanol. En la tercera etapa, denominada trilla, se desprende el pergamino también denominado cáscara o endocarpio, se ha observado que este residuo se emplea como combustible directo. En el proceso de secado al café libre de la pulpa y el pergamino se lo somete al secado que en la mayoría es natural, en esta etapa se desprende el agua que contiene el fruto en forma de vapor. En la torrefacción o tostado del café se generan volátiles y vapor que se desprenden del grano. La última etapa es la preparación de la bebida, para esto el grano tostado empleado como café soluble. La borra es un subproducto que representa el 10% del peso neto del café cosechado y contiene importantes cantidades de compuestos orgánicos como ácidos grasos, lignina, celulosa, hemicelulosa e incluso polisacáridos

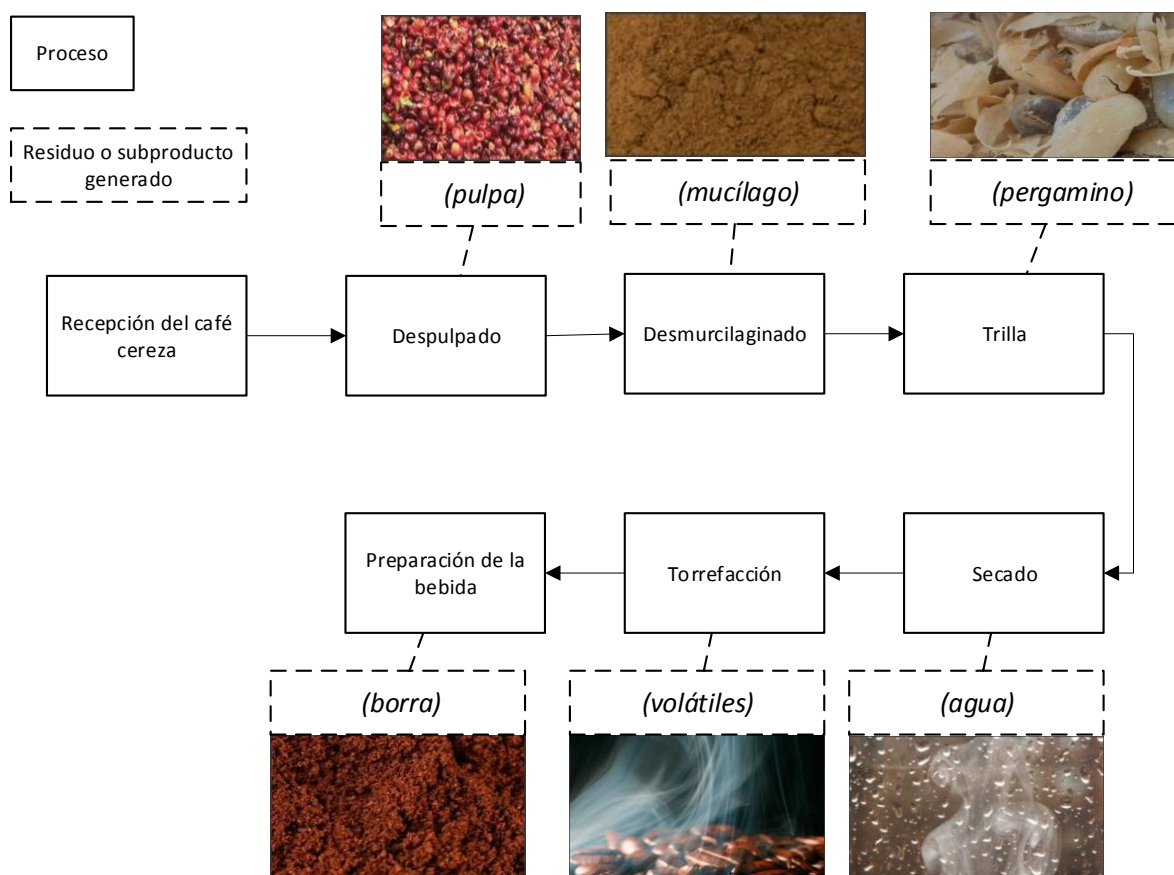


Fig. 3. Procesos, productos y residuos en la industrialización y uso del café

Cuantificación total de la biomasa proveniente del café.

Para obtener la totalidad de residuos de café provenientes de la industrialización y consumo de la variedad de café denominada arábigo se aplicó la ecuación [1]. Los resultados muestran que para el año 2021 en Chimborazo se generaron un total de 181 toneladas de residuos, como refleja la tabla 3. De estas, 70 toneladas fueron de pulpa que representan el 38,7 %, 46 toneladas fueron de pergamino y 64 toneladas fueron de borra.

Tabla 2. Cantidad de residuos provenientes del café en la provincia de Chimborazo para el año 2021.

Variedad	Producción [t/año] ;Variedad	Tipo de residuo	Factor de residuo en base seca [masa del residuo/masa del producto]	Masa de residuo	Total, de residuo por variedad
				[t/año]	[t/año]
Arábigo	14	Pulpa	5	70	181
		Pergamino	3,3	46	
		Borra	4,6	64	

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL EMPLEO DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DEL CAFÉ EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR

La tabla 3 muestra la producción total de café en la provincia de Chimborazo el tipo de residuo y el factor de residuo para la pulpa, el pergamino y la borra. Los factores de residuo en base seca se obtienen a partir del porcentaje de humedad de cada residuo y el porcentaje de masa que el residuo representa en relación con el fruto, este último valor también se denomina factor de residuo en base húmeda. De acuerdo a lo anterior, el factor de residuo en base seca para la pulpa es de 5, para el pergamino es de 3,3, y para el caso de la borra es de 4,6 [20, 21, 22, 23,24].

La biomasa lignocelulósica (LBC)

Los componentes de la (LBC) incluyen: celulosa, hemicelulosas, lignina, lípidos, proteínas, azúcares simples, almidones, agua, hidrocarburos y ceniza ⁵. Por lo general, la biomasa lignocelulósica (LBC) se compone principalmente de celulosa (35 a 45 %), hemicelulosa (25 a 30 %) y lignina (15 a 30 %). Además de otros componentes menores (15 a 20 %), como: extractivos, cenizas, proteínas y minerales [25]. Raj et al., (2015) mencionan que esta composición estructural de LCB varía con los componentes de la planta, incluso para la misma especie, tipo de biomasa, condición de nutrientes, fertilidad del suelo, método de cosecha y regiones geográficas [26].

Las categorías de carbohidratos que tienen valor significativo en los residuos lignocelulósicos son la celulosa y la hemicelulosa. A pesar de que contienen lignina. La celulosa es un polímero hecho de monómeros de glucosa, unidos entre sí a través de enlaces glucosídicos 1,4- β , que tienen de 7000 a 15 000 unidades en una sola cadena [27]. La hemicelulosa es un heteropolímero ramificado que consta de C5(xilosa y arabinosa) y C6 azúcares (es decir, glucosa, galactosa, manosa, etc.) con varias ramas cortas de O- acetileno y ácido glucurónico [28]. La lignina es una parte integral de las paredes celulares de las plantas. La lignina actúa como un pegamento al unir polímeros a la celulosa y la hemicelulosa, y esto llena los espacios entre ellos [29]. Se puede encontrar en todo tipo de material vegetal. La lignina es el polímero fenólico natural renovable más abundante del planeta: es uno de los principales componentes de las paredes celulares secundarias de las plantas y mantiene la integridad de la matriz de celulosa/hemicelulosa/pectina [30].

La biomasa lignocelulósica, incluidos los desechos agrícolas, los residuos forestales y la biomasa leñosa, es abundante (130 mil millones t/año), recurso renovable y económico que no compite con la cadena alimentaria [31]. La biomasa lignocelulósica es una fuente prometedora de energía renovable y productos químicos valiosos. Este tipo de biomasa puede ser convertida en formas útiles de energía como combustibles y productos químicos a través de procesos bioquímicos o termoquímicos [32].

La biomasa, al igual que el petróleo, consiste en muchas fracciones diferentes que se separan y se convierten en productos útiles en las biorrefinerías [25]. Sin embargo, los procesos implicados en el fraccionamiento de la biomasa son más complejos que los utilizados en las refinerías de petróleo y es probable que las biorrefinerías tengan un tamaño limitado. Las acciones de biorrefinería y los pretratamientos de biomasa necesarios se enmarcan en los lineamientos de la Economía Circular y la sustentabilidad ambiental.

V. DISCUSIÓN

La determinación de las variedades, volúmenes y cantidad de residuos generados en el proceso de industrialización de café permite tener una idea de la disponibilidad de biomasa lignocelulósica. Dicha biomasa se emplea, en ocasiones, para generar nuevos productos y producir energía. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía renovable (IRENA, 2014), en 2030, la demanda mundial de biomasa como fuente de energía podría llegar a los 108 exajulios (unos 30 millones de GWh), una cantidad equivalente al 20% del suministro energético primario total y al 60% del consumo energético renovable.

En el Ecuador y en distintas regiones la demanda de energía incide en el alto consumo de combustibles fósiles [33]. Es necesario desarrollar prácticas basadas en la simbiosis industrial que busquen reutilizar los desechos producidos por un proceso para alimentar a otro, o convertir los desechos en un subproducto útil con un valor comercial.

En el Ecuador, procesar el café determina ventajas económicas, por otra parte, emplear los residuos producidos como biomasa para abono, generación de nuevos productos u obtención de energía. En las distintas etapas de industrialización de café se generan residuos y subproductos que pueden ser aprovechados por sus características. La pulpa es bastante rica en nutrientes, pues no está lavada y puede servir de base para un buen abono. El pergamino puede ser utilizado en bioabonos o en alimentación animal. Asimismo, la cascarilla puede utilizarse también como parte del compostaje.

La mayoría de los residuos y subproductos del café no se emplean directamente, con lo que queda latente la posibilidad de emplearlos para obtener nuevos productos o energía. La conversión de materiales lignocelulósicos en productos de mayor valor requiere la separación del material en sus componentes. De acuerdo a los resultados obtenidos en la visita a los productores de café en la Provincia de Chimborazo, se tiene en cuenta los principales procesos de implementación del cultivo. El sistema de beneficio húmedo y el aprovechamiento de los residuos, reflejando el uso inadecuado de los recursos naturales y sus impactos ambientales generados en cada una de sus técnicas para la producción de café. El cultivo del café bajo sombra es uno de los sistemas productivos más amigables con el entorno, Sin embargo, se evidenció que los caficultores de la zona no implementan actividades de recuperación y uso adecuado de residuos o biomasa generada. En próximas investigaciones se centrarán en los principales pretratamientos con propósitos de biorrefinería a partir de los residuos de café.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que los niveles de producción de café en el Chimborazo son bajos, a pesar de la calidad por las condiciones climáticas. El mapeo sistemático de información aplicado muestra los distintos pretratamientos a los que puede someterse la biomasa lignocelulósica proveniente del cultivo e industrialización del producto, además se han recogido las características, ventajas y desventajas de dichos pretratamientos.
2. Los principales residuos provenientes de la industrialización del café son: la pulpa, el pergamino y la borra. En el año 2021 en la provincia de Chimborazo se obtuvo 14 toneladas de café arábigo, 70 toneladas de pulpa, 46 toneladas de pergamino y 64 toneladas de borra.
3. Se han determinado las variedades, volúmenes de producción de café en el Ecuador y la provincia de Chimborazo, así como los volúmenes de biomasa que se pueden generar en las actividades de siembra, cultivo e industrialización del café. 🏠

VII. REFERENCIAS

1. AFANASJEVA N.;CASTILLO L.;SINISTERRA J. "Journal of Science with Technological Applications". J Sci Technol Appl 2017(3):27-43. ISSN 0719-8647
2. ALMENARES-VERDECIA J. F.;NGOMA-PRESLINE F.;SERRAT-DÍAZ M. D. J. "Aspectos tecnológicos generales para la conversión a etanol de la biomasa lignocelulósica". Tecnol Química. 2011:392-407. ISSN 0121-3814
3. CARVAJAL BARRIGA E. J.;GUAMN-BURNEO C.;PORTERO P.;SALAS E.;TUFIO C.;BASTIDAS B. "Second Generation Ethanol from Residual Biomass: Research and Perspectives in Ecuador". Biomass Now - Sustain. 2013. ISSN
4. CASTILLO A.;AL E. "Aprovechamiento Integral De Los Materiales Lignocelulósicos". Rev Iberoam Polímeros. 2012;13(4):1540-150. ISSN 1885-5237
5. CLAUSER N. M. Estudio Técnico-Económico De La Biorrefinería De Los Residuos De Industrialización Primaria De La Madera Y Agroindustriales. 2018.
6. CUBERO-ABARCA R.;MOYA R.;VALARET J.;FILHO M. T., 38, , DOI:. " Use of Coffee (Coffea Arabica) Pulp for the Production of Briquettes and Pellets for Heat Generation". Cienc e Agrotecnologia 2014(38):461-70. ISSN 1413-7054
7. ECUADOR I. N. D. P. A. B. D. Atlas bioenergético del Ecuador 2014.
8. ESCALANTE H.;ORDUZ J.;ZAPATA H.;CARDONA M.;DUARTE M. "Atlas Del Potencial Energético de La Biomasa Residual En Colombia"2022? [Consultado 2 de octubre del 2022].

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL EMPLEO DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DEL CAFÉ EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO – ECUADOR

Disponible en: <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>.

9. FAO. "Manual de Usuario:Residuos Agrícolas y Residuos Ganaderos. Bioenergía y Segur. Aliment. Evaluación Rápida"2014 [Consultado 2 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/bp843s/bp843s.pdf>.

10. HAMELINCK C. N.;VAN HOOIJDONK G.;FAAIJ A. P. C. " Ethanol from Lignocellulosic Biomass: Techno-Economic Performance in Short-, Middle- and Long-Term". Biomass and Bioenergy. 2005(28):384–410. ISSN 0961-9534

11. HUANG C.;ET AL. "Unlocking the Role of Lignin for Preparing the Lignin-Based Wood Adhesive: A Review". Ind Crops Prod. 2022;187(115388). ISSN 0926-6690

12. HUGHES S. R.;AL. E. "Sustainable Conversion of Coffee and Other Crop Wastes to Biofuels and Bioproducts Using Coupled Biochemical and Thermochemical Processes in a Multi-Stage Biorefinery Concept". Appl Microbiol Biotechnol. 2014;20(1):8413–31. ISSN 0175-7598

13. IRENA. "Global Bioenergy Supply and Demand Projections: A Working Paper for REmap-2030"2014 [Consultado 2 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2014/Sep/Global-Bioenergy-Supply-and-Demand-Projections-A-working-paper-for-REmap-2030>.

14. LONDOÑO H. "Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor flujo pistón"2017 [Consultado 2 de octubre del 2022]; (549). Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3297>.

15. MÁRQUEZ C. " El Café de Chimborazo Llega Al Extranjero ". El comercio. 2019(593). ISSN 1605-3052

16. MENDOZA MARTINEZ C. L.;SAARI J. M., Y;CARDOSO M.;DE ALMEIDA G. M.;VAKKILAINEN E. "Evaluation of Thermochemical Routes for the Valorization of Solid Coffee Residues to Produce Biofuels: A Brazilian Case". Renew Sustain Energy Rev. 2021(137). ISSN 1364-0321

17. MUGWAGWA L. R.;CHIMPHANGO A. F. A. "Optimising Wheat Straw Alkali-Organosolv Pre-Treatment to Enhance Hemicellulose Modification and Compatibility with Reinforcing Fillers.". Int J Biol Macromol. 2020(143): 862–72. ISSN 0141-8130

18. PETERS M. A.;JANDRIĆ P.;HAYES S. "Biodigital Technologies and the Bioeconomy: The Global New Green Deal?". Educ Philos Theory 2020(1):1-12. ISSN 1469-5812

19. PETERSON K.;AL. E. "Systematic Mapping Studies in Software Engineering ". 2022. ISSN

20. PONCE VACA L. A.;ORELLANA SUAREZ K. D.;ACUÑA VELÁSQUEZ I. R.;ALFONSO ALEMÁN J. L.;FUENTES FIGUEROA T. "Situación de La Caficultura Ecuatoriana: Perspectivas". Rev Estud del Desarro Soc Cuba y América Lat. 2018(6):220-9. ISSN 2308-0132

21. QUINTERO C. A.;ET AL. "Estimación del potencial energético a partir de la biomasa primaria agrícola en el departamento de cundinamarca"2017 [Consultado 2 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5703>.

22. RAJ T.;KAPOOR M.;GAUR R.;CHRISTOPHER J.;LAMB B.;TULI D. K., et al. "Physical and Chemical Characterization of Various Indian Agriculture Residues for Biofuels Production". Energy and Fuels. 2015(29). ISSN 0887-0624

23. RAJ T.;KAPOOR M.;SEM WAL S.;SADULA S.;PANDEY V.;GUPTA R. P., et al. "The Cellulose Structural Transformation for Higher Enzymatic Hydrolysis by Ionic Liquids and Predicting Their Solvating Capabilities.". J Clean Prod. 2016(113). ISSN 0959-6526

24. RAMÍREZ A. "Rendimiento del Café Pergamino Húmedo Determinado Por Características Específicas de Los Productores. Coporación Univ. lasallista ". 2018. ISSN

25. RIAÑO-LUNA C. E. "Efecto de la humedad del café crudo en las propiedades del café tostado". Entramado. 2013;9(2). ISSN 1900-3803

26. RIVAS S. Valorización de Hemicelulosas de Biomasa Vegetal Internacional. España: Universidad de Vigo; 2014.

27. RODRÍGUEZ A. G.;MONDAINI A. O.;HITSCHFELD M. A. "Bioeconomía En América Latina y El Caribe Contexto Global y Regional y Perspectivas"2017 [Consultado 2 de octubre del 2022]; (94). Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42427-bioeconomia-america-latina-caribe>

contexto-global-regional-perspectivas.

28. SAMPER L. F.;GIOVANNUCCI D.;MARQUES VIEIRA L. " Economic Research Working Paper No. 39: The Powerful Role of Intangibles in the Coffee Value Chain". WIPO Econ Res Work Pap [Internet]. 2017 [Consultado 3 de octubre de 2022]; (39). Disponible en: <https://www.wipo.int/publications/en/series/index.jsp?id=138>.

29. SÁNCHEZ A. M.;VAYAS T.;MAYORGA F.;FREIRE C. "Sector Cafetero Ecuatoriano: Panorama General". Univ Técnica Ambato. 2019:1-4. ISSN

30. SHEN F.;ET AL. "Recent Advances in Mechanochemical Production of Chemicals and Carbon Materials from Sustainable Biomass Resources.". Renew Sustain Energy Rev. 2020;130(109944). ISSN 1364-0321

31. VANHALA E.;KASURINEN J.;KNUTAS A.;HERALA A. "The Application Domains of Systematic Mapping Studies: A Mapping Study of the First Decade of Practice With the Method". IEEE Access. 2022(10):37924–37. ISSN 2169-3536

32. VENEGAS SÁNCHEZ S.;ORELLANA BUENO D.;PÉREZ JARA P. " La Realidad Ecuatoriana En La Producción de Café. Recimundo". 2018. ISSN

33. WANG E. Z.;LEE C. C. "The Impact of Information Communication Technology on Energy Demand: Some International Evidence". Int Rev Econ Financ. 2022(81):128-46. ISSN 1059-0560

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses

Contribución de cada autor:

Carlos Leonel Burgos-Arcos: El autor realizó el estudio teórico y metodológico de la investigación. Elaboró una metodología para este estudio. El autor realizó la aplicación práctica de la investigación en el objeto de estudio. Se parte del diagnóstico de la situación actual del café en el Chimborazo.

Neyfe Sablón-Cossío: La autora colaboró en la revisión de los resultados y en la idea de la propuesta. Junto con el análisis conceptual del mismo.