

DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Doctorado Interinstitucional Di3
SECRETARÍA DE POSGRADO - Facultad de Ingeniería -
Universidad Nacional de Cuyo



Título: Análisis Multicriterio y Sistema de Información Geográfica para la selección de desechos agroindustriales útiles en la producción de bioplástico

EJEMPLAR DE TESIS PRESENTADO PARA OPTAR EL TÍTULO
Doctor en Ingeniería Industrial

Autor: RIERA, María Antonieta

Director: PALMA, Ricardo, PhD

Co-Directora: MALDONADO, Silvina, PhD

2022

DOCTORADO EN INGENIERIA INDUSTRIAL

ACTA DE DEFENSA PÚBLICA DE TESIS

En la Ciudad de Mendoza siendo las 20.00 horas del día 20 de diciembre de 2022 se reúne en Acto Público el Jurado encargado de evaluar la Defensa del Trabajo de Tesis de la Carrera de Posgrado Doctorado en Ingeniería Industrial titulada “ANÁLISIS MULTICRITERIO Y SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA SELECCIÓN DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES ÚTILES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICO”, desarrollada por la alumna **Ing. María Antonieta RIERA** bajo la dirección del Dr. Ricardo Raúl PALMA y co-dirección de la Dra. Silvina MALDONADO.

El Jurado fue designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería según Resolución N° 376/2022 CD, y está integrado por:

Titulares:

- Dr. José Luis ZACUR MARTÍNEZ
- Dra. Susana LLAMAS
- Dr. Frank Alexander BALLESTEROS RIVEROS (Externo)

Suplentes:

- Dr. Daniel Horacio VALDEÓN
- Dra. Lorena Andrea BEARZOTTI

La alumna **Ing. María Antonieta RIERA** efectúa la defensa de su Tesis.

A continuación, los miembros del Jurado efectúan preguntas, consultas y comentarios que estimaron convenientes para ser contestadas por la alumna **Ing. María Antonieta RIERA**.

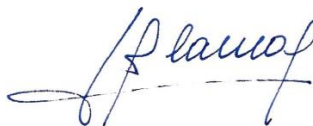
Seguidamente el Jurado se reúne en Sesión Privada para calificar la Tesis defendida, la que obtiene la calificación de: Sobresaliente con mención de honor por unanimidad.

Se comunica a la alumna **Ing. María Antonieta RIERA** la calificación obtenida.

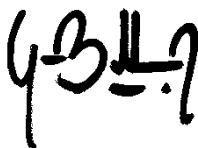
Se cierra este Acto siendo las 21.15 horas del día 20 de diciembre de 2022.



Dr. José Luis
ZACUR MARTÍNEZ



Dra. Susana
LLAMAS



Dr. Frank Alexander
BALLESTEROS RIVEROS

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a:

Dios... Por darme la vida y las oportunidades que hasta hoy he tenido.

Mi familia... Por su paciencia y apoyo incondicional en esta aventura.

*Mi país natal, Venezuela... Por todo lo que me brindó mientras estuve allí y por el nuevo
país que espero ver antes de que se cierren mis ojos.*

Mi país adoptivo, Ecuador... Por las oportunidades que me ha dado y las que me dará.

AGRADECIMIENTO

En esta ocasión quiero agradecer a:

Dios... Porque sin Él no fuese podido ni empezar ni terminar este logro. ¡A Él toda la gloria y todo el honor!

Mi familia... Esposo, hijos, mamá y hermana, por su paciencia y apoyo siempre que lo necesité.

Mi director y codirectora... Mis profes Ricardo Palma y Silvina Maldonado, por toda su paciencia, palabras de ánimo y conocimiento que imprimieron durante toda mi formación doctoral.

La Universidad Nacional de Cuyo y la Universidad Técnica de Manabí... por la oportunidad de formarme y de desarrollar la investigación.

*Mis amigos y colegas... Compañeros de alegrías, tristezas, risas y llantos.
¡Gracias a todos!*

ÍNDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	13
I. SITUACIÓN PROBLEMA	14
1.1. Identificación del problema	14
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Objetivos de la investigación	20
1.3.1. General	20
1.3.2. Específicos	20
1.4. Justificación	21
1.5. Importancia	22
II. MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes de estudio	24
2.1.1. Polímeros y plásticos convencionales	24
2.1.2. Química clásica vs invenciones en la industria de polímeros	26
2.1.3. Valorización de los residuos agroindustriales	27
2.2. Estado del Arte	29
2.2.1. Cadena de suministro en la industria de polímeros y su contraste con los biopolímeros	29
2.2.2. Eslabones de la cadena en la industria de alimentos para producir materia prima polimerizable	30
2.2.3. Sostenibilidad y producción de bioplásticos	33
2.3. Revisión Bibliográfica	36
2.3.1. Biopolímeros, bioplásticos y biocompuestos	36
2.3.2. Consecuencias ambientales y amenazas a la salud por el uso de plásticos convencionales	41
2.3.3. Procesos biotecnológicos en la producción de biopolímeros	43
2.3.4. El concepto de biorrefinería y la producción de bioplásticos	47
2.4. Patentes	53

2.5.	Principales autores	55
2.5.1.	Autores del main stream	55
2.5.2.	Autores disidentes	58
2.5.3.	Escuelas antagonistas	59
2.6.	Crítica constructiva a las soluciones expuestas en la bibliografía	61
2.7.	Hipótesis preliminar	63
2.8.	Marco conceptual	64
2.8.1.	La bioeconomía como modelo de negocios	64
2.8.2.	Economía de cascada	69
2.8.3.	Análisis multicriterios	71
2.8.4.	Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)	75
2.8.5.	Georreferenciación	77
2.8.6.	Series de tiempo y el modelo ARIMA	80
2.8.7.	Localización de Plantas	83
2.8.8.	Optimización Multiobjetivo	85
2.9.	Materiales	86
2.9.1.	Datasets	87
2.9.2.	Procesamiento de Datos	88
2.9.3.	Recursos Geomáticos	89
2.9.4.	Metodologías	90
III.VARIABLES E HIPÓTESIS		92
3.1.	Variables de la investigación	92
3.1.1.	Variable dependiente	92
3.1.2.	Variables independientes	95
3.2.	Operacionalización de variables	96
3.3.	Hipótesis de la investigación	99
3.3.1.	Hipótesis explicativa	99
3.3.2.	Hipótesis de generalización	99
3.3.3.	Limitaciones y alcance	100
IV.METODOLOGÍA		101
4.1.	Tipo de investigación	101
4.2.	Diseño de la investigación	102
4.2.1.	Método Hipotético Deductivo	104
4.3.	Población y muestra	105
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	105
4.4.1.	Técnicas de muestreo	105
4.4.2.	Recopilación de datos	106
4.4.3.	Procesamiento	107

4.5.	Procedimientos de recolección de datos	107
4.6.	Procesamiento estadístico y análisis de datos	108
4.6.1.	Análisis de la unidad	108
4.6.2.	Predicción de la producción agroindustrial	109
4.6.3.	Estimación y ubicación de residuos generados	111
4.6.4.	Integración de herramientas	112
4.6.5.	Localización de plantas	116
4.6.6.	Aproximación del diseño	121
4.7.	Resumen de resultados	122
V.	RESULTADOS	124
5.1.	Análisis de la unidad	124
5.1.1.	Estimar la producción agrícola y agroindustrial	128
5.1.2.	Calcular la cantidad de residuos generados por cada tipo	144
5.1.3.	Ubicar geográficamente los residuos generados	152
5.1.4.	Integración de herramientas	152
5.1.5.	Localización de plantas	166
5.1.6.	Aproximación del diseño	182
5.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	194
5.3.	Contrastación de hipótesis con los resultados	207
5.4.	Contrastación de resultados con otros estudios similares	208
5.5.	Interpretación de los resultados	210
5.6.	Alcance de la veracidad de las afirmaciones	212
5.7.	Sesgo o riesgos en los datos de partida	212
5.8.	Recomendaciones al lector	213
VI.	CONCLUSIONES	214
6.1.	Conclusiones	214
6.2.	Aportes	217
6.3.	Líneas de Investigación Futuras	217
6.4.	Posibilidades de transferencia al ecosistema local	218
6.5.	Hechos no demostrados	219
6.6.	Mapa Mental de la Tesis	219
VII.	RECOMENDACIONES	221
7.1.	Recomendaciones	221
VIII.	RESPUESTA A LAS OBSERVACIONES	222
Anexos		302

<i>ÍNDICE</i>	4
A. Matriz de consistencia	303
B. Códigos usados en la investigación	305
C. Trabajos que han sido derivados de este proyecto	312

Índice de tablas

2.1. Clasificación de las biorrefinerías	49
2.1. (Cont.)	50
2.2. Patentes de bioplásticos	54
2.3. Escala de valoración para la comparación en AHP	77
3.1. Correlación de variables	96
3.2. Matriz operacional de las variables	97
3.2. (Cont.)	98
4.1. Criterios y subcriterios del modelo de decisión	113
5.1. Punto de equilibrio para los cultivos y agroindustrias estudiadas	135
5.2. Resultado del Test de Raíces	135
5.3. Parámetros del modelo autoregresivo ARIMA	143
5.4. Tipos de residuos generados por rubro	148
5.4. (Cont.)	149
5.4. (Cont.)	150
5.5. Estimación de residuos por rubro (2021 - 2025)	151
5.6. Composición de los residuos evaluados	156
5.7. Vector prioridad de criterios y subcriterios	167
5.8. Vector prioridad de alternativas por criterios y subcriterios	168
5.9. Razón de consistencia	170
5.10. Resultado del análisis de redes vectoriales	179
5.11. Centros de acopio por biorrefinería	179
5.12. Resultados de la optimización multiobjetivo	182
5.13. Composición de los residuos usada en la simulación	184
5.14. Listado de equipos requeridos en los esquemas de biorrefinación	191
5.15. Producción obtenida para los esquemas de biorrefinación	193
5.16. Costos de instalación para los esquemas de biorrefinación	193

Índice de figuras

2.1. Fases de generación de residuos en la cadena de suministro de alimentos. . .	31
2.2. Elementos en la producción sostenible de bioplásticos.	34
2.3. ¿Qué es un bioplástico?	37
2.4. Tipos de bioplásticos	40
2.5. Biorrefinación para la producción de bioplásticos.	52
2.6. Patentes para bioplásticos entre los años 2000 - 2020.	53
2.7. Estudio bibliométrico en el área de biopolímeros (2012 – 2021).	56
2.8. Autores con mayor producción científica en biopolímeros 2012 - 2021. . . .	56
2.9. Producción científica de los autores en el tiempo, 2012 - 2021.	57
2.10. Modelo de negocio para una bioeconomía circular.	66
2.11. Pirámide de valor biobasada.	70
2.12. Aspectos de la cadena de suministro de una biorrefinería	84
4.1. Etapas de la metodología de la investigación.	102
4.2. Procedimiento para la estimación y ubicación de residuos	112
4.3. Procedimiento para localización de plantas	118
5.1. Producción agrícola del Ecuador entre los años 2011 - 2020.	126
5.2. Producción de la agroindustria ecuatoriana entre los años 1999 - 2020. . . .	127
5.3. Ubicación de cultivos con mayor importancia económica para el Ecuador .	129
5.4. Ubicación de agroindustrias con mayor importancia económica en el Ecuador	130
5.5. Curvas oferta vs. demanda para rubros agrícolas. a) Arroz, b) Banano, c) Cacao, d) Caña de Azúcar, e) Maíz, f) Naranja, g) Palma, h) Papa, i) Piña, j) Plátano, k) Yuca	131
5.6. Curvas oferta vs. demanda para la agroindustria. a) Elaboración de azúcar, b) Aceites y grasas, c) Almidones, d) Molinería	134
5.7. Registro histórico para la producción de los principales rubros agrícolas del Ecuador	137
5.8. Registro histórico para el rendimiento agrícola de los principales rubros del Ecuador	138

5.9. Registro histórico de la producción en las principales agroindustrias del Ecuador	139
5.10. Datos transformados para producción histórica de los principales rubros agrícolas del Ecuador	140
5.11. Datos transformados para rendimiento histórico de los principales rubros agrícolas del Ecuador	141
5.12. Datos transformados para la producción histórica de las principales agroindustrias del Ecuador	142
5.13. Estimación de la producción agrícola entre 2021 y 2026	145
5.14. Estimación del rendimiento agrícola entre 2021 y 2026	146
5.15. Comparación de la producción agrícola estimada por rubros (2021 y 2026)	147
5.16. Estimación de la producción agroindustrial entre 2021 y 2026	147
5.17. Ubicación de los residuos agrícolas generados por los cultivos de: a) Arroz, b) Banano, c) Cacao, d) Caña de azúcar, e) Maíz, f) Palma aceitera, g) Plátano, h) Yuca	153
5.18. Ubicación de los residuos generados por las agroindustrias de: a) Arroz, b) Caña de azúcar, c) Maíz, d) Palma aceitera	154
5.19. Cantidad estimada de residuos para los años 2021 a 2026	155
5.20. Potencial calorífico de los residuos estudiados	160
5.21. Distribución cantonal de cultivos y agroindustrias en Ecuador	162
5.22. Gg de CO_2 equivalente por combustión de residuos	164
5.23. Red vial del país con accesos a cultivos y agroindustrias	164
5.24. Mapa geomorfológico del Ecuador	165
5.25. Mapa sísmico del Ecuador	165
5.26. Proceso de Jerarquía Analítica - AHP	166
5.27. Prioridad de alternativas evaluadas	167
5.28. Prioridad por rubros agrícolas	169
5.29. Prioridad de criterios vs. alternativas evaluadas	169
5.30. Análisis de sensibilidad para C1: Disponibilidad	170
5.31. Análisis de sensibilidad para C2: Industrialización	171
5.32. Análisis de sensibilidad para C3: Impacto social - ambiental	171
5.33. Análisis de sensibilidad para C4: Geomorfológico	172
5.34. Ubicación de residuos a considerar para la localización de plantas	173
5.35. Método del codo	173
5.36. Método de silueta, $k = 3$	174
5.37. Método de silueta, $k = 4$	174
5.38. Método de silueta, $k = 5$	175
5.39. Clusterización para $k = 3$	176
5.40. Clusterización para $k = 4$	176
5.41. Clusterización para $k = 5$	177

5.42. Análisis de redes vectoriales con $k = 3$	178
5.43. Análisis de redes vectoriales con $k = 4$	178
5.44. Análisis de redes vectoriales con $k = 5$	179
5.45. Esquema de biorefinación, residuos del banano y plátano	189
5.46. Esquema de biorefinación, residuos del maíz	190
5.47. Ocupación de equipos en la biorrefinación de residuos del banano/plátano	192
5.48. Ocupación de equipos en la biorrefinación de residuos del maíz	192
6.1. Mapa mental de la tesis	220
8.1. Solución Pareto Optimal	228

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se desarrolló una metodología que integró el análisis multicriterios y sistemas de información geográfica, para seleccionar residuos agroindustriales a utilizar como materia prima en la producción de bioplásticos. Se propusieron cuatro etapas de investigación: Análisis de la unidad, integración de herramientas, localización de plantas y aproximación del modelo; aplicadas en un caso de estudio que se llevó a cabo en el Ecuador. El análisis previo sirvió para identificar los principales rubros cultivables y agroindustria del país, para luego proyectar la producción agroindustrial de los próximos cinco años a través del método ARIMA. Se utilizó la metodología de evaluación rápida de recursos naturales de la FAO, para estimar la cantidad de residuos generados por rubro y se logró integrar con el módulo geoespacial de RStudio, para ubicar geográficamente los residuos. Posteriormente se integró el proceso de jerarquía analítica (AHP) y herramientas de evaluación geoespacial, para priorizar los residuos identificados. En el AHP se establecieron cuatro criterios: Disponibilidad del residuo, industrialización, impacto social - ambiental y aspecto geomorfológico; que a su vez contemplaron tres subcriterios. Los resultados obtenidos, se utilizaron para evaluar los posibles sitios de ubicación de las biorrefinerías, usando algoritmos de agrupamiento para tal fin. Así mismo se aplicó un algoritmo de optimización multiobjetivo, para optimizar los costos logísticos y ambientales durante el traslado de los residuos desde el cultivo o industria hasta la biorrefinería. Finalmente para los residuos seleccionados, se diseñaron y simulaban esquemas de biorrefinación. Los resul-

tados indicaron que los residuos con mayor generación son los provenientes del banano y de manera global, estos son los que recibieron mayor ponderación en el AHP. Con el fin de optimizar los costos logísticos del caso de estudio, se propone la instalación de 3 biorrefinerías y 20 centros de almacenamiento temporal de residuos. La metodología desarrollada representa una herramienta de soporte a la toma de decisiones, para la revalorización de los residuos agroindustriales, a través del diseño e instalación de cadenas de suministros de biorrefinerías de segunda generación.

ABSTRACT

In this work, a methodology was developed that integrated multicriteria analysis and geographic information systems to select agroindustrial waste to be used as raw material in the production of bioplastics. Four research stages were proposed: unit analysis, tool integration, plant location, and model approximation applied in a case study carried out in Ecuador. The previous analysis served to identify the main arable crops and agribusiness in the country to then project the agribusiness production for the next five years through the ARIMA method. Subsequently, the Analytical Hierarchy Process (AHP) and geospatial evaluation tools were integrated to prioritize the waste identified. Four criteria were established in the AHP: availability of the waste, industrialization, social-environmental impact, and geomorphological aspect, which in turn contemplated three sub-criteria. The results obtained were used to evaluate the possible location sites of the biorefineries, using clustering algorithms for this purpose. Likewise, a multi-objective optimization algorithm was applied to optimize logistical and environmental costs during the transfer of waste from crops or industries to the biorefinery. Finally, for the selected residues, biorefining schemes were designed and simulated. The results indicated that the residues with the highest generation are those from bananas, and globally, these are the ones that received the highest weight in the AHP. To optimize the logistics costs of the case study, the installation of 3 biorefineries and 20 temporary waste storage centers was proposed. The

yield in the production of the designed biorefining schemes can increase if other biomass transformation processes was evaluated. The developed methodology represents a support tool for decision making, for the revaluation of agro-industrial waste, through the design and installation of second-generation biorefinery supply chains.

INTRODUCCIÓN

El contenido de la tesis se estructuró en seis capítulos, abordados de la manera siguiente. El primero de ellos corresponde al problema de investigación, donde se describe la temática de interés y a partir del cual se plantea tanto la hipótesis de estudio, como los objetivos de investigación. Se prosigue con el estado del arte y de la práctica, en el cual se presenta la revisión bibliográfica y el contexto teórico en el que circunscribe la investigación, haciendo un análisis crítico del mismo.

Posteriormente se encuentra la metodología, para hacer referencia al procedimiento utilizado en el desarrollo del trabajo con su respectiva justificación, a fin de dar cumplimiento a los objetivos previamente planteados. A continuación, se da paso al relevamiento de datos en el que se presenta la información empleada, aplicada a la metodología desarrollada a un caso de estudio particular. Se continúa con la presentación de resultados y su discusión para mostrar lo obtenido, generando un debate a partir de lo señalado por otros autores en investigaciones afines. Se llega a las conclusiones del trabajo, aportes y líneas de investigación futura, para aspirantes a doctorados e investigadores en general, interesados en continuar con la temática expuesta. Por último, se consignan las referencias bibliográficas empleadas en el cuerpo del manuscrito, constituidas en su mayoría por publicaciones científicas de carácter internacional.

Capítulo I

SITUACIÓN PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Los desafíos actuales de un mundo que busca la desglobalización, impulsan la necesidad de emprender cambios en el sector productivo. Las nuevas tendencias de fabricación apuntan a la automatización de los procesos y al despliegue de sistemas ciber físicos para una manufactura basada en la industria 4.0 que ya está en marcha (Kopacek, 2019). Pero además de estos avances en tecnologías digitales, se introduce la necesidad de aplicar enfoques circulares y de sostenibilidad en las cadenas de suministro, en los que es necesario articular aspectos tecnológicos, económicos, institucionales y políticos, para el desarrollo de un nuevo modelo bioeconómico, que busca reemplazar el enfoque tradicional de la industria de hoy (Boeri & Sharpy, 2018; Ghadimi et al. 2019).

La gestión sostenible en las cadenas de suministros, reconoce el impacto ambiental que causa el crecimiento industrial y los cambios en los patrones de consumo, orienta la toma decisiones a favor del ambiente y es socialmente responsable. Lograr que una cadena de suministro sea sostenible y a la vez rentable, es un verdadero desafío de optimización para

la mayoría de las organizaciones a nivel mundial, pero es un factor clave que brinda una ventaja competitiva para el éxito empresarial a largo plazo (Bastas & Liyanage, 2018; Lim et al. 2017; Yang et al. 2017).

La producción sostenible promueve la reducción de los recursos utilizados en todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde el diseño hasta al destino final, para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer el bienestar futuro (Akenji et al. 2015). Dentro de este contexto se encuentran los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, donde al menos siete de ellos abordan de manera directa o indirecta la temática ambiental. Específicamente el objetivo 12 de producción y consumo responsable, tiene como meta desligar el crecimiento económico de la degradación ambiental, a la vez que se aumenta la eficiencia de los recursos y se promueven estilos de vida sostenibles (ONU, 2018).

En este sentido las nuevas prácticas de producción, buscan aprovechar oportunidades disponibles para transformar la economía lineal en economía circular, actuando como generador de cambio social, económico y ambiental de las organizaciones (Manavalan & Jayakrishna, 2019). Una estrategia afín a lo señalado y que ha despertado el interés en los últimos años, es el uso de materias primas de origen biológico (biomasa), para la obtención de productos que tradicionalmente se obtenían a partir del procesamiento del petróleo.

Tal es el caso de los bioplásticos, que se definen como un plástico de base biológica, biodegradable o con ambas características (European Bioplastics, 2018). La producción mundial de plástico para el año 2019 fue de 368 millones de toneladas (MMt) y sólo cerca del 1 % representa la producción actual de bioplásticos. Sin embargo, dadas las altas tasas de crecimiento en el uso de ácido poliláctico (PLA), polipropileno de base biológica y polihidroxialcanoatos (PHA), se espera que esta alcance las 2,87 MMt para el año 2025

(European Bioplastics, 2020a; Roa, 2021).

A nivel mundial el principal productor de bioplástico es Asia, abarcando un 46 % del total producido y proyecta seguir liderando el mercado hasta el año 2025. En segundo lugar se encuentra Europa con un 26 % de la producción, seguido de Norteamérica con 17 % y casi en último lugar, está Suramérica con un 10 % de la producción global (European Bioplastics, 2020b). Aunque Suramérica en comparación con otras latitudes se encuentra en desventaja, tiene gran potencial para el desarrollo de plásticos biobasados debido a la gran cantidad de recursos naturales que posee. Esto se evidencia en algunos países de la región con iniciativas de producción en el tema, al emplear materias primas de bajo costo, como la caña de azúcar y la melaza, disponibles en grandes cantidades (D'Souza & Unnikrishnan, 2018).

En el Ecuador no existe hasta la fecha registro de empresas dedicadas a la producción de bioplásticos, pero si reporta investigaciones para obtener almidón termoplástico, así como también la producción de ácido poliláctico a partir de algunas biomásas de tipo lignoceluloso. Cabe destacar que entre las opciones de materias primas estudiadas como sustituto a los plásticos convencionales, están las denominadas materias primas celulósicas o de segunda generación que incluyen los subproductos agrícolas y flujos de desechos (Lovett & De Bie, 2016).

El Ecuador al igual que otros países de Latinoamérica tiene una extensa labor agrícola. Su economía consiste en un modelo de producción primaria, centrada en la actividad agrícola, acuícola y petrolera, para la comercialización y exportación de sus productos generalmente sin transformación. Es un país megadiverso con gran potencial de ser explotado para implantar una nueva matriz productiva de base biológica. Cuenta con una excelente ubicación geográfica, cuyas condiciones permiten el aprovechamiento de los re-

cursos naturales para el sector agrícola (Viteri Vera & Tapia Toral, 2018). En el año 2019, se reportó que el 85 % de la superficie nacional se destinó a siembra, conformada por los cultivos de cacao, arroz, maíz, palma aceitera, banano, plátano, caña de azúcar, frejol y papa, aportando un 8 % al valor agregado bruto (VAB) por participación del sector agropecuario en el PIB nacional (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2020).

Tanto las actividades agrícolas como las de procesamiento del producto, generan una serie de residuos con gran cantidad de materia orgánica, que en la actualidad son desperdiciadas o poco aprovechadas, pues en algunos casos son destinadas a alimentación animal, pero podrían utilizarse como materia prima en la producción de distintos productos. Ejemplo de ello son los residuos de los cereales con alto contenido de almidón, o algunas frutas de las cuales puede extraerse pectina y azúcares reductores, capaces de ser procesados vía fermentativa para la obtención de bioplásticos.

Dada esta facilidad agrícola es de interés revalorizar los residuos generados, para el desarrollo de nuevos procesos sostenibles y resilientes en el tiempo. Pero la selección de la materia prima para este proceso, requiere el análisis y la evaluación de aspectos técnicos, logísticos, ambientales, sociales, entre otros, que favorezcan la obtención de un producto que compita con los plásticos convencionales, no sólo por sus características físico-químicas sino también por la factibilidad que representa la ejecución de este proceso.

Es este el espacio de trabajo en el que avanzó esta tesis, representando una oportunidad para el desarrollo de un proceso que suministre productos que contribuyan con la formación de un segmento en el mercado, dentro de un marco de bioeconomía y economía circular. Se pretendió por tanto proponer un framework que sirva de referente en el emprendimiento de proyectos de este tipo, donde se busque la selección de las alternativas más sostenibles, para la producción de un producto que satisfaga las necesidades del

mercado, brinde rentabilidad y no comprometa las generaciones futuras.

1.2. Formulación del problema

Los nuevos modelos de mercado, el cambio climático, además de las exigencias actuales en cuanto a calidad de vida, son quizás algunos de los elementos que han impulsado el paso a una economía biobasada. Este nuevo modelo de negocios, parte del aprovechamiento y transformación de la biomasa por medio de procesos y principios biológicos, para obtener de manera sostenible diversos productos (Lengyel & Zanzizzi, 2020). El modelo bioeconómico, destaca dos aspectos para el uso eficiente de la biomasa a través de la cadena de valor: El primero de ellos es el principio de producción en cascada y el segundo, hace referencia a la utilización de corrientes de desechos y residuos agrícolas (De Besi & McCormick, 2015).

Los residuos agrícolas y agroindustriales potencialmente disponibles, representan una oportunidad para la conversión de biomasa residual en biomateriales innovadores como los bioplásticos, para la atención de algunos mercados emergentes (De Corato et al. 2018). Estos además de ser biodegradables, son ricos en sustancias útiles como carbohidratos, lípidos, polisacáridos, pigmentos y compuestos aromáticos, que podrían usarse para la fabricación de materiales poliméricos (Heredia-Guerrero et al. 2017; Panesar et al. 2015). Sin embargo, pocas veces se recuperan y por el contrario se disponen sin ningún tipo de control, generando daños al ambiente y pérdidas económicas (Beltrán-Ramírez et al. 2019; Bilo et al. 2018). La Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) en su registro de quema de residuos de cultivos, reportó que sólo en el año 2018, se quemaron cerca de 460 MMt de biomasa seca proveniente de cuatro cultivos (cáscara de arroz, caña de azúcar, maíz y trigo), a nivel mundial (FAO, 2020a).

Pero la valorización de estos residuos requiere la evaluación de algunos factores como lo son: tratamientos previos del residual, parámetros propios que afectan la velocidad del proceso de transformación, viabilidad técnica y comercial del enfoque (Mehariya et al. 2020), disponibilidad y ubicación geográfica de la biomasa, mano de obra formada en el área que lleve adelante la iniciativa, además de políticas institucionales y de innovación por parte del Estado que propicien la transición a modos de producción y consumo más sostenibles (Imbert et al. 2017).

La respuesta a estos factores puede ser diferente para cada residuo seleccionado, siendo posible evaluarla a través de una metodología previamente establecida. Las opciones en cuanto a residuos disponibles, pueden valorarse utilizando indicadores de puntuación a partir de un sistema de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM). De igual modo los sistemas de información geográfica (GIS), permiten analizar información en cuanto a puntos de generación de biomasa y vías de acceso, brindando una herramienta para la selección de posibles sitios para la instalación de las biorrefinerías, en los cuales se realice el procesamiento de la biomasa para la producción de bioplásticos.

Hasta donde se avanzó en la bibliografía consultada no existe una metodología que combine un MCDM con un GIS, para la selección de residuos agroindustriales con el fin de ser utilizados en la cadena de suministros de una biorrefinería destinada a la elaboración de bioplásticos. Tampoco es posible adaptar algunas de las que si existen en el terreno de gestión de la salud o sólo para el terreno de la alimentación (tales como las desarrolladas por la FAO y la OMS) que den respuesta en plazos razonables a los gobiernos y ONG's preocupadas e interesadas en llegar a la mejor decisión sobre el tema.

En los últimos años se nota una tendencia generalizada hacia el desarrollo de constructos que tengan el aporte de las miradas de los shareHolders (accionistas, empresarios,

gobiernos de las naciones) y los stakeholders (ONG, instituciones mundiales, comunidades). En este sentido esta investigación se sustenta en la generación de una metodología que apoyada en SIG, sirva para la toma de decisiones a nivel estratégico en localidades con economías basadas en la actividad agrícola, donde se pretenda seleccionar entre los residuos generados por este sector, aquellos que por sus características físicas o químicas, permitan su aprovechamiento posterior como materia prima en procesos de producción a nivel industrial. Se toma como caso testigo el Ecuador, país suramericano con densa actividad agrícola, pero no se descarta que los hallazgos alcanzados en este trabajo, puedan ser aplicados a otros países de la región similares al estudiado.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. General

Desarrollar una metodología que combine la toma de decisiones con los sistemas de información geográfica, que al aplicarla beneficie localidades con características agrícolas en la selección de sus desechos agroindustriales, para aprovecharlos en el desarrollo de procesos sostenibles, resilientes e innovadores.

1.3.2. Específicos

- Identificar la ubicación de los desechos agroindustriales generados en las comunidades agrícolas. Si bien el caso testigo toma comunidades en el Ecuador, la metodología debería ser fácilmente parametrizable a otros países y a otro tipo de residuos agrícolas; con las posibilidades y facilidades técnicas para su utilización en la producción de plásticos biodegradables.

- Establecer los criterios de evaluación para la selección adecuada de desechos agroindustriales generados como materia prima en la producción de plásticos biodegradables, a través de la integración de sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de análisis multicriterio.
- Optimizar el procedimiento de selección de desechos agroindustriales usando el modelo de optimización colaborativa multiobjetivo.
- Establecer la ingeniería de proyecto para la instalación de un proceso de producción de bioplástico en el Ecuador empleando los resultados obtenidos al integrar SIG y análisis multicriterios.

1.4. Justificación

Alcanzar una bioeconomía circular se ha convertido en una aspiración global para los gobiernos mundiales, que requiere de innovaciones concretas destinadas a crear opciones de transición para la puesta de una economía en cascada y la valorización de corrientes residuales como un camino hacia la sostenibilidad (Egelyng et al. 2018). El aprovechamiento de materias primas de origen biológico para la obtención de nuevos productos de manera sostenible, se centra dentro de este paradigma. Los residuos agroindustriales, son un tipo de biomasa que en lugar de ser quemados o dispuestos sin ninguna aplicación adicional, podrían aprovecharse para obtener una amplia variedad de productos, estando entre ellos los bioplásticos.

Dentro de este contexto se aborda una problemática de interés no sólo local sino también global referente a la utilización de residuos generados en la actividad agroindustrial, de poco valor comercial y en ocasiones causante de un problema ambiental, para ser

utilizado en un proceso posterior, usando para ello la combinación de un sistema de información geográfica con una herramienta de análisis multicriterio. Es un tema alineado a la bioeconomía y economía circular, que contribuye con el logro del objetivo número 12 de los ODS, al plantear el desarrollo de una metodología para la selección de residuos agroindustriales con el interés de ser utilizados en procesos de producción sostenibles, que favorecen el consumo responsable y el cuidado ambiental.

Así mismo dentro de un enfoque bioeconómico, la metodología desarrollada podría emplearse en la selección de otros tipos de residuos agroindustriales como es el caso de aguas residuales o lignocelulosos como los de origen forestal, para la fabricación de otros tipos de bioproductos de interés comercial, o bien como herramienta de apoyo en estudios orientados a la instalación de biorrefinerías. Finalmente, la puesta en práctica de este trabajo contribuiría con la participación de decisores de gobierno que junto a la academia y la industria conformarían el modelo de triple hélice que la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO), está sugiriendo a los gobiernos de los países en vías de desarrollo.

1.5. Importancia

La importancia del trabajo realizado es evidente en los aportes que genera:

- Desde un punto de vista teórico plantea la combinación de dos herramientas: MCDM y SIG; a objeto de identificar los residuos agroindustriales generados en una zona, para seleccionar el más adecuado como materia prima en un proceso de producción innovador.
- En cuanto a lo metodológico proporciona un framework que sirva de referencia a

otras investigaciones, donde se pretenda aprovechar la biomasa residual para su revalorización a través de procesos de biorrefinación.

- Su valor práctico está en desarrollar una metodología a ser implementada en países con características agrícolas, para seleccionar entre sus residuos agroindustriales, aquellos que de acuerdo a sus facilidades tecnológicas de procesamiento, pueden ser utilizados en procesos sostenibles e innovadores, para fomentar el desarrollo de mercados de este tipo y que cooperen con la conservación del ambiente.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Polímeros y plásticos convencionales

La palabra polímeros tiene su origen en las palabras griegas *poly* que significa muchas y *meros* cuyo significado es partes. Este término comenzó a utilizarse en el año 1920 para referirse a moléculas de gran tamaño, construidas con la interconexión de varias unidades monoméricas. Dependiendo de la respuesta que tengan frente a un tratamiento térmico, pueden clasificarse en termoplásticos o termoestables (Nicholson, 2017). Desde el inicio de los tiempos, existen materiales poliméricos naturales como el ADN, la celulosa, el algodón y el caucho, pero su expansión a través de la producción de polímeros orgánicos sintéticos sucedió después del año 1920 y en las últimas décadas, se ha impulsado el desarrollo de distintos productos a partir de polímeros tanto naturales como sintéticos (Olatunji, 2015; Varnava & Patrickios, 2021).

Frecuentemente se usa la palabra polímero para hacer referencia a los plásticos, aunque

este es sólo uno de ellos. En la práctica la palabra plástico, es usada para referirse a la forma física y característica de un sólido que exhibe plasticidad para ser moldeado y deformado sin romperse, así como también a materiales comerciales que contienen macromoléculas poliméricas o aditivos entre los cuales están los colorantes, estabilizantes, modificadores y otros químicos necesarios para producir materiales con determinadas características (Mills et al. 2020; Rasmussen, 2018).

Los plásticos son usados desde hace bastante tiempo. El primer proceso patentado fue la vulcanización en el año 1844, pero su uso generalizado sucedió luego de 1945 gracias a la investigación y desarrollo que produjo la Segunda Guerra Mundial. Luego de esta fecha comenzó el crecimiento y la producción a gran escala de los plásticos básicos, comenzando con el cloruro de polivinilo y el poliestireno, luego los polietilenos, polipropileno, poliésteres y poliuretanos, junto con una constante expansión de una serie de productos más especializados (Geyer et al. 2017; Kent, 2003; Mills et al. 2020).

El plástico se ha convertido en el material revolucionario de finales del siglo XX, y en menos de 150 años pasó de ser una curiosidad de la química, a uno de los materiales con mayor crecimiento y desarrollo (Crawford & Martin, 2020). Para ello los científicos se han propuesto aplicar herramientas que incluyen nuevos métodos de polimerización, catalizadores, peróxidos, diseños de reactores, modificación de polímeros, técnicas avanzadas de caracterización, co-monómeros provenientes de fuentes fósiles o renovables, para pasar del laboratorio al mercado con productos que satisfagan las necesidades de los clientes (Grassi, 2018).

Los polímeros sintéticos se fabrican tradicionalmente por polimerización de monómeros derivados del petróleo o gas, mediante la incorporación de aditivos químicos. Su producción requiere un consumo cercano al 8 % de la producción mundial de petróleo por

concepto de materia prima y una cantidad similar para suplir los gastos de energía del proceso (Thompson et al. 2009a; Thompson et al. 2009b). Esto significa que anualmente la industria del plástico consume mayor cantidad de petróleo, dado que desde sus inicios su producción ha estado en aumento, pasando de 1,5 millones de toneladas (MMt) en 1950 a 368 MMt en 2019 y se espera que siga una tendencia creciente, especialmente en lo que respecta a producción de material de embalaje, el cual es un producto que en la mayoría de los casos es desechado pocos minutos después de su uso (Alimba & Faggio, 2019; Díaz, 2020; Geyer et al. 2017; Parker, 2019).

2.1.2. Química clásica vs invenciones en la industria de polímeros

Al hablar de química clásica se hace referencia a lo tradicional para esta ciencia, es decir usar lo conocido, como alcoholes inferiores, dioles, ácidos mono y di-carboxílicos, para continuar con descubrimientos experimentales y desarrollar nuevos materiales. Durante años la industria de los polímeros ha tomado como protagonista al petróleo, sólo que se han refinado los procesos de producción introduciendo nuevas metodologías, mecanismos de reacción, catalizadores, entre otros factores, para ofrecer productos de bajo costo que garanticen la rentabilidad de este sector industrial.

En los últimos años la investigación y desarrollo de los polímeros, no se limita al uso de recursos fósiles, sino al empleo de recursos renovables y a la aplicación de procesos biotecnológicos, para la obtención de nuevos productos con características similares a los plásticos sintéticos. Las invenciones incluyen el uso de biomasa lignocelulósica, presente en los cultivos energéticos, la biomasa marina, la silvicultura y en residuos de tipo forestal, agrícola, agroindustrial, sólidos industriales y municipales. El uso de monómeros obtenidos

a partir de biomasa lignocelulosa como reemplazo de los basados en petróleo, constituye un punto a favor de la sostenibilidad por ser un recurso renovable biodegradable y abundante (Al-Battashi et al. 2019). En este particular, es de especial interés el uso de residuos lignocelulosos para su valorización a través de la obtención de diversos productos, siendo uno de ellos los bioplásticos.

2.1.3. Valorización de los residuos agroindustriales

Los residuos de tipo agroindustrial con una alta tasa de producción en todo el mundo, tienen gran potencial de ser usados como materia prima primaria o secundaria para la producción de biopolímeros, por ser ricos en sustancias útiles como azúcares fermentables, carbohidratos, lípidos, polisacáridos, pigmentos y compuestos aromáticos (Heredia-Guerrero et al. 2017; Panesar et al. 2015; Ranganathan et al. 2020). Sin embargo, pocas veces se recuperan y por el contrario se disponen sin ningún tipo de control, generando daños al ambiente y pérdidas económicas (Beltrán-Ramírez et al. 2019; Bilo et al. 2018).

El procesamiento de los productos agrícolas generan además de productos de consumo masivo, residuos como cáscaras, semillas, líquidos de desecho, bagazo y subproductos como melaza, suero, entre otros, susceptibles de ser revalorizados (Panesar et al. 2015). Estos residuos tienen la particularidad, de estar compuestos por azúcares útiles en la fabricación de bioplásticos.

Los bioplásticos son polímeros formados por azúcares simples y puede sintetizarse a partir de materiales de base biológica. Y al igual que los polímeros sintéticos conformados por una cadena de monómeros, un polímero de almidón (compuesto por amilosa y amilopectina), está formado por cadenas de monómeros de azúcares conectados entre sí, por enlaces glucosídicos. Son un sustituto prometedor debido a la abundancia, renovabilidad,

sostenibilidad y biodegradabilidad de este compuesto (Samer et al. 2019; Shafqat et al. 2020).

El ácido poliláctico (PLA), los polihidroxiclcanoatos (PHAs) y el succinato de polibutirano (PBS), también son bioplásticos prometedores obtenidos por fermentación bacteriana de azúcares de fuentes de carbohidratos (Changwichan et al. 2018). Así mismo, las fibras lignocelulósicas también se han estudiado como material de refuerzo en los bioplásticos, exhibiendo propiedades compatibles con la matriz polimérica y con ello, la posibilidad de reemplazar las fibras sintéticas en los bioplásticos (Yang et al. 2019).

La tendencia de los residuos agrícolas como fuente de producción de bioplásticos está en aumento debido a la cantidad generada por año, su bajo costo y disponibilidad. Las limitaciones de uso están relacionadas con la falta de definiciones estandarizadas para la gestión de residuos de alimentos, la escasa información en cuanto a cantidades disponibles y el bajo rendimiento de producción en comparación con la materia prima alimentaria. Se espera que mejore la perspectiva de uso como materia prima en los bioplásticos, con el avance de la biotecnología, el análisis de ciclo de vida del producto, la priorización de las cadenas de valor, las inversiones en una futura economía circular y la intervención del gobierno con el establecimiento de una legislación que favorezca su uso (Chan et al. 2021; Teigiserova et al. 2019).

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Cadena de suministro en la industria de polímeros y su contraste con los biopolímeros

En la industria de polímeros, los productos se fabrican bajo un modelo de procesamiento híbrido: por lotes y continuo. Los principales factores de costo de estas plantas de procesamiento son materias primas, energía, mano de obra, costos operativos y transporte. Una red típica de la cadena de suministro de esta industria, incluye múltiples plantas, gran cantidad de terminales de almacenamiento, diversos clientes y requisitos complejos de distribución. Los clientes suelen ser fabricantes que procesan el polímero en productos de plástico, para luego venderlos a otros productores que lo usan en el envasado de sus productos o en la fabricación de bienes de consumo (Kadipasaoglu et al. 2008).

Para la industria de polímeros, la gestión de la cadena de suministros comienza con la provisión de materia prima para el proceso, compuesta principalmente por productos petroquímicos tales como etileno, propileno, butadieno, benceno, tolueno y xilenos, que se obtienen mediante el craqueo catalítico de algunas fracciones provenientes de la destilación del petróleo (Husain et al. 2006). El procesamiento depende del producto a conformar, pero en general puede requerir de transformaciones físicas o químicas y en este último caso el uso de reactores para cada producto o multipropósito, para emplearlos según se establezca.

Los productos deberían pasar a un almacén temporal, hasta su posterior distribución a la red de mayoristas, minoristas y de allí al cliente final. La dinámica de la cadena de suministro se puede capturar mediante el balance de inventarios y de pedidos, considerando el volumen y variabilidad de la demanda, costos de inventario, políticas de atención

a clientes en función de la demanda o plazos de entrega y estrategias de control como la programación lineal de enteros mixtos o modelo de control predictivo (Perea-López et al. 2001; Shah, 2005).

La transición de una economía basada en combustibles fósiles a una economía basada en biomasa, requiere innovación científica, trabajo en equipo y cambios en la infraestructura de la industria. La producción de biopolímeros debería depender del carbono renovable y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de la cadena de producción. Es una solución sostenible a todos los contribuyentes de las cadenas de suministro de alimentos, los sectores agrícola e industrial, minoristas y consumidores finales (Giroto et al. 2015; Koutinas et al. 2014).

La cadena de suministro para la producción de biopolímeros debería ser de circuito cerrado, integrando los principios de economía circular mediante operaciones inversas de productos recuperados que se reprocessan y se utilizan consecutivamente al inicio y final de la cadena de valor, para reducir las consecuencias ambientales negativas en el entorno de los procesos de producción y consumo (Genovese et al. 2017; Stindt & Sahamie, 2014). El desarrollo de una refinación sostenible y eficiente para la producción de biopolímeros, depende de la variedad de productos que puedan obtenerse de modo que sean procesos rentables. El diseño y el cálculo de costos son aspectos esenciales para identificar los procesos a implementar a escala industrial (Vlysidis et al. 2017).

2.2.2. Eslabones de la cadena en la industria de alimentos para producir materia prima polimerizable

La cadena de suministros de alimentos comprende las actividades de pre-consumo, en la que se diferencian tres fases de generación de residuos: producción, procesamiento,

y distribución (Figura 2.1). En la producción del alimento están los residuos agrícolas provenientes del cultivo. El procesamiento considera todos los residuos generados, tanto sólido como líquido, en cada una de las etapas de fabricación. En la distribución están los residuos conformados por alimentos y material de empaque. Posterior al consumo de los alimentos, están los residuos de la preparación, restos de alimentos y envases (Pfaltzgraff et al. 2013).

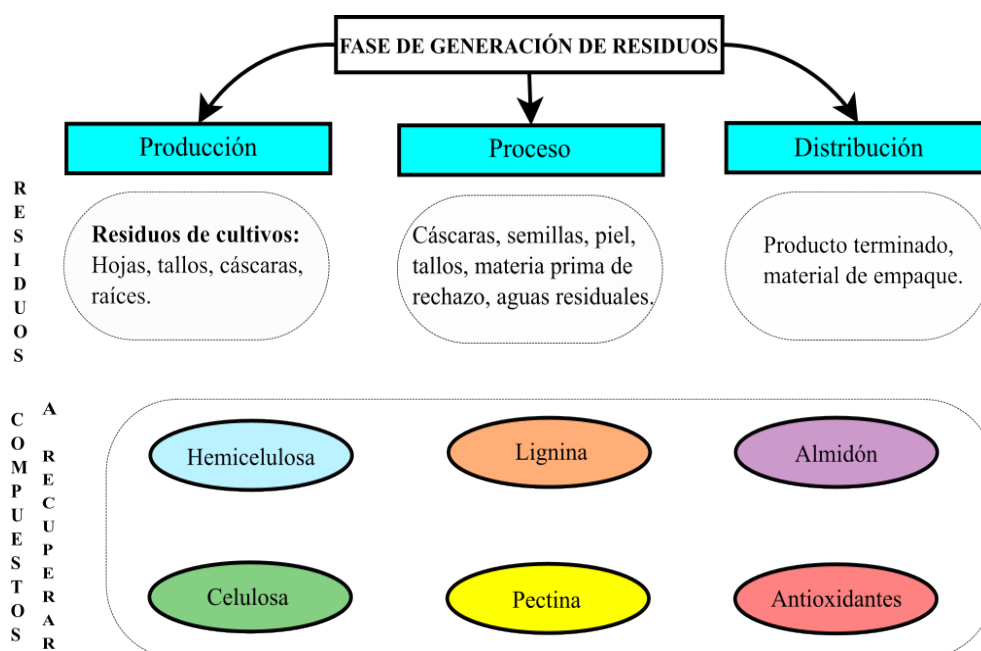


Figura 2.1: Fases de generación de residuos en la cadena de suministro de alimentos.

El desperdicio de la cadena de suministro de alimentos es un material orgánico, descartado, perdido o degradado en algunas de las etapas de fabricación. Es reservorio de carbohidratos complejos, proteínas, lípidos y nutraceuticos, con potencial para ser valorizados a través de la producción de biocombustibles, enzimas, compuestos bioactivos, plásticos biodegradables, nanopartículas, entre otros (Nuria Burgos, 2016; Ravindran & Jaiswal, 2016). Del material lignoceluloso presente en algunos residuos alimentarios, se

pueden extraer fracciones de celulosa y hemicelulosa (De et al. 2021). También los desechos agroindustriales ricos en almidón, tienen el potencial para ser utilizados en la obtención de almidón termoplástico, PHAs y PLA (Chan et al. 2021; Grewal et al. 2020; Tsang et al. 2019).

De tubérculos como la papa, la yuca y el camote, se aprovecha el desperdicio de la cáscara y en ocasiones la pulpa que se descarta por cambio de coloración, tamaño o incumplimiento de parámetros de calidad (Sharmila et al. 2020). De frutos como el plátano en su estado inmaduro se puede aprovechar la cáscara (Kumar Rana et al. 2018; Sultan & Johari, 2017), mientras que de otras como el aguacate (Lubis et al. 2018) y el mango (Maulida et al. 2018) se pueden usar las semillas, para extraer almidón y utilizarlo en su forma nativa o modificada, para la producción de almidón termoplástico.

Los desechos agrícolas provenientes del orujo de uva, orujo de tomate, piña, cáscara de naranja y limón, bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz, paja de trigo y fibras de aceite de palma, entre otros, son precursores ricos en carbono útiles para la producción de biopolímeros mediante métodos microbianos, de mezcla de biopolímeros y químicos (Maraveas, 2020). Los residuos cítricos por ejemplo, contienen pectina la cual es un biopolímero natural ampliamente reconocido en la industria alimentaria y en biotecnología por su capacidad gelificante, además de fibras celulósicas que añaden resistencia al material fabricado (Bátori et al. 2017; Khan et al. 2014). De las cáscaras de los crustáceos se obtiene el biopolímero natural quitina y su producto desacetilado quitosano, con amplio interés comercial (Philibert et al. 2017).

Pero además de los residuos sólidos están las aguas residuales provenientes de la agroindustria, de las cuales pueden recuperarse componentes importantes en una plataforma basada en cultivos microbianos mixtos para obtener PHAs. Investigaciones en el área, han

demostrado que el uso de desechos orgánicos y aguas residuales de origen agroindustrial o municipal, son una plataforma basada en cultivos microbianos mixtos, que sirve para reducir costos en la producción de PHAs (Mannina et al. 2020).

2.2.3. Sostenibilidad y producción de bioplásticos

La creación de una sociedad de moda rápida, controlada por los distintos tipos de obsolescencia, que lleva a mejorar las características de los nuevos productos con respecto a sus predecesores (obsolescencia de la función), diseñar productos que se desgasten poco después de que finalice una garantía mínima (obsolescencia planificada) y educar sistemáticamente a los consumidores a apreciar lo más nuevo como lo mejor (obsolescencia de la deseabilidad), propicia la adopción de patrones de comportamiento de usar y tirar, que aceleran el agotamiento de los recursos y contribuya con la contaminación ambiental (Hellmann & Luedicke, 2018). El auge de estas sociedades de consumo, ha hecho que desaparezca la tendencia de reutilizar los objetos que ya han cumplido su utilidad, lo cual de alguna forma es una manera de valorizarlos y reducir la tasa de generación de residuos (Kedzierski et al. 2020).

Este comportamiento más allá de generar ingresos por ventas, hace que los fabricantes se convierten en agresores ambientales, al aumentar de manera progresiva la cantidad de recursos para cumplir con las demandas de sus procesos productivos. Uno de los productos con altos índices de consumo es el plástico, presente en autopartes, equipos electrónicos, dispositivos médicos, juguetes, cosméticos, consumibles y otros tantos artículos, que sería prácticamente imposible imaginar la vida sin este material.

Sin embargo las presiones ambientales existentes, ha orientado la producción de nuevos materiales en equilibrio con el planeta, dando origen a la industria de biobasada. El

desarrollo sostenible en cualquier industria, requiere adoptar cambios en los procesos, en el tipo y la cantidad de los recursos utilizados, en los productos obtenidos, así como también en el tratamiento y control de los residuos generados (Krajnc & Glavic, 2003). La industria biobasada y con ello la producción de bioplásticos, también debe cuidar sus recursos, procesos y residuos, para una producción sostenible (Figura 2.2).

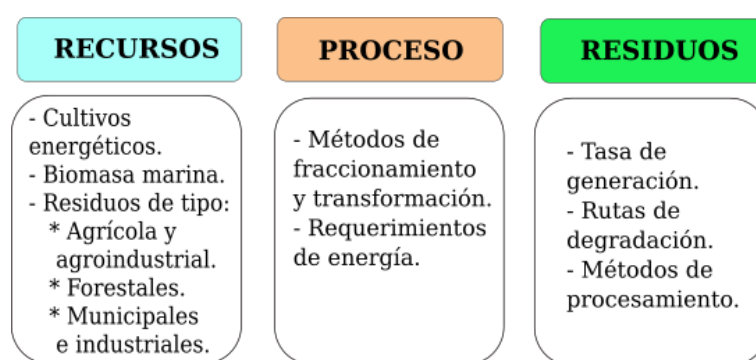


Figura 2.2: Elementos en la producción sostenible de bioplásticos.

El uso de monómeros obtenidos a partir de biomasa lignocelulosa como reemplazo de los basados en petróleo, constituye un punto a favor de la sostenibilidad por ser un recurso renovable biodegradable y abundante. Para lograr una producción sostenible y económicamente atractiva, no se debería desperdiciar la biomasa bajo ningún concepto, sino más bien debería emplearse en circuito cerrado de modo que todos los flujos residuales se reintroduzcan en la cadena de valor con una nueva función (Luzardo & Venselaar, 2012).

Así mismo se prefiere el uso del residual en lugar del cultivo alimentario, el cual además de competir con las necesidades de alimentación de la población, representa una amenaza para la sustitución total de los envases plásticos de origen fósil por bioplásticos, puesto que según la evaluación del impacto del ciclo de vida de los bioplásticos en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y huella ambiental terrestre e hídrica, representaría un aumento considerable del uso de suelo y agua (Brizga et al. 2020).

En cuanto a procesos de transformación, la producción de bioplásticos se lleva a cabo principalmente por rutas fermentativas a través de procedimientos biotecnológicos, generalmente costosos y de bajo rendimiento desde el punto de vista industrial. Se requieren procesos eficaces para el fraccionamiento y purificación de la biomasa, rutas rentables para la conversión en monómeros y moléculas plataforma (Brodin et al. 2017) y sustratos de bajo costo entre los cuales podrían incluirse algunos residuos generados en la agroindustria.

Algunos pretratamientos de la biomasa lignocelulosa, incorporan el uso de vapor o ácidos diluidos y tratamientos enzimáticos posteriores, para fragmentarla en azúcares más simples. Aunque es un enfoque práctico, representa limitaciones económicas en procesos de gran escala. Un avance importante en la industria de bioplásticos, es el desarrollo de nuevos sistemas de bioprocesamiento, que emplean microorganismos termófilos para la conversión en un solo paso de lignocelulosa en polihidroxialcanoato, excluyendo los pasos de pretratamiento químico y enzimático (Govil et al. 2020).

Otra consideración en la producción sostenible de los bioplásticos a partir de residuos lignocelulosos, es lo concerniente a los requerimientos energéticos del proceso. Para reducir el consumo de los servicios públicos en esta área y satisfacer los requisitos totales de calefacción, se propone un proceso integrado que aprovecha el poder calorífico del total de los residuos de biomasa, el biogás generado por el tratamiento de aguas residuales, además de una red de intercambiadores de calor entre las corrientes de proceso frío y caliente (Kim et al. 2020).

En cuanto a la generación de residuos, se espera que los plásticos de base biológica, tengan una huella de carbono reducida en relación a los producidos a partir del petróleo, dado que están en completa armonía con las tasas y la escala de tiempo del ciclo bio-

lógico del carbono (Narayan, 2011). El tratamiento de residuos, debe abordar las rutas de degradación disponibles para el bioplástico generado. Aunque existe la posibilidad de utilizar el reciclaje mecánico, o bien emplear tratamientos químicos entre los que están la hidrólisis, pirólisis o alcoholisis, para despolimerizar bioplásticos como el ácido poliláctico y así generar productos de valor agregado, la biodegradación es uno de los aspectos más discutidos para este tipo de materiales. En este tópico es importante definir las condiciones ambientales necesarias para asegurar la descomposición del biopolímero. Hay condiciones específicas como la temperatura, humedad, presencia de microorganismos, que favorecen o contrarrestan esta reacción biológica.

2.3. Revisión Bibliográfica

2.3.1. Biopolímeros, bioplásticos y biocompuestos

Distintos autores usan de manera indiferente los términos de biopolímeros y bioplásticos, para referirse al mismo material. Sin embargo, los biopolímeros podrían definirse, como polímeros naturales que cumplen con ser biobasados y biodegradables, por lo que además se consideran tanto ecológicos como sostenibles. Pueden ser de origen animal (colágeno, proteína, seda, quitina/quitosano), vegetal (celulosa, almidón) o sintetizados por agentes microbianos (polihidroxialcanoatos, celulosa). Tienen amplia aplicación como material de envase en alimentos, transporte de fármacos y resulta bastante prometedor para aplicaciones biomédicas (Brigham, 2018; Kanmani et al. 2017; Sharmila et al. 2020). Entre los biopolímeros se encuentran el almidón termoplástico (TPS), los polihidroxialcanoatos y otras fuentes poliméricas como los materiales lignocelulosos, las gomas, el quitosano y las proteínas. El ácido poliláctico por su parte es un polímero que, aunque puede cla-

sificarse como biobasadao y biodegradable, se obtiene por síntesis tanto biológica como química.

Los bioplásticos por su parte se definen como un plástico de base biológica, biodegradable o que satisface ambos criterios (European Bioplastics, 2018) y dadas sus características, brindan la posibilidad de introducir una alternativa a la problemática causada por los plásticos convencionales (Figura 2.3).

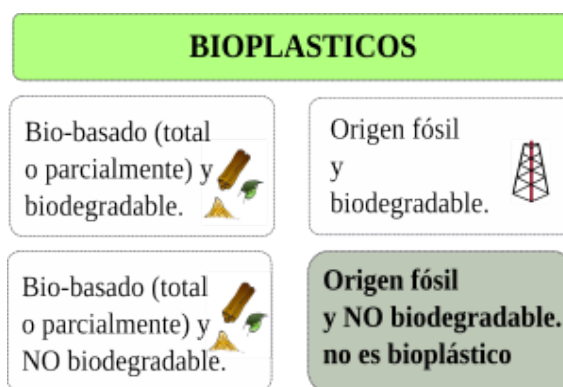


Figura 2.3: ¿Qué es un bioplástico?

Un plástico biobasado es aquél que se obtiene total o parcialmente a partir de biomasa, que es un recurso con gran potencial de ser utilizado, rico en carbono, capaz de procesarse mediante métodos microbianos, para la producción de polímeros de base biológica, mezcla de biopolímeros y diversos químicos (Brodin et al. 2017; Maraveas, 2020). Los principales plásticos biobasados que se comercializan en la actualidad son el TPS, PLA, PHAs, polietileno (bio-PE), propileno (bio-PP) y tereftalato de polietileno (bio-PET) de base biológica, que contienen al menos algo de carbono renovable (Lackner, 2015).

El TPS es en esencia almidón modificado mediante la adición de plastificantes y agentes como calor y presión, para modificar su estructura cristalina y facilitar el procesamiento. Surgieron como respuesta a las preocupaciones ambientales existentes por el uso indiscriminado de materias primas no renovables en la fabricación de materiales, así como por el

incremento en los costos de recursos fósil. Una desventaja del TPS es su sensibilidad a la humedad y pobres propiedades mecánicas, razón por la cual se incorporan fibras naturales de relleno o se forman mezclas con otros biopolímeros como el caso del ácido poliláctico y el succinato de polibutileno (Montero et al. 2017; Nazrin et al. 2020). El bio-PE, bio-PP, bio-PET y la biopoliamida, son biobasados al emplear biomasa para producir el etilenglicol utilizado más adelante en la síntesis del tereftalato de polietileno. En contraparte está la policaprolactona, la cual es biodegradable pero no biobasada, pues se obtiene a partir de recursos fósiles.

Un plástico es biodegradable cuando se descompone por la acción de microorganismos o sufre disminución de su peso molecular por actividad biológica, produciendo CO_2 , H_2O , CH_4 (dependiendo del ambiente en el cual se lleva a cabo), sales minerales, además de biomasa (Reddy et al. 2013; Vert et al. 2012). Hay que destacar que la biodegradabilidad del material no depende de la fuente de origen, sino de la estructura del polímero. Es por ello que existen plásticos biodegradables de origen natural, sintetizados a partir de recursos renovables y a base de petróleo, pero también los hay de base biológica no biodegradables (Jiang & Zhang, 2017; Reddy et al. 2013).

Los no biobasados son los polímeros sintéticos obtenidos de recursos petroleros. En el mercado también existen otros tipos de plásticos que dependiendo de su mecanismo de degradación se conciben como fotodegradables, oxodegradables, oxobiodegradables, compostables, entre otros, que no deben confundirse con los biopolímeros ni los bioplásticos. Los principales tipos de bioplásticos se muestran en la Figura 2.4.

Por otro lado están los biocompuestos, que son materiales compuestos de polímeros biobasados, fibra derivada de plantas (biofibra) y derivados del petróleo o polímeros biodegradables. Las fibras celulósicas han cobrado gran interés en los últimos años y se clasifican

en fibras de lino (lino, cáñamo, yute, kenaf y ramio), fibras foliares (abacá, plátano, piña y sisal), fibras de semillas (fibra de coco, algodón, y kapok), así como todos los demás tipos (raíces y madera). Estas son agregadas como refuerzo a la matriz polimérica, para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera del bioplástico (Abdul Khalil et al. 2019; Chan et al. 2018; John & Thomas, 2008; Ngo, 2018).

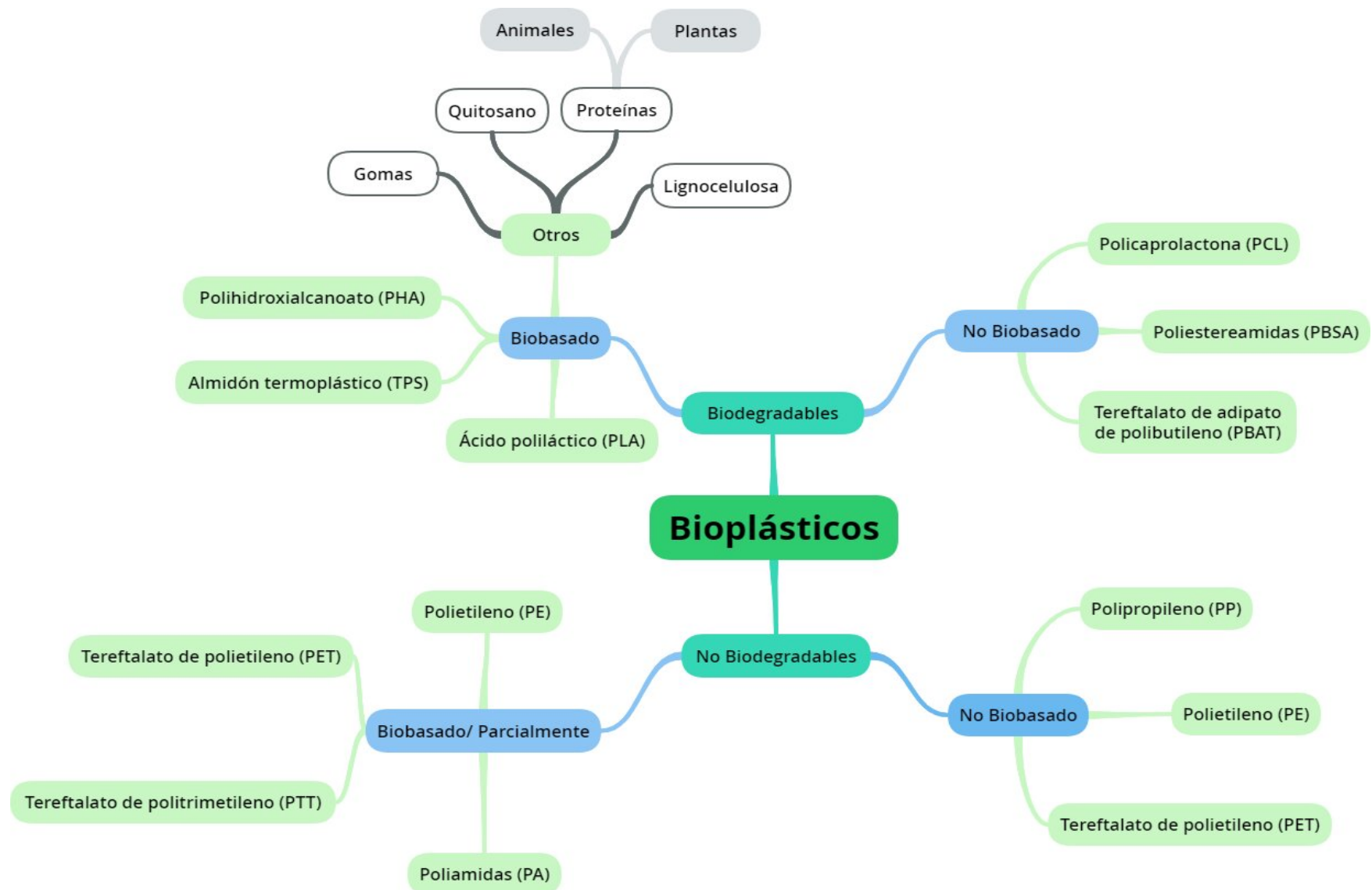


Figura 2.4: Tipos de bioplásticos

2.3.2. Consecuencias ambientales y amenazas a la salud por el uso de plásticos convencionales

El uso de plásticos ha traído un gran avance para la humanidad. Ha facilitado la vida con la incorporación de un material barato, fácil de procesar y con multiplicidad de aplicaciones, pero también representa serios desafíos ambientales por los efectos que causa en el ambiente. El primero de ellos es que al provenir de recursos fósiles, tiene una tasa de degradación lenta que puede llevar décadas e incluso siglos (Napper & Thompson, 2019). Sin considerar, los daños ambientales causados por las actividades inherentes a explotación, refinación y procesamiento del petróleo, para la obtención de materia prima en la industria de plástico.

En segundo lugar, está la cantidad de residuos la cual crece de manera constante en función de la producción anual de plástico. Hasta el momento se estiman unos 7000 MMt de residuos de este tipo, de los cuales un 10 % han sido reciclados, 14 % incinerado y 76 % acumulados en vertederos, al aire libre o viajan largas distancias hasta llegar al mar. De continuar con las mismas tendencias de producción y gestión de residuos, se tendrán aproximadamente 20000 MMt de residuos plásticos en vertederos o a cielo abierto para el año 2050 (Geyer, 2020; Geyer et al. 2017; Jambeck et al. 2015).

El reciclaje mecánico de residuos plásticos es una solución ambiental de práctica común, crucial para ahorrar recursos fósiles y cerrar lazos de materiales. Sin embargo, la información sobre el reciclaje de plástico industrializado o los materiales reciclados es limitada. También sucede que en ocasiones el plástico virgen puede estar hecho de diferentes polímeros o aditivos tales como metales, colorantes u otros, que posteriormente deben ser retirados en la gestión de residuos y dificultan el proceso de reciclaje, aumentar los costos y en el peor de los casos contaminar el plástico reciclado (Eriksen et al. 2018;

Gu et al. 2017). Del total de residuos plásticos generados, sólo un porcentaje muy bajo alcanza recuperarse por reciclaje mecánico. Un aspecto que quizás también influye, es la cultura de la sociedad respecto a adquirir el hábito de clasificar los residuos plásticos en los puntos de generación, lo cual es un factor que favorecería la disminución de los costos en el proceso de reciclaje.

La quema de plásticos por su parte, trae consigo la liberación de gases como dioxinas, furanos, mercurio y bifenilos policlorados, que además de ser tóxicos para la salud animal y humana, contribuyen con el cambio climático (Verma et al. 2016). Estudios demuestran que estas sustancias son capaces de permanecer en el tejido adiposo de los animales e ingresan al cuerpo humano por la cadena alimentaria, causando daños en el sistema endocrino, aparato reproductor y sistema inmune, destacando su efecto carcinogénico (Kanan & Samara, 2018; Rathna et al. 2018).

También están los macroplásticos (plásticos de tamaño >25 mm), microplásticos (plásticos de tamaño entre $0,1\text{ }\mu\text{m}$ – 5 mm) y nanoplásticos (plásticos de tamaño microscópico ≤ 100 nm), que representan un riesgo para el ecosistema marino. Estos causan daños en algunos animales por enredos, lesiones o abrasiones en la piel, restricción de la alimentación, bloqueo en los intestinos por ingestión o la muerte. Estos contaminantes plásticos hidrófobos, pueden absorberse por la fauna marina y luego pasar al ser humano por la cadena alimentaria (Alimba & Faggio, 2019; Besseling et al. 2019; Li et al. 2016).

Los polímeros sintéticos son los contaminantes antropogénicos más extendidos de los ecosistemas marinos y terrestres que amenazan la vida silvestre y ejercen efectos sobre las redes alimentarias naturales. La contaminación por plásticos es ahora un problema global que daña los ecosistemas, acaba con la biodiversidad y tiene el potencial de afectar al planeta (Barnes, 2019; Krueger et al. 2015).

2.3.3. Procesos biotecnológicos en la producción de biopolímeros

La biotecnología industrial se aplicó inicialmente durante la Primera Guerra Mundial para la producción química, usando el *Clostridium* en la producción de acetona y butanol. Aunque en sus comienzos fue superada por los procesos petroquímicos, la presión ambiental actual, ha hecho que se devuelva la mirada a esta aplicación tecnológica para aprovechar el potencial que tienen los flujos de residuos y subproductos de las actividades industriales, en la producción de productos químicos y biopolímeros a través de la bioconversión microbiana en procesos fermentativos (Koutinas et al. 2014).

La biotecnología blanca proporciona rutas para obtener biopolímeros a escala industrial, al convertir la biomasa vegetal en glucosa, ácidos grasos u otros monómeros, en bioplásticos mediante fermentación microbiana (Kumar, 2020; Van Beilen & Poirier, 2007). Los biopolímeros bacterianos se pueden clasificar en polisacáridos, poliamidas, poliésteres y polianhídridos inorgánicos (Rehm, 2010). Algunos de los aportes de la biotecnología al desarrollo de biopolímeros, están la obtención de celulosa bacteriana, polihidroxialcanoatos, ácido láctico como precursor del ácido poliláctico, así como también las modificaciones enzimáticas que se realizan a los polisacáridos.

La celulosa bacteriana es una obra de arte de la naturaleza, que consiste en un material nanofibrilar ultrafino con alta cristalinidad y grado de polimerización, alta área de superficie, alta flexibilidad y resistencia a la tracción, alta capacidad de retención de agua, entre otras propiedades, que contribuyen con el desarrollo de materiales innovadores. Es un material citotóxico, no genotóxico y altamente biocompatible generado por bacterias aeróbicas, que dada su alta pureza puede utilizarse para una amplia gama de aplicaciones, como productos médicos, instrumentos eléctricos e ingredientes alimentarios (Gorgieva &

Trček, 2019; Moniri et al. 2017).

Los PHAs son biopolíesteres insolubles en agua que se producen a partir de fuentes renovables de carbono, por la acción de microorganismos recombinantes en procesos de fermentación. Estos biopolímeros pueden ser de cadena corta, media o híbrida, según la cantidad de átomos de carbono presentes. Poseen propiedades físicas similares a los plásticos sintéticos, pero tienen como ventaja el ser materiales biocompatibles, termoprosesables y completamente biodegradables (González García et al. 2013; Koller, 2017). Dadas estas características, al igual que la celulosa bacteriana, es un biomaterial atractivo para ser usado en transporte de fármacos, dispositivos médicos, apósitos, suturas, así como también en aplicaciones para ingeniería de tejidos (Bonartsev et al. 2019; Chen & Wu, 2005; Kalia et al. 2019).

El ácido láctico es un precursor del ácido poliláctico (PLA), el cual es un poliéster alifático renovable biodegradable y biocompatible, basado en una unidad monomérica repetitiva de ácido láctico, obtenida por la acción de bacterias homolácticas sobre la biomasa rica en almidón y a través de la fermentación microbiana de D-glucosa. Su producción a escala comercial implica el uso de un reactor de fermentación por lotes que funciona con ácido láctico concentrado, típicamente tomando entre 3 y 6 días. La polimerización se produce principalmente por policondensación industrial de ácido láctico o polimerización con apertura de anillo de lactida (Auras et al. 2004; Castro-Aguirre et al. 2016; Djukić-Vuković et al. 2019), siendo esta última la vía que proporciona un polímero con mayor peso molecular y por ende mejores propiedades mecánicas.

El PLA, la celulosa bacteriana y los PHAs, se consideran como biomateriales favorables para aplicaciones médicas por ser de base biológica, biodegradables, biocompatibles, compostables y no tóxicos. Comercialmente están disponible como filamentos, con el propósito

de usarlos en la técnica de impresión 3D. Sin embargo, sus aplicaciones están limitadas por su baja resistencia a la fusión, lenta velocidad de cristalización, baja procesabilidad, alta fragilidad, baja tenacidad y baja temperatura de servicio (Matos et al. 2019; Singhvi et al. 2019). Para superar estas limitaciones, se pueden incorporar otros polímeros de base biológica a mezclas de PLA. Ejemplo de ello, es una invención donde se emplea PHAs para desarrollar compuestos a partir de mezclas con PLA y mejorar las propiedades mecánicas del material termoformado (Krishnaswamy, 2016; Nofar et al. 2019).

Los polisacáridos por su parte, también son biopolímeros que en ocasiones son modificados para ampliar sus posibilidades de uso, a través de la mejora de propiedades como: temperatura de gelatinización, solubilidad, carácter hidrofóbico, retrogradación, entre otros. Los métodos físicos y químicos son los comúnmente usados, pero ha surgido como alternativa los bioprocesos enzimáticos, para reducir el impacto ambiental causado por el enfoque químico y tóxico de los métodos tradicionales.

La creciente demanda de procesos sostenibles, orienta al uso de enzimas activas como lacasas, peroxidasas, lipasas, tirosinasas y transglutaminasas. Esto como una herramienta biotecnológica para la extracción y el fraccionamiento de los componentes macromoleculares de polisacáridos a moléculas de menor tamaño, que sirvan para obtener productos en distintos sectores de la industria, con características superiores a las que ofrece el mercado (Karan et al. 2019; Martínez-Abad et al. 2016; Obro et al. 2018).

El desarrollo de biopolímeros a través de la biotecnología es un campo prometedor, pero tiene una limitación económica que superar. Es un desafío asociado con la baja conversión de sustratos de carbono en productos, lento crecimiento de microorganismos, dificultad de la separación aguas abajo e inestabilidad en las propiedades termomecánicas del producto obtenido (Chen & Jiang, 2017; Kovalcik et al. 2019). El diseño de bioprocesos

eficientes y económicos, combinado con los respectivos beneficios sociales y ambientales, son aspectos a discutir en el desarrollo sustentable de biomateriales del futuro como en el caso de los polihidroxialcanoatos (Kourmentza et al. 2017).

Una manera de reducir los costos del proceso por ejemplo, es usando fuentes de carbono baratas y potencialmente sostenibles. Entre las materias primas de base biológica están los lignocelulosos, residuos agrícolas, residuos de alimentos, aguas residuales industriales ricas en lípidos que además de ser pretratados, requieren en la mayoría de los casos procesos de separación y despolimerización. Los desechos orgánicos representan una opción de uso, pero deben ser relativamente abundantes, concentrados y fácilmente degradables para que sea un proyecto viable (Aslan et al. 2016; Brigham & Riedel, 2019; Dietrich et al. 2019; Pratt et al. 2019).

Para que la producción de estos biomateriales sea económicamente viable, se requiere evaluar las cantidades disponibles de los residuos, los costos de instalación, montaje y operación de la instalación industrial (Kumar, 2020). Se necesita implementar nuevos métodos de pretratamientos para las materias primas lignocelulósicas, menos agresivos ambientalmente y que contribuyan a un mayor aprovechamiento de los carbohidratos presentes en la biomasa. Se plantea la visión de biorrefinerías integradas, con enfoque basado en la economía circular. Por ejemplo, la integración de la producción de PHA en procesos como plantas de tratamiento de aguas residuales, producción de hidrógeno o biodiesel podrían mejorar su implementación a escala industrial (Dietrich et al. 2019; Moretto et al. 2020; Rodriguez-Perez et al. 2018).

Es un gran reto la implementación de una biorrefinería especialmente para los países subdesarrollados. Pero a la vez es una oportunidad que promete buenos resultados para desarrollar procesos por vía biotecnológica, aplicables en la obtención de biomateriales con

una reducida huella ambiental, ahorro en el uso de recursos naturales, aprovechamiento de residuos, reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, bajo un contexto de economía circular.

2.3.4. El concepto de biorrefinería y la producción de bioplásticos

Una biorrefinería es una instalación industrial (o red de instalaciones), que emplean un conjunto combinado de tecnologías y rutas de conversión, para utilizar de manera integral y de forma sostenible la biomasa disponible, con el propósito de producir de forma simultánea biocombustibles, energía, materiales y otros productos químicos con valor añadido (Morais & Bogel-Lukasik, 2013). Consiste en un complejo industrial que emula el procesamiento que se lleva a cabo en una refinería tradicional, pero a diferencia de esta en lugar de usar petróleo como materia prima, emplea biomasa proveniente de distintas fuentes. En la actualidad la mayoría de las biorrefinerías operativas y en construcción se encuentran en Norteamérica y países de Europa (IEA Bioenergy, 2021).

Pese a que es un modelo de producción relativamente nuevo y que sigue en investigación, cada día aumenta el interés en su implementación dada la necesidad que existe en reemplazar los recursos fósiles por otros de origen renovable. El objetivo principal de las biorrefinerías, es utilizar biomasa para producir cantidades pequeñas de una mayor cantidad de productos de base biológica y aguas abajo, emplear los residuos secundarios, para la producción de energía destinada a uso interno o externo (Bell et al. 2014). Dependiendo de la materia prima o la tecnología de procesamiento que se utilice, las biorrefinerías pueden clasificarse en lignocelulósicas, cultivo entero, verde, marinas, de plataforma, convencional, química y termoquímica (Cherubini et al. 2009).

Las biorrefinerías pueden ser de pequeña escala, las cuales son unidades de producción capaces de hacer uso de los recursos locales, para la valorización eficiente y sostenible de la biomasa (De Visser & Van Ree, 2016). También hay biorrefinerías integradas, similares a las petrorefinerías dado que producen una amplia gama de productos con el fin de optimizar la materia prima utilizada y la economía del proceso (Trigo et al. 2012).

Otra clasificación señala que las biorrefinerías pueden ser de primera, segunda generación o tercera generación. Las de primera generación incluye los cultivos energéticos o aquellos destinados a alimentación humana. Los de segunda considera la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura, silvicultura, ganadería, la crianza e industrias relacionadas, así como la fracción de residuos municipales e industriales (Aristizábal-Alzate et al. 2020). Una tercera generación de biomasa comprende las macroalgas y microalgas (Hong & Wu, 2020; Siqueira et al. 2014). En la Tabla 2.1, se muestra información correspondiente a cada una de ellas.

Para la transformación eficiente de la biomasa, además de las actividades de pretratamiento, se emplean dos métodos de conversión: bioquímico y termoquímico. Los procesos bioquímicos se llevan a cabo por la acción de microorganismos (hongos, bacterias y levaduras), a través de mecanismos de reacción bioquímicos. Considera la fermentación y la digestión anaeróbica, con la cual se obtienen biocombustibles y otros productos químicos, además de biogás y biofertilizante. Por su parte las transformaciones termoquímicas se realizan a altas temperaturas e incluye los procesos de combustión, gasificación y pirólisis, para producir energía térmica, gas de síntesis y bioproductos (bioaceite y biocarbón). La velocidad de conversión en estos procesos, depende de las condiciones de operación: temperatura, presión, velocidad de alimentación, tiempo de calentamiento, tamaño de partícula de biomasa, actividad catalítica (Ferreira, 2017; Vaz, 2019).

Tabla 2.1: Clasificación de las biorrefinerías

Biorrefinería	Materia prima	Método de procesamiento	Productos obtenidos	Ventajas/Desventajas	Referencias
Lignocelulosa (LC)	Biomasa lignocelulósicas en su estado natural (paja, caña, pasto, madera) o sus residuos.	Fraccionamiento de la biomasa para extraer sus compuestos: celulosa, hemicelulosa y lignina.	Biomateriales, compuestos químicos, biocombustibles y energía.	La biomasa lignocelulósica es un material abundante con gran potencial. Los productos de conversión tienen buena posición en relación a los de la petroquímica.	Ferreira (2017), Trigo et al. (2012), Kamm & Kamm (2004).
Cultivo entero	Cultivos integrales de cereales (centeno, trigo, triticale, maíz).	Separación mecánica del grano y la paja, por molienda seca o húmeda.	Combustibles, bioplásticos, adhesivos, aglutinantes, almidón modificado, entre otros.	La paja puede procesarse en biorrefinerías de tipo LC. Es material de partida para la producción de gas de síntesis por pirólisis. El cultivo entero puede competir con las necesidades de alimentación.	Salazar y Cárdenas (2013), Kamm & Kamm (2004).
Verde	Biomasa húmeda originaria del cultivo de pastizales permanentes, campos de cierre, cultivos verdes, cereales inmaduros de cultivos extensivos.	Fraccionamiento húmedo para aislar componentes, generando como producto de desecho una torta rica en fibra y un jugo verde rico en nutrientes.	Tintes y pigmentos, proteínas, enzimas, ácidos lácticos, fibras y energía.	La explotación de los pastizales puede tener efectos secundarios relacionados con la conservación de paisajes.	Kamm & Kamm (2004), Kromus et al. (2004)
Marina	Biomasa marina (plantas, algas).	Cultivos de microalgas en estanques abiertos o fotobiorreactores. Para deshidratación de la biomasa se emplea floculación, centrifugación y filtración.	Biocombustibles, proteínas, pigmentos, polisacáridos, biopolímeros, fertilizantes y energía.	Al usar áreas marginales no aptas para la agricultura, no compete con la producción de alimentos. Tiene alta productividad. El cultivo y procesamiento de este tipo de biomasa, aún está en investigación.	Ferreira (2017), Harun et al. (2010).
De plataforma	Azúcares y plataformas de gas de síntesis.	La biomasa se somete a gasificación (proceso a temperatura extrema en presencia de O_2 o aire).	Después de limpiar el gas de síntesis, puede usarse para producir energía, bioalcoholes o combustibles.	Los procesos actuales de fermentación se desarrollan a partir de cultivos ricos en azúcar, con una pérdida considerable de carbono. Se requieren mejoras en los procesos de conversión.	Jung et al. (2020), Salazar y Cárdenas (2013), Trigo et al. (2012).

Tabla 2.1: (Cont.)

Biorrefinería	Materia prima	Método de procesamiento	Productos obtenidos	Ventajas/Desventajas	Referencias
Convencional	La utilizada en industrias existentes: azucarera (caña, remolacha), almidón (trigo, mandioca, papa) aceites vegetales (girasol, soja, colza), pulpa y papel (recursos forestales).	Operaciones físicas, mecánicas y transformaciones químicas requeridas en la industria en dependencia del proceso.	Azúcar, melaza, almidón, aceites y grasas vegetales, pulpa y papel.	Se requieren esfuerzos orientados a producir una amplia variedad de productos con valor agregado. No se ajusta al nuevo concepto de biorrefinería.	Diep et al. (2012), Cherubini et al. (2009).
Química y termoquímica	Todo tipo de biomasa.	Basada en una mezcla de varias tecnologías (torrefacción, pirólisis, gasificación, HTU, separación de productos, síntesis catalítica).	Disolventes, variedad de productos químicos, biocombustibles, energía.	La producción de varios tipos de productos dificulta el cálculo de la eficiencia energética, la sostenibilidad y la rentabilidad de la biorrefinería. Su diseño requiere implementar perspectivas diferentes a biorrefinerías orientadas a obtener un solo producto.	Diep et al. (2012), Haro-Martínez & Tadel-Bringas (2014).
Primera generación	Azúcares y aceites provenientes de recursos agrícolas mediante el uso de toda la planta.	Procesos con biotransformaciones (enzimología, microorganismos) y fermentación.	Biocombustibles (etanol y biodiésel) y algunos productos químicos.	Estas biorrefinerías no están diseñadas para el uso eficiente de la biomasa, minimizar el consumo de energía y reciclar residuos. La biomasa utilizada, puede competir con la producción de alimentos.	Octave y Thomas, (2009), Salazar & Cárdenas (2013), Trigo et al. (2012)
Segunda generación	Biomasa lignocelulosa.	Procesos con biotransformaciones (enzimología, microorganismos) y fermentación.	Biocombustibles (etanol y biodiésel) y algunos productos químicos.	Busca el aumento de la sostenibilidad mediante la maximización de la biomasa y la eficiencia energética. La biomasa funciona en simbiosis, para no competir con la alimentación.	Octave & Thomas, (2009), Salazar & Cárdenas (2013), Trigo et al. (2012).
Integradas	Diferentes de biomasa (cultivos energéticos, residuos de tipo agrícola, forestal, industriales y municipales).	Diversas tecnologías de conversión termoquímica (combustión, pirólisis, gasificación) o bioquímica (digestión anaerobia, fermentación).	Energía, combustibles, polímeros, sustancias químicas, plataformas.	La amplia gama de productos fabricados, optimiza el uso de la materia prima y mejora la economía del proceso. Requiere el desarrollo de tecnologías específicas y la adaptación de las materias primas para su adecuado aprovechamiento.	Ferreira (2017), Maity (2015), Salazar y Cárdenas (2013), Trigo et al. (2012)

Se necesitan implementar nuevos métodos de pretratamientos para las materias primas lignocelulósicas, que sean menos agresivos ambientalmente y que contribuyan a un mayor aprovechamiento de los carbohidratos presentes en la biomasa. Enfoques de producción biocirculares como el reuso de los disolventes de extracción, aplican para minimizar los impactos ambientales y mejorar las perspectivas económicas. La integración de las etapas de pretratamiento, la hidrólisis y la fermentación en condiciones no estériles o en modo de fermentación abierta (continua), mejoran la productividad, disminuyen los costos por consumo de energía y de procesamiento (Djukić-Vuković et al. 2019; Kovalcik et al. 2019).

La producción de bioplástico sería dentro de la biorrefinación un coproducto de valor agregado, tal como sucede en las refinerías de petróleo con la producción de plásticos y químicos. El desafío es encontrar una biomasa compatible con el biomaterial que se desea obtener, en un escenario de biorrefinería donde se justifique su producción (Snell & Peoples, 2009). La implementación de una plataforma de biorrefinería, que use como materia prima el desperdicio de alimentos es una opción interesante (Tsang et al. 2019). Este concepto es posible para la producción de almidones termoplásticos y polímeros bacterianos. La selección de la biomasa, las metodologías de procesamiento y la integración correcta en productos y coproductos a obtener, contribuye con una biorrefinería viable desde el punto de vista económico y ambiental.

El desperdicio generado, representa una opción valiosa que no depende de los cultivos que compiten con los mercados alimentarios. Es una materia prima potencial para adoptar un enfoque que conduzca al desarrollo de la economía circular y la producción de bioplásticos (Carmona-Cabello et al. 2018; Dahiya et al. 2018; Kumar et al. 2020; Morone & Imbert, 2020). Esta alternativa representa un ahorro significativo de CO_2 en comparación con el de plásticos de origen fósil, dependiendo de la materia prima, el producto y la

aplicación. Impulsa el desarrollo de una infraestructura basada en bioplásticos que puede actuar a largo plazo, como sumideros de carbono (Karan et al. 2019). Una representación de lo descrito se muestra en la Figura 2.5.

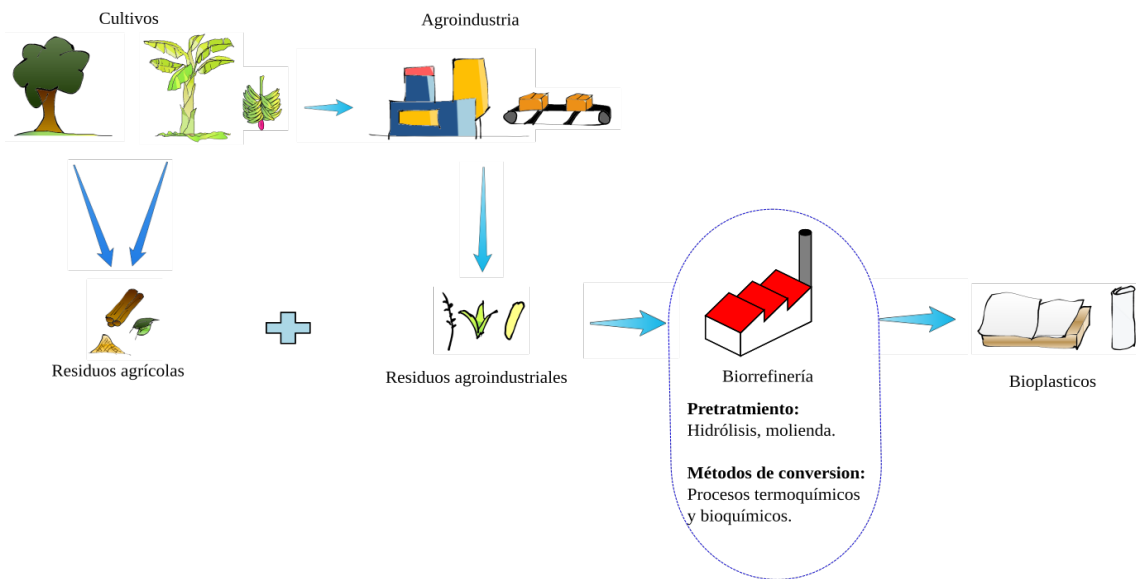


Figura 2.5: Biorrefinación para la producción de bioplásticos.

La biorrefinación es un concepto prometedor que busca cerrar bucles con el objetivo de valorizar la biomasa en un marco de economía circular y abordar de manera integral los aspectos económicos, ambientales y sociales del sector industrial (Lindorfer et al. 2019). Aunque representa un gran desafío, una integración adecuada de tecnologías y materias primas, permitirá establecer futuras cadenas de producción sostenibles para la producción de distintos bioproductos, que sean además competitivas en el mercado y que conduzcan a la sustitución progresiva de los productos obtenidos por la industria petrolera (Cherubini, 2010; Ubando et al. 2020).

2.4. Patentes

Aunque la mayoría de las patentes relacionadas con los bioplásticos se registran en los últimos años, la primera invención data del año 1955 con su uso en la fabricación de transistores (Pankove, 1955). En una búsqueda realizada en Google Patents para los últimos 20 años, se encontró un total de 15432 patentes publicadas en el tema de bioplásticos (Figura 2.6), provenientes principalmente de Japón, Corea y China.

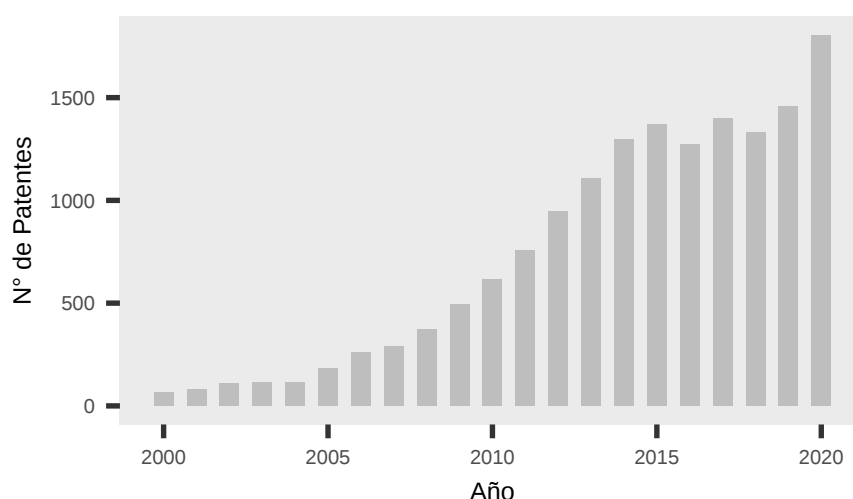


Figura 2.6: Patentes para bioplásticos entre los años 2000 - 2020.
Fuente: Google Patents.

Algunas de las patentes registradas en los últimos 10 años en las cuales se emplean residuos agroindustriales, se muestran en la Tabla 2.2. En la mayoría de estas, se evidenció el uso de métodos biotecnológicos, con el fin de aumentar la eficiencia en los procesos, así como el aprovechamiento de los residuos.

Tabla 2.2: Patentes de bioplásticos

Nº de Patente	Residuos empleado	Material obtenido	Referencia
CN112359072A	Aguas residuales de la industria de alimentos.	PHA	Colmillo et al. (2021)
BR102019014296A2	Residuos del procesamiento de la cebada malteada.	Biocompuesto	Brito, et al. (2021)
BR102019005255A2	Bagazo de yuca.	Mezcla termoplástica con PLA.	Yamashita et al. (2020)
JP6660318B2	Semillas de tamarindo, ricino, piñón, moringa, neem, cáscaras de granos de cacao, de café, bagazo de caña de azúcar, fibra de coco, racimos de palmeras.	TPS	Pung (2020)
WO2020226590A1	Residuos de hueso de aceituna.	Gránulos bioplásticos.	Yilmaz et al. (2020)
TWI581873B	Residuos de tamarindo, rábano, semilla de ricino, piñón, neem, moringa, piel de grano de cacao, cáscara de grano de café, arroz molido, bagazo, fibra de coco.	TPS	Ming (2017)
ES2640350T3	Residuos agroalimentarios de origen vegetal.	Mezclas biodegradables	Sartore et al. (2017)
BRPI0801845B1	Cítricos provenientes del procesamiento del jugo de naranja.	PHA	Vecchi et al. (2016)
BR102013017538A2	Orujo de pseudofruta (tallo) de anacardo.	Bioutensilios	Catunda-Pinto (2016)
AR101465A1	Residuos de la agroindustria	Termoplásticos	Miyazaki (2016)
CN104017340B	Bagazo de yuca	Mezcla plástica biodegradable.	Jian et al. (2016)
KR101525658B1	Subproducto de salvado de trigo, cáscara de soja.	Película plástica.	Yoon et al. (2015)
KR20150092949A	Semillas y piel de alimentos.	Pellet.	Kim (2015)
KR20140137424A	Semillas de tamarindo, jatropha, moringa, neem, ratan jot, cacao y café, bagazo de caña de azúcar, fibra de coco, jarabe de aceite de palmeras.	TPS	Yan-Fun (2014)
ES2383383B1	Semillas oleaginosas (aguacate, oliva, etc.)	PHA	González (2013)
KR101327480B1	Residuos agrícolas en polvo a base de hierbas.	Bolsas de basura biobasadas.	Myung-Jong et al. (2013)
WO2013043036A1	Residuos de aceite de palma	PHA	Hassan et al. (2013)
BRPI0805076A2	Residuos del procesamiento del café, soya y mango.	Biocompuesto reforzado.	Pereira et al. (2011)

2.5. Principales autores

2.5.1. Autores del main stream

Alineado al trabajo realizado, se encuentra el concepto de bioeconomía cuyos pioneros son Georgescu-Roegen y Jiri Zeman. El primero enunció este enfoque en el año 1913 y se sustentó inicialmente en la economía ecológica, la cual persigue la asignación de los recursos, la distribución de los ingresos y la escala de la economía en equilibrio con el ecosistema, a través de la creación de tres instituciones destinadas a la distribución de los recursos, el control de la población y el rendimiento de la producción (Gowdy, 2016). Cerca del año 1970, Jiri Zeman sugirió para este enfoque el término de bioeconomía, pero además lo describió como una expresión de nueva economía, donde la sustancia biológica debía reconocerse en casi todos los aspectos del proceso económico (Bonaiuti, 2014).

Así mismo se encuentra Walter Stahel, uno de los que comenzó en el año 1970 a mencionar el concepto de economía circular y lo presentó como alternativa para convertir los bienes que están al final de su vida útil en recursos para otros, cerrando bucles en los ecosistemas industriales y minimizando el desperdicio (Stahel, 2016). Kamm y Cherubini por su parte, enfocan sus investigaciones en el desarrollo de biorrefinerías y la combinación de las tecnologías necesarias entre materias primas biológicas e intermedios industriales, para producir los mismos productos o servicios que se obtienen a partir de fuentes fósiles (Cherubini, 2010; Cherubini et al. 2009; Kamm & Kamm, 2004a, 2004b).

Un estudio bibliométrico de esta comunidad entre los años 2012 al 2021, usando el tesoro biopolímeros, indica que el interés de investigación en esta área comenzó a crecer consecutivamente desde el año 2017. La mayoría de las publicaciones relacionadas con este tema provienen de China y en Suramérica lleva la delantera Brasil (Figura 2.7).

Los autores con mayor producción científica para el periodo analizado son Zhang Y., McClements DJ y Wang X (Figura 2.8), reportando un aumento en sus contribuciones científicas desde el año 2018 (Figura 2.9).

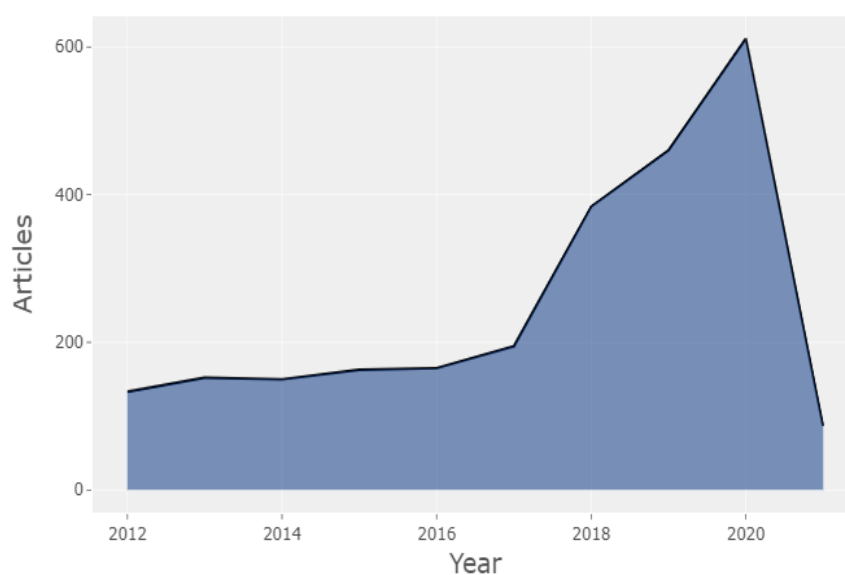


Figura 2.7: Estudio bibliométrico en el área de biopolímeros (2012 – 2021).

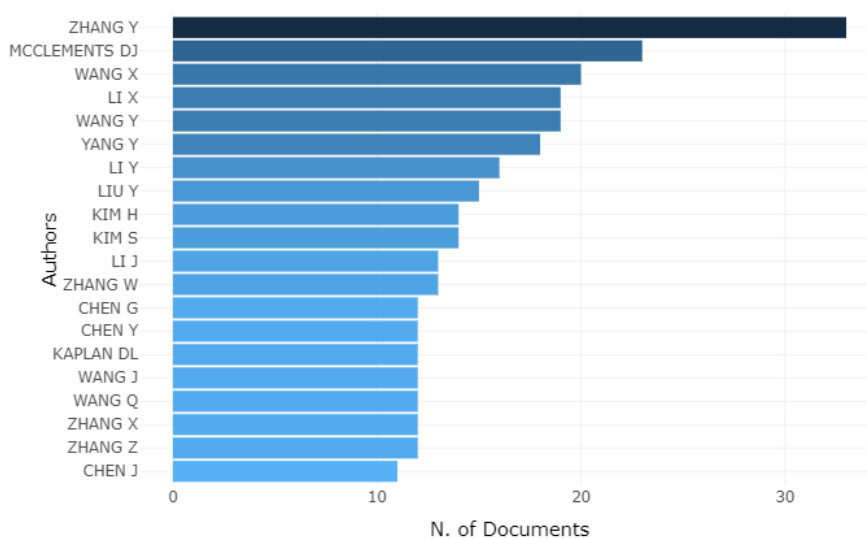


Figura 2.8: Autores con mayor producción científica en biopolímeros 2012 - 2021.

Yachuan Zhang es del Departamento de Ciencia de los Alimentos de la Universidad de Manitoba, en Canadá. Su investigación se centra en el procesamiento y características de los envases biodegradables a base de proteína (Zhang et al. 2018), plastificación de biopolímeros y su aplicación como envase en la industria de alimentos. David McClements de la Universidad de Massachusetts Amherst de los Estados Unidos, centra su interés de investigación en biopolímeros y coloides alimentarios. Sus publicaciones presentan el trabajo realizado para desarrollar emulsiones, nanoemulsiones e hidrogeles basados en biopolímero, goma arábiga, aceites vegetales, cáscara de quitosano, lecitina de soja, entre otros (Chen et al. 2020; Chung et al. 2019; Liu et al. 2020; Ma et al. 2020), para emplearlas como protector, encapsulamiento y administración oral de proteínas, péptidos y otros con aplicación afín a la industria alimentaria. Xiaohong Wang es del University Medical Center of Johannes Gutenberg-Universität Mainz de Alemania y su interés de investigación se orienta a la síntesis y caracterización de materiales y nanomateriales, con aplicaciones en

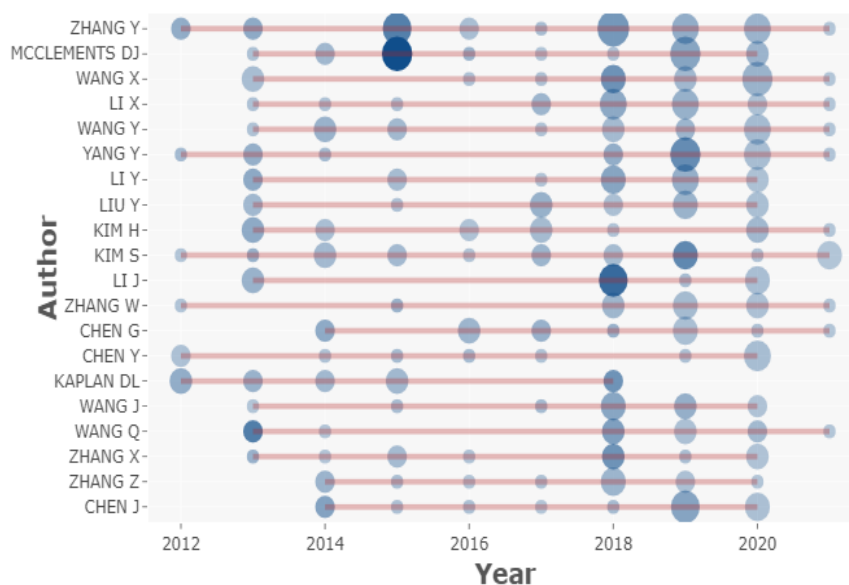


Figura 2.9: Producción científica de los autores en el tiempo, 2012 - 2021.

el campo de la medicina.

Y dentro del análisis multicriterios se encuentra Saaty, quien desarrolló el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) en el año 1971, como un método de medición con escalas de razón utilizado para determinar la importancia relativa de un conjunto de actividades o criterios, convirtiéndose así en una herramienta de potencial aplicación en la toma de decisiones (Saaty & Wind, 1980).

2.5.2. Autores disidentes

Se consideran los autores cuyas escuelas de pensamiento se contraponen a la economía de repetición y al nuevo enfoque de desarrollo sostenible. Los primeros en citar son Adam Smith y uno de sus seguidores David Ricardo, primeros en construir un cuerpo analítico que explica el funcionamiento de la economía capitalista industrializada. Ambos consideraron la libertad económica como un factor fundamental para lograr el máximo de beneficio económico. Para Smith, el crecimiento económico se base en la acumulación de capital y la obtención del mayor beneficio económico es esencial para el progreso económico. Ricardo por su parte, presenta un modelo donde vincula la actividad económica con la naturaleza, pero no con un interés en el cuidado del ambiente o de la supervivencia del hombre, sino para justificar la renta de los terratenientes por sus propiedades. El vínculo más estrecho entre la teoría de Ricardo y la ciencia económica contemporánea, está en la economía de los recursos naturales no renovables, en dependencia de los distintos grados de productividad y costos de explotación (Correa-Restrepo, 2015).

Por otra parte se encuentra Milton Friedman, liberalista por convicción y defensor de la escuela de Chicago, promueve la teoría de la función consumo donde sostiene que el nivel de consumo de los agentes no depende de ingresos transitorios, sino del ingreso

permanente esperado a largo plazo. Otra teoría es la conocida como monetarismo, la cual considera que la demanda de dinero no es una porción fija del ingreso sino una función de todas las variables pertinentes incluyendo preferencias, tecnologías de transacción, tasas de rendimientos en todos los activos, inflación, riqueza e ingreso nominal. Friedman junto con George Stigler son los padres del neoliberalismo, la cual desde el punto de vista político sostiene que una economía de mercado con *laissez-faire* es la mejor manera de promover la libertad individual, mientras que como filosofía económica, destaca que una economía de mercado desregulada —*de laissez-faire*— es la mejor forma de promover la eficiencia económica y el bienestar económico (Palley, 2014).

2.5.3. Escuelas antagonistas

Una postura contrapuesta al trabajo desarrollado es la neoclásica, que tiene por objeto alcanzar la sustituibilidad de los recursos naturales por medio de la tecnología, condicionando su instrumental analítico por los juicios de valor establecidos en la economía del bienestar, planteando que cada individuo es el mejor juez de las decisiones que lo afectan y, por tanto, él es el mejor agente de sus intereses. Esta escuela de pensamiento señala que trabajar sin barreras que impidan la movilidad de los factores, se llegará al equilibrio de la renta y de la producción y, como consecuencia de ello, al pleno empleo (Aguado Moralejo et al. 2009; Correa Restrepo, 2015).

Por otra parte, se encuentra la escuela neoliberal cuyo término se distingue hasta la década de 1970, con las ideas económicas que surgieron en las décadas de 1930-1960, asociadas con la escuela de Ordoliberalismo de Friburgo, la Sociedad MontPelerin, el trabajo de Friedrich Hayek y la economía contrakeynesiana de la Escuela de Chicago. También se vincula con los neoliberalismos posteriores como es el caso de la Escuela de Chicago

y los Chicago Boys de Chile (Venugopal, 2015). La Escuela de Chicago se identifica por su defensa en una economía de empresa privada, con un gobierno limitado, defensor de una economía de mercado individualista, con énfasis en la teoría cuantitativa del dinero, que señala una relación directa entre la cantidad de dinero y los precios (Miller, 1962; Ravier, 2016). Estos postulados dentro del pensamiento neoliberal, consideran el mercado como el mecanismo más eficaz para la asignación de los recursos y apuesta por la liberalización internacional del comercio. Así fomenta la construcción de regiones transfronterizas, para el desarrollo de procesos de reescalamiento económico, político y social, promoviendo acciones orientadas a explotar nuevas oportunidades para promover valores, identidades e intereses específicos o defenderlos del impacto frecuentemente disruptivo del reescalamiento (Aguado Moralejo et al. 2009).

Otra escuela que se opone es la de la Economía Ecológica que enfatiza la imposibilidad de mantener un crecimiento exponencial ante la imposibilidad de sustituir de manera perfecta los recursos naturales, debido a que el planeta es finito. Desde esa perspectiva, la economía depende de la presencia de los ecosistemas para su existencia, razón por la cual la sobrevivencia de los procesos físicos y biológicos se priorizan por encima de la rentabilidad, independientemente de la percepción de la gente. Su propósito central es el estudio de todos los objetos que componen la biósfera y los recursos naturales, sin que necesariamente brinden alguna utilidad a las sociedades humanas, considerando que los recursos ambientales tienen un valor intrínseco (Aguado Moralejo et al. 2009; Haro-Martínez & Taddei-Bringas, 2014).

2.6. Crítica constructiva a las soluciones expuestas en la bibliografía

La mayor parte de los autores en el área de biopolímeros, bioplásticos y biocompuestos, tienen un enfoque común y es el uso de subproductos o residuos de la industria como materia prima. Se trata de un concepto sostenible acorde a las exigencias actuales, que promueve el máximo aprovechamiento de recursos y el desarrollo de productos innovadores en las cadenas de producción. La producción sostenible de polímeros biobasados, depende en gran medida de la disponibilidad existente del recurso renovable a utilizar para viabilizar el concepto de biorrefinería.

Las biorrefinerías de residuos encaja dentro del concepto de economía circular, el cual busca minimizar el consumo de recursos vírgenes a la vez que se reutilizan los desperdicios generados a lo largo de la cadena de valor, para un mínimo impacto ambiental. Este concepto es viable especialmente en los países en desarrollo, cuyos desechos representan una fuente importante de biomasa.

Haciendo referencia a la agroindustria, se podrían emplear los residuos de la industria de almidones (materias primas de rechazo, cáscaras, semillas), para extraer el almidón remanente y emplearlo en la fabricación de almidón termoplástico. Un caso similar sucedería en fabricación de jugos y bebidas, donde es posible emplear los residuos generados (semillas, cáscaras, pieles), para obtener los azúcares presentes y utilizarlos como moléculas plataforma o sustratos de bajo costo, en posteriores procesos fermentativos.

Requiere descubrir cuál de ellos es el más promisorio y en función de ellos y su disponibilidad, establecer la tecnología más adecuada para proporcionar una combinación predecible y efectiva de producción de estos biomateriales, orientado a reducir substan-

cialmente los costos de producción para satisfacer de manera sustentable las necesidades del mercado.

En este sentido los desafíos en la implementación de una biorrefinería, se presentan mediante la evaluación del ciclo de vida. El proceso previo a su instalación, amerita el estudio de diversos aspectos de modo que se garantice el éxito de las operaciones en el complejo industrial. El uso combinado de un conjunto de herramientas como lo es el análisis multicriterios para la toma de decisiones, sistemas de georreferenciación, modelos de series de tiempo y de optimización, considera la interacción de múltiples datos de tiempo y espacio, así como variables técnicas para la toma de decisiones ante el problema de estudio. Su uso de manera integrada permite el desarrollo de una metodología que contribuya con la selección del mejor residuo como fuente de biomasa, para garantizar la obtención de biopolímeros, bajo un esquema económico-ambiental, que reduzca los costos por experimentación y ensayos y garantice la producción de materiales capaces de competir con sus parientes sintéticos, en el marco de la economía circular y los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030.

Las limitaciones de uso están relacionadas con la falta de definiciones estandarizadas para la gestión de residuos de alimentos, la escasa información en cuanto a cantidades generadas y el bajo rendimiento de producción en comparación con la materia prima alimentaria. Sin embargo los resultados a tener son muchos mayores, pues se traducen en generación de energía, ahorro en el uso de recursos naturales, reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, nuevos negocios y por ende empleos.

2.7. Hipótesis preliminar

Se plantea el desarrollo de una metodología que integre el análisis multicriterios y los sistemas de información geográfica, para la toma de decisiones en cuanto a la selección de residuos agroindustriales, orientado a la producción de bioplásticos. Aunque en la bibliografía suele referirse a ella como frameworks, se utilizó en la tesis el concepto de metodología. La comprobación de la hipótesis principal requirió realizar algunas tareas, que se determinaron con el diseño de experimentos que aportaron a la comprobación de las siguientes hipótesis:

- Concebir los criterios para la integración del MCDM con SIG, considerando el problema de decisión a abordar, la escala de valor a utilizar, la ponderación de criterios, combinación de criterios con reglas de decisión y análisis de sensibilidad (Khoo et al. 2019; Martinkus et al. 2018; Martinkus et al. 2017).
- Analizar la funcionabilidad de la metodología desarrollada para el cumplimiento de los objetivos trazados, usando estrategias diseñadas para tal fin (Kang et al. 2020).
- Aplicar la metodología desarrollada a un caso de estudio perteneciente a un país con economía agroindustrial, con el fin de validar lo realizado. No obstante, el trabajo se conceptualizó para que sea fácilmente reproducible en sistemas productivos que no necesariamente estén relacionados con las actividades agrícolas del caso testigo utilizado.

2.8. Marco conceptual

2.8.1. La bioeconomía como modelo de negocios

El enfoque bioeconómico lo enunció Georgescu-Roegen y lejos de reducir todos los fenómenos a un fundamento biológico, unía las enseñanzas proporcionadas por la ley de entropía al carácter evolutivo del proceso económico (Carpintero, 2006; Jones et al. 2011). Como una respuesta a la imposibilidad de lograr el crecimiento ilimitado de manera sostenible, la bioeconomía se planteó como un mecanismo de verificación que incluso consideró el control de la natalidad para regular la población y con ello el consumo de los recursos naturales.

Actualmente la bioeconomía comprende todas las actividades económicas relacionadas con el uso de recursos renovables de base biológica, para la producción primaria de recursos y su posterior conversión en bienes de mayor valor mediante el procesamiento y la comercialización en el mercado (Cosna, 2019; Lewandowski et al. 2018). La misma destaca tres perspectivas diferentes en su implementación: La biotecnología, los biorecursos y la bioecología. Enfatiza la importancia que tiene la investigación, aplicación y comercialización de la biotecnología en distintos sectores. Se centra en el papel de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) de las materias primas biológicas, en distintas áreas y en el establecimiento de nuevas cadenas de valor. Resalta la importancia que tienen los procesos ecológicos para optimizar el uso de energía y nutrientes, promover la biodiversidad y evitar la degradación de los suelos (Bugge et al. 2016).

La bioeconomía se presenta como un nuevo modelo de negocio, que se fundamenta en el aprovechamiento y transformación de la biomasa por medio de procesos y principios biológicos, para obtener de manera sostenible diversos productos. También implica

la generación y aplicación intensiva de nuevos conocimientos científico-tecnológicos, en la transformación de estos recursos (Lengyel & Zanazzi, 2020). El modelo bioeconómico considera tres aspectos: La sustentabilidad ambiental y económica, la consolidación y fortalecimiento de la estructura actual y por último, el desarrollo científico y tecnológico disruptivo. El primero propone producciones consorciadas para la flexibilidad productiva con costos compartidos, la recuperación de recursos naturales y la producción de energía a partir de biomasa rural y desechos urbanos. El segundo busca la intensificación agropecuaria para su máximo aprovechamiento en la producción alimenticia, agregando valor en el origen de la cadena productiva a través de la integración de los mercados de locales-regionales, además de la generación de energía para autoconsumo. El tercer aspecto orienta hacia la instalación de biofábricas para la producción de bioinsumos y biomateriales debidamente certificados (Bisangy, Roberto and Regúnaga, Marcelo, 2019).

A diferencia de otros modelos económicos, este incorpora el conocimiento y los avances científicos y tecnológicos para desarrollar nuevas alternativas y senderos de producción, que impulsan el aprovechamiento sostenible de los recursos y procesos biológicos, con el fin de proveer bienes y servicios (Hodson de Jaramillo, 2018). El modelo bioeconómico señala que el uso eficiente de la biomasa a través de la cadena de valor debe considerar el principio de producción en cascada y la utilización de corrientes de desechos y residuos agrícolas (Besi & McCormick, 2015).

Dentro de este contexto surge una combinación entre la bioeconomía y la economía circular, para dar origen a la bioeconomía circular como una forma para impulsar el crecimiento económico sostenible, al combinar el qué hacer con el cómo, para reducir la dependencia de los recursos naturales, cambiar los métodos de fabricación, promover la producción sostenible de bioproductos y favorecer la creación de nuevos empleos e

industrias basadas en recursos de origen biológico o biobasadas (Giampietro, 2019).

Los aspectos claves del modelo de negocio de bioeconomía circular son: El segmento de clientes y sus relaciones propuesta de valor, canales de comercialización, flujos de ingresos, recursos claves, actividades claves, socios claves y estructura de costos (Figura 2.10). Los mismos están relacionados con estar cerca de los clientes y tener en cuenta su visión en el proceso de creación de valor, el papel de la innovación y los nuevos mercados, una adecuada gestión de los sistemas logísticos y de acopio de materia prima, conocer las distintas rutas de valoración de la biomasa, buscar tecnologías desarrollo, construyendo cadenas de valor resilientes, enfocadas a la creación de valor para cubrir costos (Salvador et al. 2021).

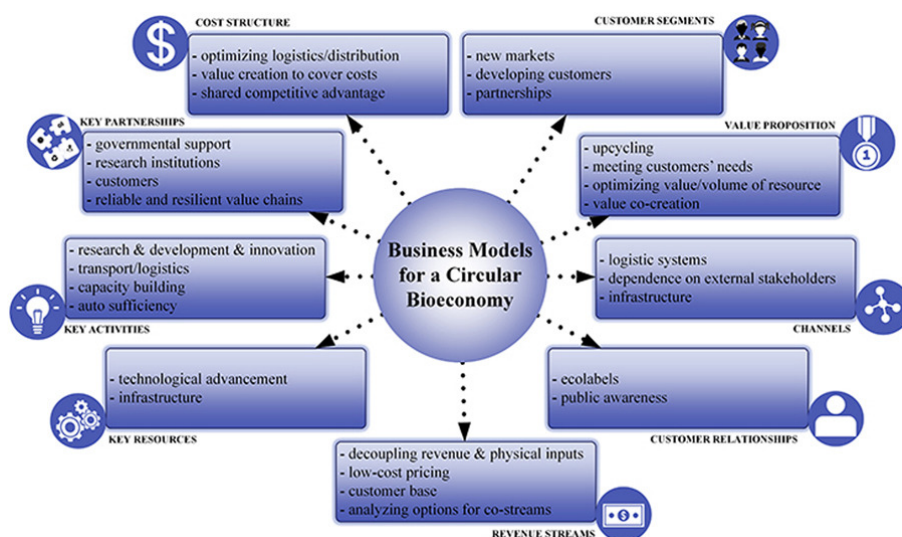


Figura 2.10: Modelo de negocio para una bioeconomía circular.
Tomado de: Salvador *et al.* (2021).

Alcanzar una bioeconomía circular, se ha convertido en una aspiración global para los gobiernos mundiales pero requiere de innovaciones concretas destinadas a crear opciones de transición para la puesta en cascada y la valorización de corrientes residuales como un camino hacia la sostenibilidad (Egelyng et al. 2018). Los enfoques transdisciplinarios

apoyan la bioeconomía como estrategia para superar algunos de los desafíos sociales más relevantes y el paradigma de cambiar una economía basada en recursos fósiles a una economía innovadora y sostenible basada en recursos biológicos (Lewandowski et al. 2018).

En la actualidad Europa destaca como líder en el modelo de bioeconomía, con políticas públicas definidas para favorecer el desarrollo de empresas de base biológica y prácticas comerciales, que se traducen en más de 2 millones de puestos de trabajo en las áreas de agricultura, silvicultura, alimentos, productos químicos y bioenergía (Bikse et al. 2019). Son relevantes los beneficios de la bioeconomía, dado el aporte que esta genera en cuanto al desarrollo económico de los países, brindando la oportunidad de introducir en el mercado productos innovadores, que tienen como característica principal su reducida huella ambiental.

Aunque Europa tiene un adelanto significativo en el tema, Latinoamérica en general tiene un gran potencial para adoptar un modelo bioeconómico, debido a la riqueza de recursos naturales que posee como factores determinantes en una economía de base biológica. La bioeconomía en Latinoamérica ofrece la posibilidad de ir más allá del desarrollo agrícola e industrial, de modo que tanto la agricultura como la producción de biomasa se conviertan en componentes esenciales para aliviar los problemas del hambre y la pobreza existentes en la región (Bisang & Anlló, 2015; Trigo et al. 2013).

En los últimos años países como Argentina, Brasil, Costa Rica, Colombia, Chile, México y Perú, han mostrado interesantes iniciativas en cuanto al desarrollo de técnicas de innovación en agricultura y ganadería, adopción de cultivos genéticamente modificados, celebración de convenios con institutos internacionales de investigación para la extracción de compuestos naturales útiles en la elaboración de fármacos, entre otras estrategias para impulsar la producción de productos básicos en el marco de la bioeconomía. Así mismo,

países con un producto interno bruto (PIB) menor como es el caso de Cuba, muestra logros significativos en la implementación de la biotecnología. Sin embargo, aún faltan leyes y esquemas de recompensa en la región, que faciliten el pleno desarrollo de una bioeconomía (Sasson & Malpica, 2018).

El modelo económico actual del Ecuador consiste principalmente en una economía primaria, pero se podrían utilizar los mismos recursos naturales que hoy son explotados, para un mayor beneficio. A nivel nacional, se comienzan a dar pasos en el establecimiento de documentos normativos que sustenten este nuevo modelo económico (Torres & Santos-Ordóñez, 2020). Desde el punto de vista político, el país comenzó a desarrollar estrategias de bioeconomía en el año 2011 con la realización de un seminario sobre bioeconocimiento. Luego en el 2013 planteó una Estrategia de Cambio de Matriz Productiva y Política de Gobernanza del Patrimonio Natural, y para los años 2015 y 2016 respectivamente, lanzó el Programa Socio-Bosque y una Estrategia Nacional Biodiversidad con proyección para el 2030. Posteriormente en el 2017, el Ministerio de Ambiente y Agua (MAE) realizó el Seminario “Perspectivas para avanzar hacia una economía basada en la biodiversidad y los servicios eco-sistémicos”, asumiendo un liderazgo en el tema a partir de dicho evento (Aramendis et al. 2018).

A partir de junio de 2019 el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP), lidera la hoja de ruta de economía circular, que se concretó con el Pacto Nacional por la Economía Circular, donde instituciones públicas y privadas, se comprometieron en apoyar y aportar en la ejecución de políticas y proyectos dentro de nueve ejes de acción. Dentro de este contexto, se generó la primera fase del libro blanco de economía circular como un instrumento para articular la realidad del país a la agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y establecer líneas de acción en cuanto

producción sostenible, consumo responsable, gestión integral de residuos y generación de políticas y mecanismos de financiamiento, para un apalancamiento de la economía circular (MPCEIP, MAE y UNACEM, 2020; Romero, 2020).

Así mismo el MPCEIP en conjunto con el MAE y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) del país, celebró recientemente el Pacto Nacional por la Bioeconomía Sostenible para el uso eficiente de los recursos naturales, donde estas instituciones ratificaron su compromiso para apoyar diez ejes de acción a favor de la bioeconomía. Y desde un punto de vista legal un aspecto positivo, es que se ha establecido a través de la Ley de Fomento Productivo, un mecanismo de evaluación para la aplicación de beneficios tributarios y arancelarios, a los proyectos empresariales que propongan actividades enmarcadas en la industria sostenible, con principios de economía circular e industria 4.0 (MAE, 2020; Romero, 2020).

2.8.2. Economía de cascada

La economía de cascada es un enfoque que considera el empleo de la biomasa, para producir una variedad de productos tanto alimentarios como no alimentarios, entre los que se encuentran los de uso industrial, farmacéuticos o agrícola. El concepto de cascada de valor le confiere a la bioeconomía una naturaleza integradora, con implicaciones en la política pública. Su enfoque aspira copiar los fundamentos de la inteligencia biológica, en la cual un ser vivo constituye una maquinaria capaz de procesar una serie de compuestos para transformarlos en energía, biomasa y subproductos (Hodson de Jaramillo, 2018).

Se trata de un principio piramidal (Figura 2.11), que asume en primer lugar el uso de la biomasa en aplicaciones económicamente más interesantes y después ello, utilizar los residuos generados en la mayor medida posible, para otras aplicaciones de menor valor

(Luzardo & Venselaar, 2012). Con esto se busca el uso de la biomasa en la obtención de productos de alto valor y bajo volumen destinados a aplicaciones en farmacología y química fina, hasta llegar a aquellos requeridos para suplir las necesidades de energía en transporte, calefacción, los cuales son productos de gran volumen y bajo costo (Asveld et al. 2010).



Figura 2.11: Pirámide de valor biobasada.
Tomado de: Márquez-Luzardo y Venselaar (2011).

El principio de cascada es aplicable cuando hay un sistema lineal en el que progresa la biomasa mediante una serie de usos de los recursos, su reutilización y reciclaje, antes de finalmente recuperarlo para obtención de energía. Este mecanismo ofrece ganancias significativas de eficiencia, maximizando el valor extraído de una determinada cantidad de biomasa satisfaciendo las necesidades tanto materiales como energéticas de la misma materia prima. Las barreras para una adopción más amplia de la cascada, se presenta en cadenas de suministro subdesarrolladas que dificultan la reutilización de los recursos y en la inexistencia de un marco regulatorio que centre el apoyo en el uso energético de la biomasa (Keegan et al. 2013).

La adecuada aplicación de este concepto, también depende del desarrollo de tecno-

logías innovadoras construidas unas sobre otras. No sólo se trata del procesamiento en cascada de nuevos materiales, sino también de la implementación de tecnologías emergentes para producir nuevos subproductos, necesarios para ser reciclados en la cascada de procesamiento. Y a medida que aumentan las tecnologías disponibles, también se incrementan las posibilidades de recombinación, haciendo posible las cascadas de innovación (Székács, 2017).

2.8.3. Análisis multicriterios

La toma de decisiones multicriterios o (MCDM), es una herramienta poderosa para el análisis de situaciones complejas. Está basada en modelos de investigación de operaciones empleadas para la toma de decisiones en problemas complejos donde se evalúan múltiples criterios, generalmente contradictorios. La misma se divide en dos tipos: la toma de decisiones con múltiples objetivos (MODM) y la toma de decisiones con múltiples atributos (MADM). En las MODM las variables de decisión se determinan en un dominio continuo, con una gran cantidad de opciones disponibles y en la cual la mejor de ellas debe satisfacer las restricciones y prioridades de preferencia del tomador de decisiones. Los métodos MADM se concentran en problemas con espacios de decisión discretos, donde la selección se da entre un número finito de alternativas y se requieren comparaciones entre atributos e intra atributos (Rao, 2007).

Las herramientas de análisis multicriterios tienen diversas áreas de aplicación. Se ha utilizado por ejemplo, en problemas de asignación de presupuesto, decisiones políticas, análisis de respuestas a riesgos ambientales, entre otros, para la evaluación sistemática de distintas alternativas ante situaciones complejas donde se espera seleccionar la mejor opción (Marttunen et al. 2017). Entre los más conocidos están el proceso de jerarquía ana-

lítica (AHP), Élimination Et Choix Traduisant la Réalité (Elimination et Choice Translating Reality, ELECTRE), método de los Belga o PROMETHEE y el Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

El proceso de jerarquía analítica (AHP), es una teoría de medición relativa que se basa en juicios de expertos para derivar escalas de prioridades, a partir de comparación por pares que se realizan después de conocer los elementos a medir. En el AHP se utiliza una escala fundamental absoluta, de la cual se obtiene una escala de valores relativos que también pertenece a una escala absoluta invariante, bajo la transformación de identidad como el sistema de números reales. Funciona mediante el establecimiento de las preferencias. En su primera etapa, computa pesos de criterios. Comienza por hacer comparaciones pareadas entre criterios y construye una matriz cuadrada de la cual se calcula el autovector, que luego se usa como un vector de peso para los criterios. Es un método útil para tomar decisiones multicriterio que involucran beneficios, oportunidades, costos y riesgos (Saaty, 2008; Saaty, 2016).

Los métodos ELECTRE comprenden dos procedimientos principales: el primero es un procedimiento de agregación de criterios múltiples, que permite la construcción de una o varias relaciones de rango superior con el objetivo de comparar de manera integral cada par de acciones y el segundo para obtener resultados según la naturaleza de problema a resolver (elegir, clasificar u ordenar). Estos métodos son relevantes cuando se enfrentan situaciones de decisión donde: el tomador de decisiones quiere incluir en el modelo al menos tres criterios; las acciones se evalúan (para al menos un criterio) en una escala ordinal o en una escala de intervalo débil; existen una fuerte heterogeneidad relacionada con la naturaleza de las escalas asociadas con los criterios; la compensación de la pérdida en un criterio dado por una ganancia en otro, no es aceptable por el tomador de decisión

y cuando para al menos un criterio las pequeñas diferencias de preferencias no deben considerarse significativas (Figueira et al. 2016).

Los métodos PROMETHEE diseñados para resolver problemas multicriterios, consisten en una función de preferencia asociada a cada criterio, así como en pesos que describen su importancia relativa. Se basa en las relaciones de superación entre las diferentes alternativas comparadas por pares, donde se supone que el decisor compara cada alternativa con otra cuando son evaluadas bajo diferentes criterios. Los criterios pueden venir expresados en diferentes unidades de medida o ponderaciones, para lo cual es necesario conocer cuál es el criterio generalizado bajo el cual se evalúa cada uno de estos. Para pequeñas desviaciones, el tomador de decisiones asignará una pequeña preferencia a la mejor alternativa e incluso posiblemente ninguna preferencia si considera que esta desviación es insignificante. Cuanto mayor sea la desviación, mayor será la preferencia (Brans & De Smet, 2016; Brans & Mareschal, 2005).

TOPSIS es un método de criterios múltiples cuyo objetivo es priorizar m alternativas que son evaluadas por n atributos. Crea dos alternativas artificiales e inviables para utilizarlas como puntos de referencia, como la estrella polar en los cielos y el punto más bajo en el infierno. La solución ideal está compuesta por los mejores valores de atributos entre las alternativas, mientras que la solución anti-acuerdo la constituye los peores valores de los atributos. Luego se mide las distancias euclidianas entre la solución ideal y la solución anti-acuerdo, para así denotar una alternativa mediante dos atributos consolidados (Yoon & Kim, 2017).

La aplicación de estas herramientas en el área de biopolímeros, permite seleccionar las materias primas más adecuadas para su fabricación, el plastificante o incluso el mejor uso para el material. En un estudio, se empleó el método ELECTRE para analizar seis

tipos de biopolímeros (TPS, PLA, PHA, PVOH) y seleccionar entre ellos, el mejor para la fabricación de envases. Evaluaron seis criterios: beneficios económicos logrados al aplicar la solución, armonización con la legislación, grado de degradación del biomaterial, costo de implementación del proyecto, cantidad de recuperación de residuos y energía recuperada de los residuos. Estos criterios se centraron en tres indicadores de desarrollo: social, económico y ambiental. Después de la evaluación, se concluyó que los polihidroxialcanoatos, son adecuados desde el punto de vista económico y ambiental para la fabricación y utilización de embalaje (Comaniță et al. 2015).

En otra experiencia se evaluó un cultivo lignoceluloso usado para ensilaje y pasto a través de las herramientas MCDM junto con el ciclo de vida, para la producción de productos básicos como el etanol, ácido poliláctico o biomateriales como el almidón termoplástico y biocompuestos (Sanaei et al. 2018). También se aplicó el análisis multicriterios para evaluar el uso de bagazo de caña junto con otro residuo lignocelulosos, para tres escenarios: coproducción de etanol, ácido láctico y/o electricidad (Mandegari et al., 2017). Otro trabajo permitió determinar la mejor ubicación para la instalación de una biorefinería, capaz de procesar residuos del cultivo de cacao para la generación de bioenergía, con una metodología integrada de Fuzzy y AHP basada en el uso de sistemas de información geográfica (Rodríguez et al. 2017).

Específicamente para el caso de biorrefinerías, se comenta que los métodos más usados son AHP y PROMETHEE, VIKOR y ELECTRE (Gnansounou & Alves, 2019; Tuazon & Gnansounou, 2017). En este sentido, su aplicación es viable para la selección de un residuo agroindustrial, que se utilizará como suministro en un proceso para la producción de bioplásticos.

2.8.4. Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

El AHP es una metodología propuesta por Saaty en 1980 (Saaty, 2008), basada en la jerarquización, comparación pareada, y en los pesos de importancia de los criterios considerados, a través de los pasos siguientes:

- Definir el problema y tipo de conocimiento buscado.
- Estructurar la jerarquía de decisiones desde la parte superior, hasta el nivel más bajo.
- Construir un conjunto de matrices de comparación por pares, empleando la escala de valoración recomendada por Saaty.
- Usar las prioridades obtenidas de las comparaciones para emplearlas en las prioridades del nivel inmediatamente inferior.
- Repetir el paso anterior para cada elemento, hasta obtener la prioridad global y continuar este proceso de pesaje y adición hasta obtener las prioridades finales de las alternativas en el nivel más bajo.

La construcción de matrices de juicios (a_{ij}) para la evaluación de criterios, se usan para hacer la comparación por pares de las alternativas consideradas. Se asignan pesos a las alternativas de cada fila i ponderándolo con un valor x que va de 1 a 9, según la escala de valoración de Saaty (Saaty, 2008) y el recíproco de cada una de estas alternativas tendrá un valor de $1/x$. La diagonal de cada matriz será igual a 1, por corresponder a la comparación de la alternativa contra sí misma. El procedimiento descrito se repite para cada uno de los criterios considerados en la evaluación. Las matrices obtenidas deben ser normalizadas dividiendo cada ponderación entre la sumatoria total de estas. Los valores

de la matriz normalizada se usan para calcular el vector prioridad, el cual servirá para la evaluación final en la selección de las alternativas. Luego para los resultados obtenidos en cada criterio, se hace una medida de consistencia usando las ecuaciones (2.1), (2.2) y (2.3) (Saaty, 2001).

$$IC = \frac{(n_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2.1)$$

$$IA = \frac{1,98(n - 2)}{n} \quad (2.2)$$

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (2.3)$$

Donde IC es el índice de consistencia, n_{max} es el promedio de los cocientes calculados para cada criterio, n es la cantidad de criterios, IA es el índice de consistencia aleatoria y RC es la razón de consistencia. El valor que toma RC debe ser menor o igual a 0,10 para que los resultados sean aceptables, caso contrario se sugiere realizar una revisión de las valoraciones asignadas.

Una combinación entre el AHP y la lógica difusa (Fuzzy Logic), se presenta como una herramienta para tratar la imprecisión del juicio humano al realizar la valoración o al trabajar con los múltiples criterios de selección, con el objetivo de lograr soluciones fáciles de tratar, robustas y de bajo costo para problemas de palabras reales (Emrouznejad & Ho, 2017; Herrera Umaña & Osorio Gómez, 2006). El procedimiento para su aplicación requiere como paso adicional, la conversión de los juicios emitidos por los agentes decisores en números difusos o triangulares (Tabla 2.3). Al finalizar se debe desfuzificar los resultados, para convertir los números triangulares en reales y con ello calcular la prioridad de cada

uno de los criterios y realizar el respectivo análisis de consistencia (Paredes-Rodríguez et al. 2019).

Tabla 2.3: Escala de valoración para la comparación en AHP

Escala Saaty	Escala difusa	Definición	Explicación
1	(1, 1, 1)	Igualmente importantes	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo.
3	(2, 3, 4)	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra.
5	(4, 5, 6)	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
7	(6, 7, 8)	Muy fuerte o importancia demostrada.	Se favorece mucho una actividad sobre otra.
9	(8, 9, 9)	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación.
2	(1, 2, 3)		Son intermedios de preferencia que se utilizan cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre los factores.
4	(3, 4, 5)		
6	(5, 6, 7)		
8	(7, 8, 9)		
Recíprocos	Si la actividad i tiene asignado uno de los números distintos de cero en comparación con la actividad j, entonces j es el valor recíproco en comparación con i.		

En el AHP difuso, se utilizan dos relaciones de consistencia: el de valor medio (CRm) que se obtiene con el valor central del número triangular asignado, según la ponderación dada a cada criterio y el de límite superior e inferior (CRg), que se consigue usando los valores superior e inferior del respectivo número triangular. Al igual que el AHP, el índice de consistencia (tanto de CRm como de CRg) para cada criterio y subcriterio, debe ser inferior a 0,1 para el resultado obtenido sea consistente (Sarasati & Dachyar, 2021).

2.8.5. Georreferenciación

La georreferenciación es una técnica de posicionamiento espacial, empleada para suministrar información de objetos que representan espacios geográficos en la superficie

terrestre. Es una herramienta de consulta poderosa que supera muchas dificultades, para reunir información de todo tipo y transmitirla instantáneamente a través de un mapa. Cada día son más las áreas de la vida donde se incorporan sistemas de información geográfica (SIG) para almacenar y analizar datos georreferenciados, lo que lleva al descubrimiento de patrones de distribución geográfica que apoyan la planificación y la toma de decisión (Hill, 2006).

Los SIG son una técnica geomática especializada que permite gestionar y analizar la información espacial, para resolver problemas frecuentemente relacionadas con la geografía y la distribución espacial (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2006). Se apoyan en el uso de sistemas informáticos capaces de capturar, almacenar, consultar, analizar y mostrar datos geoespaciales que describen tanto la ubicación como los atributos de las características espaciales. Un SIG comprende los componentes de hardware, software, datos, personas y organización. Estos permiten al usuario gestionar datos de carreteras y muchos otros datos geoespaciales por sus ubicaciones, distinguiéndolo así de los sistemas de gestión empresarial que tratan con datos no espaciales (Chang, 2019).

Un desafío pero al mismo una oportunidad de investigación, es el uso de los SIG en el análisis de redes vectoriales, en los cuales las redes pueden representar un dato alternativo para la geolocalización en el contexto de la referencia lineal y admitir un conjunto de herramientas para la visualización gráfica (Curtin, 2007). El análisis de redes vectoriales es una herramienta que usa datos espaciales basados en red, que incluye enrutamiento, direcciones de viaje, instalaciones más cercanas y análisis de área de servicio, permitiendo modelar dinámicamente condiciones realistas de la red, para la toma de decisiones (Bhambulkar, 2011). A partir de un SIG con esta función es posible encontrar caminos

más cortos, conexión cíclica de nodos dados, conexión óptima de los nodos de la red, subdivisión de una red en subredes y asignación de subredes para los centros más cercanos (Netele, 2004).

Con ello se puede representar una red de transporte mediante un conjunto de nodos y un conjunto de enlaces. Los nodos representan puntos en el espacio y posiblemente también en el tiempo, mientras que los enlaces corresponden a piezas identificables de infraestructura de transporte como lo es una sección de carretera. El análisis de una red pura conlleva sólo su topología y conectividad, pero al incluir las limitaciones de capacidad, elección de ruta y funciones de costo de enlace, el análisis se amplía a una red de flujo (Fischer, 2006).

El uso de Sistemas de Información Geográfica permite plantear la ubicación de biorrefinería potenciales, para luego estimar su tamaño, al cuantificar la biomasa accesible en diferentes escenarios disponibles (Gonzales & Searcy, 2017). Del mismo modo permite identificar los puntos de generación de biomasa y su distancia respecto al sitio de ubicación de biomasa, como una red de transporte de flujo donde se tiene en cuenta el movimiento de personas, vehículos o mercancías. El uso de datos desglosados de producción de cultivos, ha dado buenos resultados al examinar la biomasa disponible y la accesibilidad a los residuos de cultivos agrícolas, con el fin de identificar posibles tamaños y sitios para la ubicación de biorrefinería, teniendo en cuenta limitaciones asociadas con el acceso por carretera, viabilidad económica del transporte, economías de escala para el procesamiento de residuos y la disponibilidad de mano de obra (Zheng & Qiu, 2020).

Una combinación SIG con una herramienta de apoyo a la toma de decisiones con criterios múltiples, se utilizó como una herramienta para evaluar las instalaciones industriales existentes en función de su papel potencial para la instalación conjunta de depósitos con

plantas de procesamiento de biomasa activa, destinadas a la producción de biocombustibles lignocelulósicos, a la vez que se reducen los costos operativos y de capital a lo largo de la cadena de suministro (Martinkus et al. 2017). La integración de SIG y modelos de predicción de Redes Neuronales Artificiales (ANN), también sirve para evaluar y optimizar la ubicación de plantas, en función de la disponibilidad espacial y temporal de residuos de cultivos, así como el cálculo de los costos de logística de suministro (Sahoo et al. 2016).

2.8.6. Series de tiempo y el modelo ARIMA

Una serie de tiempo es un conjunto de datos formados a partir de una secuencia de observaciones tomadas a través del tiempo, los cuales se encuentran correlacionados entre sí. La mayoría de los métodos estadísticos estándar basados en muestras aleatorias, no son aplicables a estas series de tiempo. Por el contrario se emplean métodos descriptivos, que enfatizan la descripción de una serie temporal basada en métodos no estocásticos o un enfoque estocástico, para identificar, ajustar y verificar modelos en series de tiempo (Box et al. 2016; Wei, 2013).

Una de las principales utilidades de las series de tiempo, es la de construir un posible proceso subyacente y usarlo para hacer pronóstico, inferencia y control. Pero la predicción de una información referida al futuro es de suma importancia, requiriendo un análisis minucioso. Un enfoque complejo del análisis de series de tiempo univariantes, es el método de Media Móvil Integrada Autorregresiva (ARIMA) de Box y Jenkins, de gran utilidad para hacer proyecciones en distintos campos (Chávez Quisbert, 1997; Wei, 2013).

El método ARIMA se usa para explicar a partir de pronósticos, el comportamiento de una serie de tiempo no estacionaria, asumiendo que alguna diferencia adecuada del proceso es estacionaria y que se caracteriza por ser un método de fundamental importancia para

la predicción y el control de procesos de este tipo (Box et al. 2016). Los modelos ARIMA combinan tres tipos de procesos: Autorregresión (AR), diferenciación para modelar la Integración de la serie (I) y Media móvil (MA). Se describe en términos de (p,d,q), donde p, d y q son parámetros que toman valores enteros no negativos y representan el orden del componente autorregresivo, el grado de diferenciación para la estacionalidad y el orden del componente de la media móvil respectivamente (Gras, 2001). De acuerdo a Box et al., (2016), la forma general del modelo ARIMA (p,d,q) se expresa según las ec. (2.4) y (2.5):

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B)^d z_t = (1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_q B^q) a_t \quad (2.4)$$

$$\varphi(B) z_t = \phi_p(B)^d \nabla^d z_t = \theta_0 + \theta_q(B) a_t \quad (2.5)$$

Donde $\nabla = (1 - B)$, B es el operador retardo, a_t es la perturbación aleatoria, $\phi_p(B)$ es un polinomio de orden p en B con parámetros ϕ_i y $\theta_q(B)$ es un polinomio de orden q en B con parámetros θ_i . Además $\phi(B)$ es el operador autorregresivo (que se asume estacionario), es decir las raíces de $\phi(B) = 0$ se encuentran fuera del círculo unitario, $\varphi(B) = \phi(B)\nabla^d$ es el operador autorregresivo generalizado, es no estacionario con d de las raíces de $\varphi(B) = 0$ igual a la unidad, es decir d raíces unitarias y $\theta(B)$ es el operador promedio móvil que se supone que es invertible, es decir, las raíces de $\theta(B) = 0$ se encuentran fuera del círculo unitario.

La aplicación de ARIMA requiere que las series de tiempo sean estacionarias y no exista tendencia en varianza. Es por ello que comienza con una exploración de los datos, basado en un análisis gráfico de la serie de tiempo y en la evaluación de su autocorrelación.

Luego se estiman los parámetros en el modelo (considerados tentativamente) y se ajusta. El modelo está ajustado correctamente si los residuales son pequeños, están distribuidos aleatoriamente y no contienen información útil. Si el modelo especificado no es satisfactorio, el proceso se repite mediante un nuevo modelo diseñado para mejorar el planteado inicialmente. Este procedimiento se repite de manera iterativa, hasta que se encuentra un procedimiento satisfactorio (Hanke & Wichern, 2006).

El estudio de series de tiempo, considera el análisis del dominio del tiempo y de la frecuencia. En el primero, se utilizan funciones de tiempo como las de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF), para describir las características de series de tiempo cuya evolución se representa a través de varias relaciones de retardo de tiempo. En el enfoque del dominio de la frecuencia, se emplea una mezcla de senos y cosenos en diversas frecuencias, para explicar la variación de una serie de tiempo (Wei, 2013).

Existen trabajos donde se han utilizado datos históricos en la construcción de modelos con ajustes de ARIMA, para pronosticar la producción de cultivos de cereales estacionales en los años siguientes (Mahajan et al. 2020; Sunil & Sindhu, 2020). Investigaciones recientes también muestran el desarrollo de metodologías, usando series temporales con datos terrestres y satelitales, para estimar la producción a escala comunitaria de cultivos de algodón y arroz en sistemas agrícolas pequeños complejos y heterogéneos (Boschetti et al. 2017; Lambert et al. 2018).

El método de Media Móvil Integrada Autorregresiva, también se utilizó para estimar en una provincia de China la biomasa rural conformada por residuos de la agricultura, la silvicultura y estiércol, a fin de conocer su potencial para convertirla en energía y contribuir con el desarrollo (Chen & Wang, 2012). Los modelos ARIMA también se han aplicado en conjunto con una red neuronal para estimar la cantidad de biomasa disponible

proveniente de algas, integrando los resultados de predicción para finalmente establecer un modelo (Cui et al. 2020), mostrando así la gran aplicabilidad del método para realizar pronósticos.

2.8.7. Localización de Plantas

La ubicación de las instalaciones no se limita a la selección de un terreno, sino que comprende la configuración de la cadena de suministros, donde se agregará valor a los productos hasta su llegada a los consumidores. De su elección dependerán los costos asociados a la obtención, transporte, transformación y almacenamiento de bienes producidos. Al plantear el problema de localización, se debe considerar aspectos como el número de instalaciones a ubicar (una única ubicación o múltiples), la cantidad de posibles ubicaciones (continua o discreta) y si la relación entre las ubicaciones conviene modelarlas dentro de un plano o una red (Urbina et al. 2014).

Aquí se distinguen dos tipos de problemas: de ubicación plana y de ubicación en red, que a su vez se puede subdividir en problemas de ubicación continuos o discretos. El espacio en los problemas de ubicación plana es el espacio real bidimensional del plano. Las distancias en los problemas planares suelen ser la métrica de distancia rectilínea o la métrica euclidiana, además de otras funciones. Por el contrario, las distancias en los problemas de ubicación de redes se miden en la propia red, generalmente como la ruta más corta en la red de arcos que conectan los dos puntos. El uso de la ruta más corta generalmente requiere una fase de preprocesamiento para encontrar todas las rutas más cortas entre todos los pares de puntos relevantes. Los problemas de ubicación continua, que suelen ser problemas del plano, por lo general tienden a ser problemas de optimización no lineal, mientras que los problemas de ubicación discreta, que suelen ser problemas de red,

involucran variables 0-1 que resultan en programación entera o problemas de optimización combinatoria (ReVelle & Eiselt, 2005).

En la localización de una biorrefinería, deben analizarse los aspectos asociados a la cadena de suministro: Capacidad de producción, dependencia estacional, sostenibilidad (Figura 2.11). La capacidad de producción dependerá de utilizar instalaciones de procesamiento secundario o de industrias de procesamiento centralizado. La variabilidad estacional, afectará la disponibilidad y el precio de los biorrecursos, siendo necesario la ubicación de almacenes para biorrecursos y productos en los diferentes lugares asociados a la cadena de suministro de las biorrefinerías. Los criterios de sostenibilidad se asocian al establecimiento de objetivos ambientales, económicos y sociales, orientados a maximizar el beneficio neto, minimizar los costos asociados e impacto ambiental y social global (Santibañez-Aguilar et al. 2015).



Figura 2.12: Aspectos de la cadena de suministro de una biorrefinería

Investigaciones previas referidas a la localización de biorrefinerías, han utilizado GIS para mapear la disponibilidad de biomasa, la ubicación del destino, costos de transporte y capacidad de instalaciones ya existentes en el lugar estudiado (Nardi et al. 2007; Parker et al. 2010). Trabajos afines, han desarrollado modelos matemáticos para la maximización de la ganancia total en toda la cadena de valor de la biorrefinería, teniendo en cuenta los

costos de transporte, la selección del lugar para las instalaciones de conversión, centros de recolección, almacenamiento, procesamiento, transporte de biomasa y distribución de bioproductos obtenidos a los mercados (Bowling et al. 2011; Marvin et al. 2013).

El problema de localización se enfoca en determinar los factores críticos que posean un mayor efecto sobre el aumento del valor y la reducción de los costos de operación dentro de la cadena de suministro (Urbina et al. 2014). Bajo este contexto, se tendrá en un extremo de la cadena de suministro la biomasa a utilizar, en medio de la cadena estarán las biorrefinerías de pequeña escala o integradas y en el otro extremo de la cadena, se encontrarán los minoristas, que a su vez suministrarán los bioproductos a los clientes.

2.8.8. Optimización Multiobjetivo

La Programación Multiobjetivo (MOP) o también llamada optimización simultánea de varias funciones objetivos, es un área de la investigación de operaciones, encargada de proporcionar métodos útiles y eficientes para la toma de decisiones en problemas que incluyen diversidad de objetivos y que deben tratarse de manera conjunta, para alcanzar la mejor alternativa (Pliego, 2012). En la vida real, la mayoría de los problemas de optimización involucran la optimización de dos o más objetivos en conflicto simultáneamente. La forma general de un MOP se presenta en la ec. (2.6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)]^T \\ g_j(x) \geq 0 \quad j = 1, \dots, P \\ h_k(x) = 0 \quad k = 1, \dots, Q \\ x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad i = 1, \dots, n \end{array} \right. \quad (2.6)$$

Donde M es el número de funciones objetivo, P es el número de restricciones de desigualdad, Q es el número de restricciones de igualdad, x_i^L y x_U^i corresponden respectivamente a los límites inferior y superior de la variable (Elarbi et al. 2017).

Por otro lado, una tarea de optimización multiobjetivo considera varios objetivos en conflicto simultáneamente. En tal caso, por lo general no existe una única solución óptima, sino un conjunto de alternativas con diferentes compensaciones, llamadas soluciones óptimas de Pareto o soluciones no dominadas. De este modo, la compensación entre los objetivos en conflicto, refleja la tasa de cambio en un objetivo que resulta de un incremento unitario en otro objetivo. Una solución factible x de una minimización es Paret-óptima si no existe otra y , tal $f_k(y) \leq f_k(x), k = 1, \dots, r$, con al menos un objetivo (Branke et al. 2008; Keller, 2019).

Una solución s_1 domina (en el sentido de Pareto) a una solución s_2 , si s_1 es mejor que s_2 en un objetivo y al menos tan buena como s_2 en todos los demás objetivos. Una solución s_i es no dominada cuando no hay una solución s_j que domine s_i y el frente de Pareto contiene todas las soluciones no dominadas. En este sentido, los métodos de optimización multiobjetivo de Pareto devuelven un conjunto de soluciones no dominadas (desde el frente de Pareto), en lugar de una sola solución (Cortez, 2014).

2.9. Materiales

La investigación realizada se sustenta en el pensamiento económico del desarrollo sostenible, que surgió en los años setenta como respuesta al debate causado por los daños ambientales causados por el crecimiento sin límites, alertando la necesidad de realizar modificaciones en los sistemas económicos y financieros para proteger el bienestar humano. Representa la interconexión de tres campos de conocimiento: económico, ecológico

y social, que precisan la construcción de nuevas instituciones y regulaciones que de manera transversal aborden el problema de la sustentabilidad (Aguado Moralejo et al. 2009; Banuri, 2013).

Adopta el concepto de biorrefinerías de pequeña escala, las cuales son industrias ubicadas por lo general en áreas rurales, para el aprovechamiento simultáneo de los residuos de la agroindustria (Gómez-Soto et al. 2019). A diferencia de la economía de escala, consiste en un nuevo paradigma de negocios basado en modelo de repetición, con aprovechamiento circular de los recursos y valor agregado local, mediante la innovación y el uso de unidades modulares y transportables (Dunan, 2018).

2.9.1. Datasets

Se emplearon bases de datos de la producción agrícola, superficie sembrada y rendimiento agrícola del país, entre los años 1961 a 2019. Para los años 1961 al 2001, se recurrió a los datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) para el Ecuador (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018). La información de los años 2002 a 2020, se tomó del registro actualizado hasta Junio 2021 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) del país, que contiene los datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), hasta el 2020 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021b).

Se utilizó información geográfica del catálogo de metadatos publicada en el geoportal del MAG para los años 2020, concerniente a la zonificación agroecológica de los cultivos agrícolas y de algunos centros de procesamiento existentes (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021a). También se extrajo la red vial del Ecuador registrada en el Sistema

Nacional de Información de la Secretaría Técnica de Planificación (Secretaría Técnica de Planificación. Sistema Nacional de Información, 2014), contruidos a partir de datos geoespaciales suministrados por el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) del país.

2.9.2. Procesamiento de Datos

El procesamiento estadístico de las bases de datos se realizó con R Studio versión 4.0.5. El desarrollo de R comenzó a principios de la década de 1990. Fue iniciado por George Ross Ihaka y Robert Gentleman y desde sus inicios ha tenido éxito, convirtiéndose en poco tiempo en el estándar para el análisis de datos en universidades, muchas empresas y autoridades públicas. Como solución de código abierto, R no requiere licencia y se ejecuta en cualquier sistema operativo (Kronthaler & Zöllner, 2021).

R Studio es un proyecto disponible gratuitamente, que combina los diversos componentes de R (consola, edición de código fuente, gráficos, historial, ayuda, etc.), en un banco de trabajo productivo y sin interrupciones (Allaire, 2011). El propósito de RStudio es desarrollar una herramienta poderosa, que soporte las prácticas y técnicas requeridas para proporcionar un análisis de alta calidad y confiabilidad, a partir del procesamiento de un conjunto de datos (Verzani, 2011).

Es un entorno utilizado ampliamente para modelado y simulación, y para comparar métodos modernos de clasificación estadística con, por ejemplo, redes neuronales. Además de las técnicas estadísticas clásicas, gráficas y modernas en la biblioteca básica R y los paquetes complementarios, también dispone de paquetes para el análisis de patrones de puntos, geoestadística, análisis exploratorio de datos espaciales y econometría espacial (Bivand & Neteler, 2000). Permite la combinación de R y LaTeX, para crear documentos

por Sweave, así como el uso de algunas herramientas como los “entornos de desarrollo integrados” (IDE), que pueden ser de apoyo durante el trabajo diario y otros productos de software, que son comunes en entornos de la vida real. De este modo R no sólo se utiliza en la actualidad para analizar datos, sino también para generar conocimiento para empresas e instituciones que puedan incluir en sus decisiones comerciales (Endel & Filzmoser, 2012).

2.9.3. Recursos Geomáticos

El procesamiento de imágenes satelitales se realizó con GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), el cual es un sistema de información geográfica de código abierto y propósito general. Desde sus inicios en 1982, el software ha evolucionado constantemente hasta convertirse en uno de los más completos. GRASS es un conjunto de módulos diseñado para facilitar el análisis rápido de datos en formato ráster, vectoriales y tabulares. Son módulos diseñados para ser robustos y eficientes en la realización de una tarea específica. El análisis espacial en GRASS, se realiza generalmente mediante la vinculación de varios módulos, ya sea directamente a través una construcción del sistema operativo, que se utiliza para pasar datos entre procesos, o indirectamente a través de archivos intermedios. Cada uno de los módulos espera una pequeña cantidad de argumentos de línea de comando, y devuelve un nuevo archivo de datos espaciales (ráster, vector, etc.), o modifica un mapa existente o una tabla de atributos in situ (Neteler et al. 2008).

Otra ventaja de GRASS es su integración con R Studio. Los componentes de los sistemas de información geográfica involucrados en la integración con el análisis de datos y los entornos de programación estadística son: recuperación de almacenamiento de datos y gestión de bases de datos, manipulación y análisis de datos, visualización y generación de productos. La información clave necesaria para establecer la interfaz, es que GRASS

considera su entorno de trabajo como base, asignando valores a las variables que son utilizadas por los programas sucesivos de GRASS. Estos nombran la ubicación actual y el conjunto de mapas, y estos a su vez apuntan a la sesión y los metadatos predeterminados en la extensión regional de la ubicación y la resolución de ráster, almacenados de forma fija en la base de datos de GRASS, una colección de directorios bajo la ubicación actual, facilitando el uso del entorno de trabajo de GRASS en el que se inició R (Bivand & Neteler, 2000).

Como herramienta geomática de apoyo se utilizó QGIS, el cual es un Sistema de Información Geográfica usado para explicar y analizar datos espaciales, teniendo además la capacidad de interactuar con el paquete estadístico R. Esta conexión brinda la posibilidad de realizar un análisis descriptivo de datos espaciales desde QGIS, y luego programar con R para efectuar un análisis inferencial de dichos datos (Cabrero Ortega & García Pérez, 2022).

2.9.4. Metodologías

Se utiliza la metodología propuesta por la FAO para la evaluación rápida de recursos naturales, que consiste en un módulo integrado a una hoja de cálculo Excel, utilizado para evaluar el potencial que tiene la biomasa derivada de la producción de cultivos y de los residuos agrícolas y forestales para la producción de bioenergía. El resultado es una indicación inicial de las cantidades de materia prima disponible a nivel de país, teniendo en cuenta la competencia de usos para los residuos agrícolas, entre los cuales se identifica la alimentación y el mantenimiento animal, la construcción, la industria u otros (Food & of the United Nations, 2014). Aunque está diseñada para conocer la cantidad de residuos disponibles para la producción de bioenergía, su aplicación es adecuada en la

determinación de biomasa utilizable en la producción de bioplástico.

También se utilizó la metodología descrita por la FAO, para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la agricultura, la cual es una herramienta utilizada para ayudar a identificar, construir y acceder al conjunto mínimo de datos de actividad, necesarios para la estimación de GEI (Food & of the United Nations, 2015). Aunque presenta una descripción metodológica para el cálculo de GEI generados por diversas fuentes en actividades de agricultura, silvicultura y uso de la tierra, sólo se utilizó la sección referente a los GEI producidos por combustión de residuos agrícolas.

Capítulo III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

3.1.1. Variable dependiente

- Producción de bioplásticos

La producción de bioplásticos surge como una respuesta a la problemática ambiental causada por los plásticos sintéticos. Estos captan la mayor atención en el mercado, por cumplir con los requisitos básicos de las evaluaciones del ciclo de vida, para su adecuada eliminación. La mayoría de los bioplásticos reportados hasta la actualidad son el ácido poliláctico, los polihidroxialcanoatos y el almidón termoplástico (Thakur et al. 2018).

Los plásticos de base biológica se clasifican en tres categorías: polímeros naturales modificados, polímeros de base biológica sintetizados a partir de monómeros de base biológica y bioplásticos a partir de desechos. Se obtienen a partir de fuente vegetal (diversos tipos de plantas y sus residuos), animal (plumas, huesos, pieles, exoesqueleto), además de algunas bacterias y algas (Onen Cinar et al. 2020; Rajendran et al. 2012; Riera & Palma,

2018).

Los métodos de producción de bioplásticos, pueden clasificarse en cinco grupos según el origen de la materia prima y la tecnología de producción: 1) Extraídos directamente de la biomasa; 2) producidos por organismos naturales o modificados genéticamente; 3) sintetizados a partir de monómeros de base biológica; 4) sintetizados a partir de productos petroquímicos; 5) producidos mediante la combinación de tecnologías y polímeros ya mencionados (Jōgi & Bhat, 2020). Cada uno de estos incluyen una serie de operaciones, para la transformación de la materia prima y posterior purificación. Adicionalmente, se necesitan pretratamientos de la biomasa, para alcanzar mayores rendimientos en los procesos.

La producción mundial de bioplásticos, está alcanzando anualmente nuevas cuotas de participación en el mercado. De continuar esta tendencia, se favorecería la reducción en la dependencia de los recursos fósiles, la transición hacia una sociedad de base biológica y el logro de la economía circular. No obstante la producción de bioplásticos en relación a los petroplásticos tiene una desventaja económica, puesto que resulta mucho más costoso producir un plástico biobasado y biodegradable, si se compara con uno de origen fósil. Por ejemplo, la producción industrial de PHA es entre 5 a 10 veces más costosa, que la obtención de polímeros derivados del petróleo (Jōgi & Bhat, 2020).

Para hacer frente a esta desventaja, se ha planteado la implementación de una plataforma de biorrefinería basada en el aprovechamiento de residuos alimentarios, con los cuales obtener productos de valor agregado a la vez que se contribuye con la reducción de residuos que representan una problemática ambiental. Con esta propuesta se pretende reducir los costos de producción de los bioplásticos, si se compara con las rutas convencionales de producción donde se utilizan sustratos puros con alto valor económico (Tsang

et al. 2019).

Dentro de este contexto, se considera la obtención de bioplásticos a partir de residuos de origen agroindustrial en un marco de bioeconomía. Se concibe la producción de dos tipos de bioplásticos: almidón termoplástico y ácido poliláctico. Se contabilizan la cantidad total producida (Tn/año) en función de la cantidad de residuo utilizado (Tn/año); siendo este último cualquier tipo de residuo agroindustrial que cumpla con las características establecidas para ser utilizado como materia prima en el proceso señalado.

Para garantizar la adecuada selección del residuo, se desarrolla una metodología basada en análisis multicriterio para la toma de decisiones junto con técnicas de georeferenciación. Los resultados alcanzados, se consideran información de entrada para la optimización de los costos logísticos asociados, además de los generados por emisión de CO_2 equivalentes durante el traslado de toneladas de residuo por km recorrido, a propósito de reducir la huella de carbono.

Al respecto existen investigaciones donde se ha analizado el ciclo de vida del proceso de producción de bioplástico y en general, se reporta que los factores de emisión de CO_2 más altos se encuentran en China y la UE, dadas las exigencias de consumo generadas por el mercado, la estructura comercial y las importaciones requeridas para llevar a cabo el proceso. La UE en promedio presenta un factor de emisión de 10.405 kg CO_2 , *equivalente*/tonelada y tanto para China como la UE, los valores oscilan entre kg CO_2 , *equivalente*/tonelada, con un valor medio de 6.620 kg CO_2 , *equivalente*/tonelada (Escobar & Britz, 2021).

De manera similar, al estimar los costes logísticos y las correspondientes emisiones de GEI en la ubicación de plantas de biomasa, se obtuvieron costos unitarios de traslado de residuo entre 21 y 27 €/tonelada. Mientras que las emisiones de GEI por conceptos

logístico oscilaron entre 9 y 28 g CO_2 equivalente, con distancias mínimas y máximas de transporte de ida y vuelta de 40 y 86 km, respectivamente (Delivand et al. 2015). Los resultados señalados, sirven como referencia para la investigación en curso.

3.1.2. Variables independientes

- Disponibilidad de residuos agroindustriales: Mide la cantidad de residuos agroindustriales disponibles, para ser utilizados como materia prima en el proceso de producción de bioplásticos.
- Compuestos presentes en los residuos: Hace referencia a la composición de los residuos analizados, específicamente a los polisacáridos presentes que pueden convertirse en azúcares fermentables para la obtención de bioplásticos y coproductos generados; además de la presencia de almidón que puede transformarse en TPS.
- Mano de obra capacitada en el área de biotecnología: Considera la cantidad de profesionales disponible en el país, que pueda participar como mano de obra capacitada en el diseño o desarrollo operativo del proceso de biorrefinación para la producción de bioplásticos.
- Estructura legal para el desarrollo de la bioeconomía: Aborda el marco legal existente en el país, que propicia y favorece el desarrollo de bioprocesos en el país, en un marco de bioeconomía y economía circular.
- Infraestructura tecnológica: Corresponde al número de instalaciones registradas en el país como biorrefinerías de primera, segunda o tercera generación. Considera además, la existencia de biorrefinerías que se dediquen a la producción de bioplásticos.

Una descripción más detallada de las variables, se dará en el punto 3.2 del documento.

3.2. Operacionalización de variables

Cada variable considerada en el estudio fue evaluada en diferentes dimensiones, con escalas cualitativas o cuantitativas según las características de cada una de estas. Investigaciones previas señalan que algunas de estas guardan cierto grado de correlación. Entre ellas se encuentran: distancia de la biomasa al punto de uso (DB), limitaciones de las políticas estatales (LP), disponibilidad de transformación (DT), calidad de biomasa (CB), homogeneidad de biomasa (HB), precio de biomasa en el mercado (PB), variabilidad de biomasa en términos de especies (VB), capital intelectual que permite a una organización transferir una colección de recursos materiales, financieros y humanos para crear valor en las partes interesadas (CI), adopción de conceptos de bioeconomía enmarcado en el concepto de sostenibilidad global (SG), innovación para el desarrollo de nuevos productos (ID) y rendimiento del nuevo producto (RD), en términos de ventas, beneficios y tiempo de mercadeo del nuevo producto (Tabla 3.1). La matriz de operacionalización de las variables de esta investigación, se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.1: Correlación de variables

	DT	HB	PB	VB	SG	RD	Referencias
DB	-	0,67	0,50	-	-	-	Valverde et al. (2021),
LP	0,11	-	0,49	-	-	-	Liu et al. (2005),
CB	-	-	-	0,72	-	-	Tiron-Tudor et al. (2018)
HB	-	-	0,66	0,25	-	-	
CI	-	-	-	-	0,66	-	
ID	-	-	-	-	-	0,78	
PB	-	-	-	0,55	-	-	

Tabla 3.2: Matriz operacional de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
Producción de bioplástico	Bioplásticos producidos a partir de biomasa residual de origen agroindustrial. Un bioplástico es cualquier plástico biobasado, biodegradable o que posee ambas características (European Bioplastics, 2018).	Mide la cantidad de bioplástico que se puede producir a partir de residuos de tipo agroindustrial.	Tipo de bioplástico ¿Se puede producir este tipo de bioplástico a partir de la biomasa seleccionada?	- Almidón termoplástico. - Ácido poliláctico. - Polihidroxialcanoatos.	Si No
			Volumen de producción ¿Cuánto bioplástico se produce por tipo?	Cantidad producida	Tn/año
Disponibilidad de residuos	Los residuos agroindustriales incluyen los provenientes de la agricultura y los generados en la industria durante la transformación de la materia prima (Mehariya et al. 2020).	Cuantifica los residuos agroindustriales disponibles.	Tipo de residuos ¿Qué cantidad de residuos se generan para los tipos identificados?	-Cantidad de residuos por tipo.	Tn/año
Compuestos presentes en los residuos	Los residuos agrícolas y agroindustriales están constituidos por carbohidratos, lípidos, polisacáridos, pigmentos y compuestos aromáticos, de utilidad en la producción de bioplásticos (Heredia-Guerrero et al., 2017; Panesar et al., 2015).	Identifica los compuestos presentes en cada tipo de residuo disponible.	Composición ¿Se registra la concentración de cada componente de interés en los residuos identificados?	-Concentración de azúcares fermentables. - Contenido de almidón.	mg/L
Mano de obra capacitada en el área de biotecnología	Se requiere personal operativo y de I+D+i. Amaro-Rosales & Robles-Belmont (2013), señalan que la biotecnología moderna es una actividad transdisciplinaria que requiere la colaboración entre disciplinas científicas y entre universidad y empresa.	Determina la existencia de mano de obra capacitada para el desarrollo de biotecnología y bioprocesos.	Personal capacitado ¿Existen programas de formación en el país, en las áreas de biotecnología y bioprocesos?	- Profesionales con tercer y cuarto nivel.	Si No

Tabla 3.2: (Cont.)

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
Estructura legal para el desarrollo de la bioeconomía	Marco legal que sustente el desarrollo bioeconómico en el país. La legislación y la percepción pública desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la biotecnología. La transición hacia la bioeconomía depende del esfuerzo y el entusiasmo de los expertos y de los responsables políticos, además de la aceptación y participación de la sociedad. (Woźniak et al. 2021)	Identifica el marco legal y aspectos relacionados para el desarrollo de bionegocios en el país.	Legislación ¿Existe un marco regulatorio que favorezca el desarrollo de bionegocios? Incentivo a la I+D+i ¿Existen incentivos para el desarrollo de bionegocios?	Existencia de leyes y reglamentos. - Fondos para investigación - Beneficios tributarios y arancelarios por inversión en el área. - Planes de desarrollo de bioregiones.	Si No
Infraestructura tecnológica	La tecnología necesaria para el funcionamiento de una biorrefinería donde ocurra la transformación de la biomasa en moléculas plataformas (building blocks), productos intermedios o finales. En una biorrefinería se emplean un conjunto combinado de tecnologías y rutas de conversión, para utilizar de forma sustentable la biomasa.	Determina la disponibilidad de infraestructura en el país, para el procesamiento de biomasa.	Biorrefinerías ¿Existen biorrefinerías en funcionamiento dentro del país?	- N° de biorrefinerías. - N° de planta piloto instaladas.	Si No

3.3. Hipótesis de la investigación

3.3.1. Hipótesis explicativa

De la aplicación del método (framework) que se ha desarrollado para la investigación de casos reales y verificación de casos exitosos registrados en la literatura, se postula que con el método MCDM sumado a los GIS es posible establecer patrones que siguen los pequeños emprendimientos que han sido exitosos.

Por lo tanto el uso de un algoritmo como el utilizada por la FAO, permitiría construir un método que basado en relevamiento de imágenes satelitales y un reducido trabajo de verificación en campo, proporcione los datos de requerimiento logísticos necesarios para escalar esos factores clave de éxito de las empresas pequeñas, hasta niveles de producción que aprovechen las economías de escala que una o más biorrefinerías podrían aportar, para tener un impacto registrable en el producto interno bruto y/o producto bruto geográfico de los países de América Latina y Caribe.

3.3.2. Hipótesis de generalización

Los resultados obtenidos tanto en la investigación preliminar como en lo registrado en este trabajo, es muy promisorio como para extender el modelo (framework) a la industrialización de otros productos de origen agropecuario (o M.O.A. como los denomina la CEPAL). Pero esta hipótesis de generalización requeriría un trabajo que excedería el tiempo impuesto en el plan de tesis y se deja abierta esta línea de investigación para que otros tesisas lo lleven a otros terrenos distintos a los de los biopolímeros y bioplásticos.

3.3.3. Limitaciones y alcance

También es posible utilizar el framework en modo inverso. Esto es que en lugar de partir de casos exitosos se identifiquen los patrones de comportamiento con un algoritmo, y alimentarlo con experiencia de un sector industrial y con ello, predecir si será un caso de fracaso o éxito. Pero esta generalización limitada, sólo es prudente aplicarla al sector de bioplásticos obtenidos de residuos de agroindustria.

Capítulo IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

Debido a la complejidad del problema abordado, el trabajo realizado corresponde a una investigación de naturaleza mixta, integrando así los enfoques cuantitativo y cualitativo respectivamente. Un estudio es cuantitativo, al utilizar los datos recolectados para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, buscando establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Por su parte una investigación es cualitativa, al emplear la recolección y el análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación (Hernández-Sampieri et al. 2014).

Tiene además un alcance descriptivo, de corte transversal y experimental. Es descriptivo dado que busca especificar propiedades y características del problema a analizar, describiendo las tendencias de la población. Es de corte transeccional o transversal por utilizar datos recolectados en un tiempo único, con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. A su vez, se considera un estu-

dio experimental, por construir el contexto y manipular de manera intencional la variable independiente, para observar el efecto de esta manipulación sobre la variable dependiente (Hernández-Sampieri et al. 2014).

4.2. Diseño de la investigación

En el contexto del tipo de investigación, se diseñó una metodología conformada por cuatro etapas (Figura 4.1), donde se incluyó el uso de herramientas orientadas al cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación.

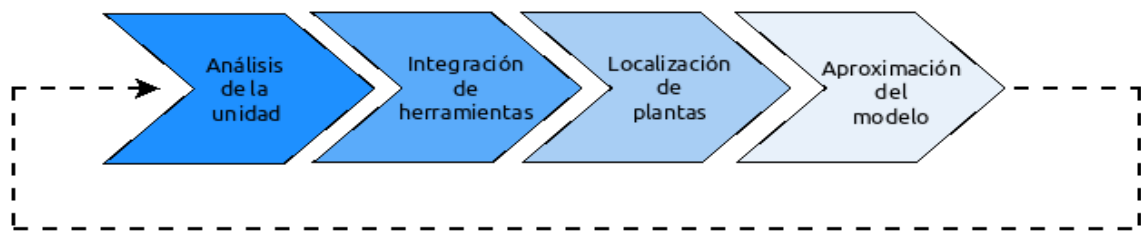


Figura 4.1: Etapas de la metodología de la investigación.

Análisis de la unidad: Se llevó a cabo con el propósito de identificar la ubicación de los desechos agroindustriales generados en las comunidades agrícolas del Ecuador. Para ello se siguieron los pasos que se mencionan:

- Analizar la producción agroindustrial del país en los últimos años.
- Estimar la producción agroindustrial para cada rubro.
- Calcular la cantidad de residuos generados por cada tipo.
- Ubicar geográficamente los puntos de generación de los residuos identificados.

Integración de herramientas: En esta etapa se establecieron los criterios de evaluación para la selección adecuada de desechos agroindustriales generados como materia prima en la producción de plásticos biodegradables, a través de la integración de sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de análisis multicriterio. Atendiendo al procedimiento empleada por (Khodaparast et al. 2018; Marinoni, 2004), se establecieron los siguientes pasos:

- Definir el objetivo del análisis multicriterios.
- Seleccionar los criterios y subcriterios para el desarrollo de la estructura jerárquica de decisiones.
- Identificar las partes interesadas y discusión con los expertos.
- Recopilar y preparar los datos obtenidos respecto a los criterios de evaluación. Incluye georreferenciación para el conjunto de criterios seleccionados, digitalización y análisis de datos.
- Emplear la metodología AHP para especificar la alternativa más preferida.
- Realizar el análisis de sensibilidad para comprobar la influencia de los pesos en los resultados.

Localización de plantas: A partir de los resultados obtenidos en la etapa anterior, se aplicaron métodos de clusterización para definir la posible localización de las biorrefinerías destinadas a la revalorización de los residuos con mayor potencialidad de ser aprovechados. Para ello se consideró:

- Extracción de coordenadas geoespaciales a partir de mapas vectoriales.

- Determinar número recomendado de grupos (clúster).
- Clusterización de residuos para la instalación de centros de procesamiento.
- Determinar la ubicación de las biorrefinerías para el mínimo costo de transporte.
- Optimizar el proceso de selección de residuos.

Aproximación del diseño: Finalmente se plantea el desarrollo de una propuesta para el proceso de biorrefinación requerido en la producción de bioplásticos del caso de estudio, empleando los resultados obtenidos previamente al integrar SIG y análisis multicriterios. Esta etapa contempla:

- Diseñar las propuestas de esquemas tecnológicos de biorefinación.
- Simular los esquemas de biorrefinación diseñados.
- Calcular los costos asociados al proceso.
- Contrastar los resultados obtenidos para cada propuesta.

4.2.1. Método Hipotético Deductivo

A nivel global se aplicó el método hipotético-deductivo, cuyo camino lógico busca comprobar la hipótesis propuesta para el problema planteado, juzgando su validez a través de su poder explicativo, predictivo, la precisión de las explicaciones y las predicciones, la precisión de las explicaciones y predicciones, la convergencia de pruebas variadas e independientes y el apoyo mutuo entre teorías (Cegarra-Sánchez, 2012).

Según Hernández-Sampieri et al. (2014), el razonamiento deductivo comienza con la teoría, y de ésta se derivan expresiones lógicas denominadas hipótesis que el investigador somete a prueba. El método hipotético deductivo busca definir un fenómeno que se

desea conocer, proponer varias hipótesis diferentes para explicarlo, deducir los resultados esperados de cada hipótesis, para luego contrastar las predicciones con las observaciones realizadas y por último descartar aquellas hipótesis cuyas predicciones no son avaladas por los datos y con ello eliminar las ideas incorrectas (Farji-Brener, 2007).

4.3. Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por todas las comunidades agrícolas de América Latina, mientras que la muestra seleccionada fueron las comunidades agrícolas del Ecuador, incluyendo sus cultivos en toda la extensión del país y principales centros de procesamiento. En este sentido, se espera que la metodología desarrollada, pueda replicarse en otros países de la región cuyas características geográficas, socio-económicas y productivas, sean similares al considerado en el estudio.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Técnicas de muestreo

La unidad de estudio estuvo conformada por todos los cultivos para cada rubro cultivable, además del total de empresas agroindustriales existentes en el Ecuador, por ser estos los puntos de generación de residuos agrícolas como biomasa disponible, para ser utilizada en la elaboración de bioplásticos.

Se seleccionó un 30 % de los rubros cultivables y de las empresas dedicadas a la agroindustria como elementos de la muestra (Arias, 2012). En primera instancia se aplicó el muestreo intencional o deliberado (López, 2004), para seleccionar aquellos cultivos y

empresas con mayor importancia económica para el país. Luego para los cultivos seleccionados se aplicó un muestreo estratificado desproporcionado, el cual implicó la selección al azar de una muestra dentro de cada estrato y donde el tamaño de muestra de cada estrato, es proporcional a su tamaño relativo y a la desviación estándar de la distribución de la característica de interés entre todos los elementos del estrato (Rosendo Ríos, 2018; Walpole et al. 2012). Los estratos se definieron, de modo que estuvieran constituidos por cada una de las provincias del país.

En este caso, se consideró un 40 % del total de los residuos agrícolas priorizados en el AHP, para utilizar su información como dato de entrada en la optimización multiobjetivo y tomarlos como dato de entrenamiento del modelo planteado. En los modelos de aprendizaje automático se trabaja con distintas proporciones para la segmentación de datos, siendo una de ellas 40:20:40 (conjunto de entrenamiento: conjunto de validación: conjunto de prueba), razón por la cual se estableció como parámetro de muestra en esta investigación (Kelleher & Tierney, 2021).

Asimismo, se aplicó un muestreo intencional para seleccionar el panel de expertos que participó en la evaluación multicriterios. La determinación del número de expertos se realizó utilizando criterios basados en la distribución binomial de probabilidad, teniendo en cuenta que el mismo debe estar conformado entre 7 y 15 personas para mantener un nivel de confianza y calificación elevado (Gómez Montoya et al. 2007).

4.4.2. Recopilación de datos

Se tomaron datos de fuentes primarias, secundarias y series temporales. Las fuentes primarias son datos obtenidos mediante encuestas directas, a través de la utilización de cuestionarios u observación directa. Las fuentes secundarias proviene de publicaciones, los

cuales pueden reproducirse de forma parcial o total. Por último, las series de tiempo es información obtenida y ordenada de forma cronológica, a medida que se produce a través del tiempo (Martínez Bencardio, 2012). Toda la información utilizada corresponde a las comunidades agrícolas del Ecuador, por ser el caso testigo considerado en el estudio. La misma se tomó de fuentes oficiales del Estado o se obtuvo gracias a la participación de expertos en el área pertenecientes al país.

4.4.3. Procesamiento

Se utilizó R Studio versión 4.0.5 y sus librerías para el análisis estadístico de los datos. El procesamiento de los datos geoespaciales se realizó utilizando los softwares GRASS GIS versión 7.8.5, QGIS versión 3.20.22 y las librerías de análisis espacial de R Studio. Para la simulación de procesos químicos, se empleó SuperPro Designer versión 10.02.

4.5. Procedimientos de recolección de datos

Se utilizaron las cifras agroproductivas reportadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021b), respecto a los diferentes tipos cultivos producidos en el país en los últimos 60 años, la extensión territorial que ocupa cada uno y su producción anual. La información procesada permitió identificar los rubros con mayor producción y rendimiento, considerándolos como posibles materias primas para una biorrefinería de pequeña escala.

Del mismo modo, se utilizaron los registros del Directorio de Empresas y Establecimientos (DIEE) del visualizador de estadísticas empresariales del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, para conocer la cantidad de agroindustrias existentes en el país

hasta el año 2019, su volumen monetario en producción y ventas por año (INEC, 2015, 2019). En cuanto a la cantidad y tipo de residuos generados tanto en el cultivo como en el procesamiento de cada rubro, se consultó información bibliográfica especializada en el tema.

Para el proceso de jerarquía analítica se contó la participación de expertos en el área ambiental, biotecnología o bioeconomía, pertenecientes a países de LATAM. En la última etapa del trabajo de investigación, se utilizaron residuos generados en comunidades agrícolas ubicadas en la Provincia de Manabí, Ecuador, debido a la facilidad de acceso y cercanía respecto a la ubicación geográfica del autor.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

4.6.1. Análisis de la unidad

En esta etapa se hizo un análisis tanto de la situación agrícola, como de la actividad agroindustrial del país. Para conocer el estatus del sector agrícola, se consultó la producción de los principales cultivos del país, desde el año 1961 y hasta el año 2020. Para ellos se emplearon dos fuentes: La información oficial reportada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) para la producción agrícola del Ecuador desde el año 1961 al 2001 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018) y el registro actualizado para Mayo 2020 del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) del país, que contiene los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) para la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) para los años 2002 a 2020 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021b).

La información procesada permitió identificar los rubros con mayor producción y rendimiento, considerándolos como posibles materias primas para una biorrefinería de pequeña escala. La ubicación geográfica tanto de los principales cultivos, como de centros de procesamiento se realizó a partir de la información publicada en el geoportal del MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021a). En la representación geográfica realizada se exceptuó la región insular del país, debido a que en la misma no existen comunidades agrícolas registradas.

4.6.2. Predicción de la producción agroindustrial

La producción agroindustrial se estimó usando el método de media móvil integrada autorregresiva (ARIMA), siguiendo lo recomendado por Box y Jenkins respecto al número mínimo de observaciones para una serie temporal de este tipo, la cual debe contener como mínimo 50 datos (Chávez Quisbert, 1997). Se empleó así el registro histórico de producción agrícola del país, de los años 1961 a 2020. Los datos respectivos fueron sometidos a un análisis exploratorio, luego fueron convertidos a estacionarios y transformados con el propósito de eliminar la tendencia, de modo que pudieran ser tratados y utilizados para estimar la producción de los cinco años siguientes (2021 a 2025). Para el periodo evaluado, se destacan los eventos climáticos de El Niño de 1982-83, 1997-98 y en años posteriores, que causaron daños significativos a la agricultura del Ecuador. De igual modo, el incremento en la temperatura y las variaciones en el nivel de precipitaciones como consecuencia del cambio climático, han afectado la actividad agrícola en algunas zonas del país (CEPAL, 2013; Toulkeridis et al. 2020).

Para realizar la elección del orden del modelo (p,d,q), se utilizó la función *auto.arima* de la librería *forecast* del software R Studio, la cual dispone de algoritmos de pronóstico

automático para series de tiempo univariadas. Se tomaron las pruebas de raíz unitaria y el Criterio de Información de Akaike (AIC) expresado según la ec. (4.1), el cual es un estimador que predice el error relativo de la calidad de un modelo desarrollado para un conjunto de datos (Hyndman & Khandakar, 2008).

$$\text{AIC} = L * (\hat{\theta}, \hat{x}_0) + 2q \quad (4.1)$$

Donde q es el número de parámetros en θ más el número de valores libres en x_0 , y tanto $\hat{\theta}$ como $\hat{x}_0$ denotan las estimaciones de θ y x_0 . El AIC puede seleccionar entre los tipos de error cuadrático medio (MSE) o el error porcentual absoluto medio (MAPE), dado que se basa en la probabilidad más que en los pronósticos de un paso. Finalmente, se selecciona el modelo que minimiza el AIC entre todos los que son apropiados para los datos (Hyndman & Khandakar, 2008).

En cuanto a la agroindustria, se consultaron datos concernientes a volúmenes de ventas, producción total y precios para cada rubro ofertado. La producción anual para la agroindustria entre los años 1998 a 2015, se obtuvo de los datos históricos del INEC (INEC, 2015). Para los años 2016 a 2020, se calculó a partir de los índices de volumen de producción por actividades, reportados por el INEC para la industria manufacturera (INEC, 2020b). Los volúmenes de ventas en unidades monetarias se consultaron en el DIIE del visualizador de estadísticas empresariales del INEC, para los años 2009 a 2020 (INEC, 2019). Las cantidades monetarias, fueron transformadas a unidades empleando los precios de venta de commodities del banco mundial y FAO respectivamente (FAO, 2020b; Group, 2021).

4.6.3. Estimación y ubicación de residuos generados

La estimación de los residuos agrícolas se hizo según el método BEFS RA de la FAO, (2014). El mismo parte de la tasa de generación de residuos (RGR), que se define como la relación -en base seca- entre el peso del residuo producido y el peso total del producto principal del cultivo (Araújo et al. 2018). El método se aplicó para los cultivos y productos de la agroindustria con mayor importancia económica para el Ecuador, a fin de determinar la cantidad de biomasa disponible por concepto de residuos (ec. 4.2).

La producción total de residuos (PTR), es el resultado del producto del rendimiento agrícola estimado (RAE), la superficie sembrada (SS) y la RGR. La cantidad de residuos potencialmente disponibles (RPD), se obtiene al sumar el PTR con la cantidad de residuos que son quemados en el campo después de la cosecha y que podrían utilizarse (RQ) y posteriormente se reduce lo correspondiente a la cantidad que se deja en el campo para la fertilidad y estabilidad del suelo (RC), además de lo destinado a otros usos (ROU) (ec. 4.3).

$$PTR = RAE * SS * RGR \quad (4.2)$$

$$RPD = PTR + RQ - RC - ROU \quad (4.3)$$

Cuando los residuos provienen de la cosecha, la metodología definida por la FAO establece por defecto un 25 % y 10 % del PTR, para calcular las cantidades de residuos que se dejan en el campo y son quemadas respectivamente. Para los residuos generados en la planta de procesamiento, el valor predeterminado es del 0 % en ambos casos. Dado que en el país no existe un registro oficial de la cantidad de residuos agroindustriales que

se utilizan en la actualidad, se asume que un 10 % de estos se destinan a diversos usos. Por último, relacionando la cantidad de residuos producidos y la superficie sembrada, es posible encontrar el rendimiento en producción de residuos (ec. 4.4).

$$RR = \frac{PTR}{SS} \quad (4.4)$$

La ubicación de los residuos se hizo siguiendo un procedimiento conformado por cinco etapas (Figura 4.2), usando información geográfica suministrada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería para la estimación de superficie cultivada en los años 2019 y 2020 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021a). La información cartográfica del país en cuanto a su extensión territorial y distribución cantonal del mismo, se tomó del Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) del Ecuador (Secretaría Técnica de Planificación. Sistema Nacional de Información, 2014). El procesamiento espacial se realizó integrando el sistema de información geográfica GRASS GIS 7 y las herramientas de análisis espacial de R Studio.

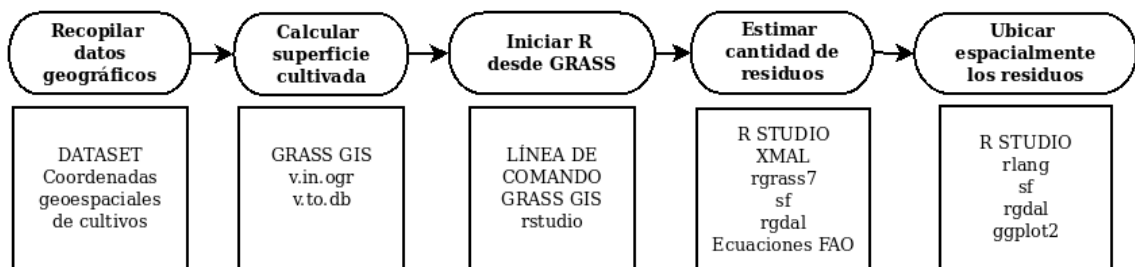


Figura 4.2: Procedimiento para la estimación y ubicación de residuos

4.6.4. Integración de herramientas

En esta etapa se integraron métodos de evaluación y decisión multicriterio, con sistemas de información geográfica. El análisis multicriterios se realizó siguiendo la meto-

dología descrita por Saaty para el AHP y se combinó con lógica difusa para reducir la subjetividad del juicio humano durante la ponderación multicriterios (Herrera Umaña & Osorio Gómez, 2006; Saaty, 2008). Los criterios y subcriterios de decisión (Tabla 4.1), se establecieron considerando lo reportado en investigaciones donde se aplicó el método de evaluación AHP para seleccionar biomásas agrícolas destinadas a la elaboración de bioproductos, o para escoger la ubicación de biorrefinerías encargadas de generar bioenergía (Andriana, 2014; Khodaparast et al. 2018; Mandegari et al. 2017; Rodríguez et al. 2017; Sanaei et al. 2018). Una descripción detallada de cada criterio evaluado se presenta a continuación.

Tabla 4.1: Criterios y subcriterios del modelo de decisión

Criterios	Subcriterios
C1: Disponibilidad del residuo	SC1: Cantidad existente (concentración alta, media o baja). SC2: Competencia de uso. SC3: Composición y compatibilidad.
C2: Industrialización	SC1: Facilidad de uso (tecnología disponible). SC2: Método de procesamiento (físico, químico, biotecnológico). SC3: Consumo energético requerido.
C3: Impacto social - ambiental	SC1: Comunidades cercanas a la ubicación del residuo. SC2: Sostenibilidad en el uso de residuos (GEI). SC3: Leyes y normativas que promuevan el uso de residuos.
C4: Geomorfológico	SC1: Vías terrestre accesibles (logística y transporte). SC2: Pendientes en la ubicación del residuo. SC3: Zona de fallas en la ubicación del residuo.

- Disponibilidad del residuo: Contempla la cantidad de residuos disponibles para ser utilizado en una biorrefinería en la obtención de bioproductos, la competencia de uso y la compatibilidad que tiene el residuo para el fin esperado, considerando su composición (celulosa, hemicelulosa, lignina).
- Industrialización: Hace referencia a la facilidad de uso en cuanto a tecnología dis-

ponible en las biorefinerías o industrias en la actualidad para utilizarla en distintos procesos de transformación (físicos, químicos, biotecnológicos). Considera además el consumo energético para el procesamiento (alto o bajo), obtenido a partir del potencial energético del residuo para autoabastecerse y la economía del proceso.

- Impacto social - ambiental: En la parte social aborda el impacto causado sobre las comunidades cercanas donde se ubique la biorrefinería, respecto a la generación de empleos y oportunidades de desarrollo que se brinden a la zona. Por tal razón, se consideró la cantidad de centros poblados cercanos a la ubicación de los cultivos y complejos agroindustriales del país. Lo ambiental considera la sostenibilidad de uso de los residuos, como una alternativa para la disminución de emisiones de CO_2 y gases con efecto invernadero. En este punto se calculó la cantidad equivalente de dióxido de carbono ($CO_{2,equiv}$) que se generaría, en caso de que se quemaran todos los residuos agroindustriales disponibles para ser utilizados como materia prima. Esto se determinó usando la metodología para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura descrito por la FAO (Food & of the United Nations, 2015), específicamente para combustión de residuos agrícolas (ec. 4.5).

$$E = A * EF \quad (4.5)$$

Donde E son las emisiones GEI en unidades de g CH_4 y g N_2O , A representa la cantidad total de biomasa quemada en kg de materia seca por lo que se tomaron los valores de residuos potencialmente disponibles (RPD) calculados en la etapa anterior de la investigación. EF son los factores de emisión del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) expresados en g CH_4 /kg de materia seca y g N_2O /kg de

materia seca, cuyos valores son 0,07 y 2,7 g/kg de materia seca quemada para el N_2O y CH_4 respectivamente. Por último, se utilizó el potencial de calentamiento global para un horizonte de 100 años (PCG) del CH_4 (21) y N_2O (310), para convertir los Gg formados a Gg de $CO_{2,equiv}$.

Dentro de este ítem se incluyó además, la importancia que tiene el disponer de regulaciones (leyes y normativas) por parte del Estado, para el uso, procesamiento y disposición de los residuos comparados.

- Geomorfológico: Aborda la accesibilidad al punto de generación del residuo (logística y transporte), así como pendientes presentes en la ubicación del residuo. Se incorporó el análisis geográfico, a través de la construcción de mapas vectoriales para las comunidades agrícolas estudiadas, la existencia de pendientes y su acceso a carreteras y vías disponibles. Se empleó el mapa de redes viales del país editado por el Ministerio de Agricultura del país para los mapas de accesibilidad, así como el mapa geomorfológico suministrado por dicha institución para evaluar la elevación del terreno y presencia de pendientes (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016). Para comparar el riesgo sísmico existente en la ubicación de los cultivos y agroindustrias, se empleó el mapa sísmico del país suministrado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (Instituto Geofísico Militar, 2022).

Las alternativas de decisión, fueron cada uno de los residuos generados por los principales rubros tanto agrícolas como agroindustriales del país. Pese a que existen investigaciones de evaluación multicriterios para seleccionar biomásas agrícolas, donde consideran como opción el rubro agrícola; en este trabajo se distinguieron cada uno de los residuos debido a las diferencias existentes entre sí en cuanto cantidades disponibles, composición, competencia de uso, entre otros.

Con la información de los criterios, subcriterios y alternativas de decisión, para la selección de residuos agroindustriales, se construyó un instrumento de evaluación, que se compartió vía electrónica a un panel de expertos conformado por 7 investigadores adscritos a universidades e institutos de investigación ubicados en Venezuela, Colombia, Chile, Brasil y Ecuador. Con la ponderación dada por cada uno de ellos, se utilizó el método de agregados individuales y la media geométrica ponderada, para construir las matrices de evaluación, a objeto de garantizar las condiciones de homogeneidad y reciprocidad al aplicar el AHP-Fuzzy (Basak & Saaty, 1993; Mendoza et al. 2019).

Como último paso se realizó un análisis de sensibilidad del resultado obtenido, para evaluar los cambios presentados al variar los pesos de los criterios y con ello verificar la solidez de los resultados (Cuadrado et al. 2017). En este análisis de sensibilidad, el peso de cada criterio se cambió entre 0 y 1 y se calcularon nuevas puntuaciones alternativas, según lo expresado por Dogan (2021). Al modificar el peso de un criterio, los pesos de los criterios restantes se designaron en proporción a su importancia original y el peso total de los criterios en cada caso fue de 1.

4.6.5. Localización de plantas

Partiendo de los resultados obtenidos en el análisis multicriterios, se utilizó el método de clusterización K-means (K-medias) como una herramienta para determinar la posible localización de la planta. K-means es un algoritmo de agrupamiento particional basado en prototipos que intenta encontrar K agrupamientos que no se superpongan. Estos grupos están representados por sus centroides, que para un grupo, suele ser la media de los puntos en ese grupo.

El proceso de agrupación de K-means comienza con la selección de un centroide K

inicial, donde K se especifica por un usuario y se indica el número de grupos deseado. Cada punto es asignado al centroide más cercano y en cada colección de puntos asignados a un centroide forma un grupo. El centroide de cada grupo es actualizado en los puntos asignados para el grupo y se repite el proceso, hasta que ningún punto cambia en el grupo (Wu, 2012). Para un conjunto de datos $D = \{x_1, \dots, x_n\}$ que desea agruparse; K-means puede expresarse por una función objetivo que depende de las proximidades de los puntos de datos al centroide de los grupos, tal como se muestra en la ec. (4.6):

$$\min_{\{m_k\}, 1 \leq k \leq K} \sum_{k=1}^K \sum_{x \in C_k} \pi_x \text{dist}(x, m_k), \quad (4.6)$$

Donde π_x es el peso de x , n_k es el número de objetos de datos asignados al grupo C_k , $m_k = \sum_{x \in C_k} \frac{\pi_x x}{n_k}$ es el centroide del grupo C_k , K es el número de grupos establecidos por el usuario, y la función “dist” calcula la distancia entre el objeto x y el centroide m_k , $1 \leq k \leq K$, siendo la distancia euclidiana al cuadrado, $\|x - m\|^2$, la más utilizada tanto en la investigación como en la práctica.

Para determinar el valor óptimo para el hiperparámetro k al aplicar k-means, se utilizó el método del codo el cual usa los valores de la inercia una vez que se ha aplicado k-means con un número de n clúster. La inercia es la suma de distancias al cuadrado de cada punto del clúster a su centroide (Pertuz, 2022). Adicionalmente se empleó el coeficiente de Silueta, que consiste en una herramienta gráfica para representar una medida de como están agrupadas las muestras en los grupos (Mirjalili & Raschka, 2020).

K-means necesita como parámetros el dataset, el método de cálculo de distancias y alguno de los múltiples algoritmos con los cuales cuenta el paquete R. Para el método de distancias se utilizó Fermat-Weber para problemas de suma mínima, donde se requiere encontrar un punto en $\mathbb{R}^N$ que minimice la suma de las distancias euclidianas ponde-

radas de los puntos dados. Las distancias euclidianas ponderadas son componentes de costo asociados con las interacciones o flujos entre la nueva instalación y sus clientes (Brimberg, 1995). El problema de mínima suma resultante se formula según la ec. (4.7), donde $a_i = (a_{i1}...a_{iN})^T$ es la posición conocida del i -ésimo punto de demanda, $i = 1, ..., m$; $x = (x_1...x_N)^T$ es la posición desconocida de la nueva instalación; w_i es una constante de ponderación positiva que convierte la distancia entre la nueva instalación y el punto de demanda i en un costo, $i = 1...m$; y la distancia se mide por la norma euclidiana.

$$\text{minimize}_W(x) = \sum_{i=1}^m w_i \|x - a_i\| \quad (4.7)$$

El resultado obtenido en la clusterización, se viabilizó a través de una red vectorial siguiendo el procedimiento descrito por Bundala et al. (2019), para conocer la distancia existente entre la ubicación de los residuos respecto a cada clúster y los costos de transporte asociados al utilizar las vías de acceso disponibles para tal fin. Las coordenadas correspondientes a las ubicaciones de los principales residuos así como el análisis vectorial se realizó a través de GRASS GIS, mientras que el procesamiento del algoritmo K-mean se efectuó en R Studio a través de los paquetes y funciones señaladas en la Figura 4.3.

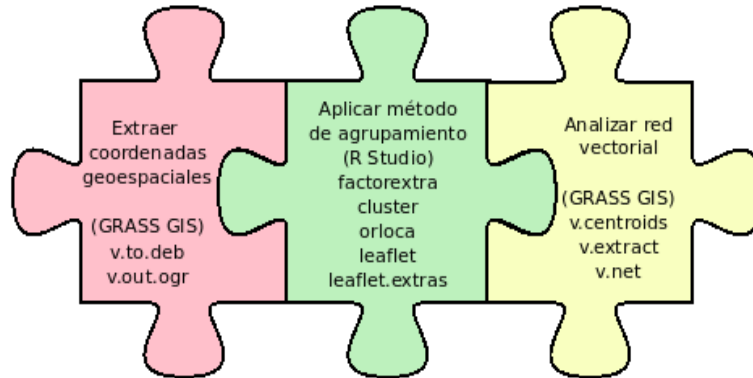


Figura 4.3: Procedimiento para localización de plantas

La librería *cluster* contiene el algoritmo k-means con la opción de trazar, validar, predecir (nuevos datos) y estimar el número óptimo de clúster (Mouselimis et al. 2022). Por su parte *orloca*, utiliza el método de Fermat-Weber para representar un problema de localización con un conjunto finito de puntos de demanda sobre el plano. También usa una función objetivo para representar la suma de los desplazamientos de los usuarios al servicio (Munoz-Marquez, 2020). La función *v.net*, se utiliza para crear una red vectorial a partir de líneas vectoriales y nodos, creando nodos a partir de intersecciones en un mapa de líneas vectoriales, conectando un mapa de líneas vectoriales con un mapa de puntos, y creando nuevas líneas entre pares de puntos vectoriales (Bundala et al. 2019).

Una vez finalizado el análisis de redes vectoriales, se procedió a optimizar el proceso de selección de residuo a través de programación multiobjetivo. Se utilizó el método de optimalidad de Pareto, con el cual se encuentra un conjunto de soluciones eficientes, no dominadas o soluciones óptimas de Pareto, en lugar de una única solución que satisfaga todos los objetivos (Branke et al. 2008).

El procesamiento de los datos se hizo con RStudio, usando el algoritmo NSGA-II el cual es un algoritmo de optimización multiobjetivo basado en métodos de programación evolutiva (Mendoza Baeza & Rojas Lago, 2009). Dentro de cada ciclo, NSGA-II utiliza un esquema de clasificación de Pareto para asignar un número de clasificación a cada individuo de la población. El NSGA-II se implementa en el paquete *mco* y está diseñado específicamente para la optimización multiobjetivo, basado en los conceptos de clasificación del frente de Pareto, elitismo y escasez (Cortez, 2014). Para ello se utilizó el paquete *nsga2R*, el cual proporciona funciones para la optimización multiobjetivo con restricciones de caja utilizando el algoritmo genético de clasificación no dominado elitista: NSGA-II (Arga, 2020; Ching-Shih & Ming-Chang, 2015).

El modelo matemático se desarrolló con el propósito de satisfacer dos funciones objetivo (ec. 4.8). La primera (f_1) orientada a minimizar los costos por selección de residuos (ec. 4.9), con restricciones para la cantidad máxima de residuos disponibles, el tiempo máximo de almacenamiento (ec. 4.10) y las de no negatividad. La segunda función objetivo (f_2), busca reducir los costos por emisiones de GEI ($CO_2equivalentes$) generados durante el transporte (ec. 4.11).

$$Z_{min}(f_1, f_2) \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} f_1(x) = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(D_{ij} * CT)] * (RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij}) + (RB_{ij} * CRB) \\ & + (RP_{ij} * CRP) + (RM_{ij} * CRM) + [(RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij}) * CP] \\ & + [(RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij}) * T_{ij}] * CA \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{cases} RB_{ij} \leq Db; & RP_{ij} \leq Dp; & RM_{ij} \leq Dm \\ T_{ij} \leq t_m \end{cases} \quad (4.10)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (D_{ij} * FE * CE) * (RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij}) \quad (4.11)$$

Donde:

i : centro de acopio de residuos i

j : biorrefinería j

D : distancia existente entre el centro de acopio y la biorrefinería (km)

RB : cantidad de residuos del banano a transportar (Tn)

RP: cantidad de residuos del plátano a transportar (Tn)

RM: cantidad de residuos del maíz a transportar (Tn)

T: tiempo de almacenamiento de los residuos (días)

CT: costo de transporte (\$/km)

CRB: costo del residuo del banano (\$/Tn)

CRP: costo del residuo del plátano (\$/Tn)

CRM: costo del residuo del maíz (\$/Tn)

CP: costo de preprocesamiento de los residuos (\$/Tn)

CA: costo del almacenamiento (\$/Tn.día)

CE: costo de emisión de $CO_2, equiv$ (\$/Tn)

Db: cantidad de residuos de banano disponible (Tn)

Dp: cantidad de residuos de banano disponible (Tn)

Dm: cantidad de residuos de banano disponible (Tn)

t_m : tiempo máximo de almacenamiento para los residuos (días)

FE: factor de emisión de $CO_2, equiv$ (kg $CO_2, equiv$ /TEU.km)

4.6.6. Aproximación del diseño

Con el propósito de revalorizar los residuos agroindustriales identificados, se propuso el diseño de una biorrefinería orientada a la producción de bioplásticos. Se plantearon 2 esquemas de producción, que consideran el uso de los residuos de forma individual. Las condiciones operacionales para los procesos de producción planteados, se tomaron de datos reportados bibliográficamente así como también de resultados obtenidos a nivel experimental para la producción de almidón termoplástico y ácido poliláctico.

Aunque el trabajo de investigación persigue la revaloración de los residuos agroindus-

triales para la producción de bioplásticos, esta etapa del estudio se realizó desde este punto de vista de biorrefinería integral en un contexto de economía circular. Por tanto, se planteó un diseño de biorrefinería que produzca múltiples productos a partir de los residuos seleccionados como materia prima, las metodologías de procesamiento adecuadas y la correcta integración en los productos y coproductos (Riera & Maldonado, 2021).

Luego cada uno de los esquemas de producción fueron simulados bajo condiciones operacionales establecidas, a fin de estimar la producción de la biorrefinería. Adicionalmente, se realizó una valoración económica a través del método de Peters, el cual parte del valor del equipo instalado para determinar los costos directos, indirectos y de capital circulante asociados con la planta (Peters et al. 2003). Los costos parciales de instalación de una biorrefinería, junto con los costos por logística de transporte calculados en la etapa anterior, permitieron evaluar la factibilidad económica que existe en instalar un complejo industrial de este tipo o varios en distintas localidades.

4.7. Resumen de resultados

El análisis de la unidad permitió identificar los rubros cultivables y las agroindustrias, con mayor importancia económica para el país. Un análisis de la oferta y demanda sirvió para conocer el comportamiento en el mercado de dichos productos, así como la volatilidad a la que se encuentran sujeto debido a factores macroeconómicos. Con un registro histórico de 60 años, se aplicó el modelo autorregresivo ARIMA para predecir la producción agrícola y agroindustrial de los próximos 5 años, lo cual a su vez sirvió para estimar la cantidad de residuos generados por rubro analizado. El proceso de jerarquía analítica difuso en conjunto con el análisis geográfico, se utilizó para ponderar las diferentes alternativas de selección a partir de cuatro criterios. El criterio y la alternativa con mayor ponderación

fue el impacto social - ambiental y pseudotallo de banano respectivamente.

Con el método de agrupamiento k-means se conoció que con la instalación de 3 biorrefinerías y 28 centros de almacenamiento temporal de los residuos, se recorre menor distancia durante los traslados de la materia prima (residuos) a los respectivos centros de procesamiento. La optimización multiobjetivo se empleó para determinar la cantidad óptima de residuos a transportar por cada traslado, de modo que la propuesta sea económicamente viable. Finalmente la simulación de los dos esquemas de biorrefinación, sirvió para definir las operaciones unitarias involucradas en cada proceso, además de estimar las cantidades de productos producidos y los costos asociados.

Capítulo V

RESULTADOS

5.1. Análisis de la unidad

Se identificaron un total de 37 rubros cultivables, que pueden cultivarse solos o asociados. Un cultivo es sólo cuando el área está sembrada o plantada con un solo tipo de cultivo, bien sea que esté en campo abierto o bajo invernadero. Por el contrario se considera que es asociado, cuando en el mismo terreno se encuentran en forma intercalada dos o más cultivos plantados (INEC, 2020a).

La mayoría de ellos registran producción desde el año 1961; excepto el mango, el brócoli y la soya, cuya producción data desde el año 2014; el palmito, la piña y la quinua, desde el año 2015 y los rubros aguacate, limón, orito, cebolla blanca, maní y tabaco, reportan información de producción desde el año 2016. Los cultivos con mayor variabilidad en la producción durante todos los años de producción son arroz, maíz duro seco, banano, palma aceitera y caña de azúcar, con varianzas entre $3,51 \times 10^{10}$ a $5,32 \times 10^{12}$ Tn. Aunque todos los productos tienen importancia comercial para el país, los que registran mayor producción en los últimos años son la caña de azúcar, el banano, la palma aceitera, el

arroz y el maíz duro seco. Una representación de la producción para los últimos 10 años se muestra en la Figura 5.1.

Respecto al sector manufactura se contabilizaron 74.265 empresas para el año 2019, de las cuales 3.753 realizan actividades económicas relacionadas al uso de materias primas agrícolas para su funcionamiento, que a su vez generan residuos de interés para el fin estudiado (INEC, 2019). La producción en unidad monetaria para la agroindustria durante los años 1989 al 2020, según su clasificación por código CIUU: Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas; elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal; elaboración de productos de molinería; elaboración de almidones y productos derivados del almidón; elaboración de azúcar; elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería; elaboración de otros productos alimenticios, destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas; elaboración de vinos; elaboración de bebidas malteadas y de malta; elaboración de productos de tabaco, se muestra en la Figura 5.2.

De acuerdo a esta clasificación, las industrias con mayor producción en los últimos años son las dedicadas a la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal, elaboración de productos de molinería, elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería y elaboración de otros productos alimenticios (salsas, sopas deshidratadas, condimentos, entre otros).

Para un análisis más detallado en la investigación, se escogió un 30 % de las comunidades agrícolas que conforman la unidad de estudio, correspondiente a 15 unidades experimentales (11 rubros agrícolas y 4 agroindustrias). Se aplicó un muestreo intencional, tomando como variables de selección la producción registrada, importancia económica de los rubros y disponibilidad de datos geoespaciales. De este modo se trabajó con los rubros cultivables: caña de azúcar, banano, palma aceitera, arroz, maíz duro seco, plátano,

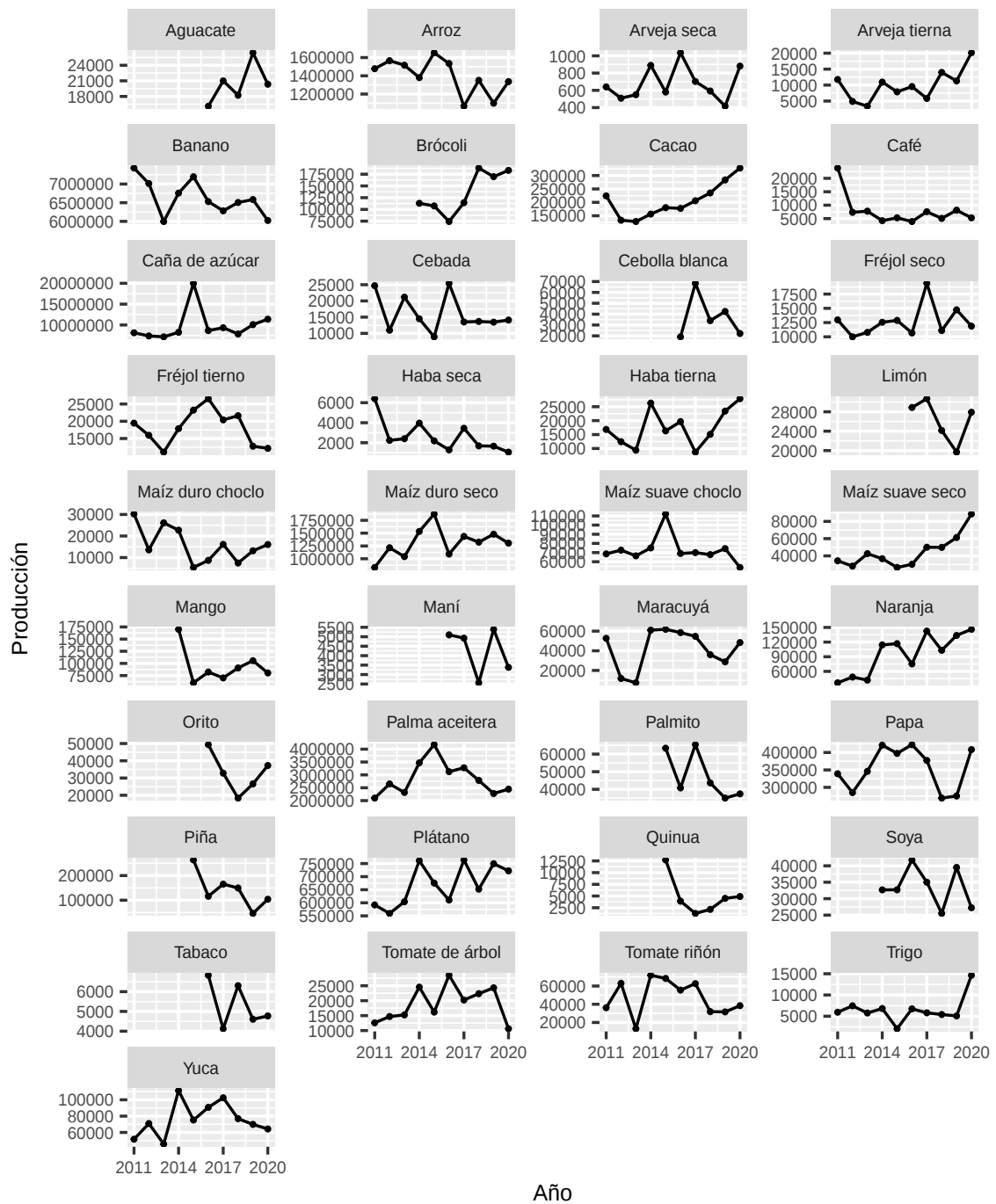


Figura 5.1: Producción agrícola del Ecuador entre los años 2011 - 2020.

Fuente: MAG (2021)

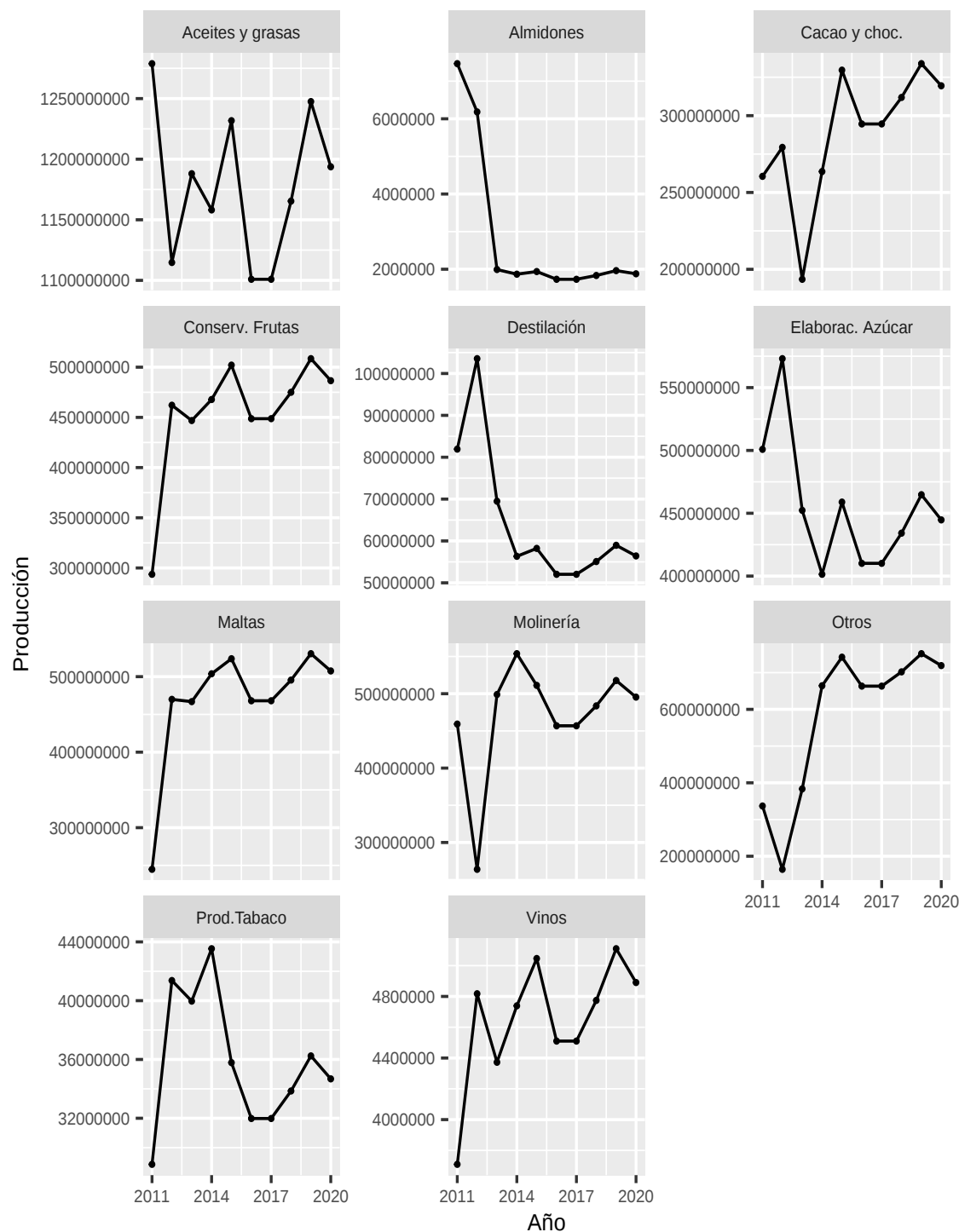


Figura 5.2: Producción de la agroindustria ecuatoriana entre los años 1999 - 2020.
Fuente: INEC (2021)

papa, piña, cacao, naranja y yuca (Figura 5.3). En cuanto a empresas, se seleccionaron las extractoras de aceite, ingenios azucareros, molinos empresariales y piladoras (Figura 5.4). La ubicación tanto de los cultivos como de las agroindustrias, permitió identificar los puntos de generación de los residuos agrícolas en el país. En total se ubicaron 98.598 áreas cultivadas para los rubros seleccionados y 572 de industrias, que en su mayoría son piladoras de arroz.

Con los datos disponibles de la producción, ventas y precios tanto de los productos cultivados como los ofertados por las agroindustrias seleccionadas, se realizó un análisis de la oferta versus la demanda. Los precios utilizados para la agroindustria, corresponden al valor promedio de los precios de comercialización de todos sus productos a nivel mundial (FAO, 2020b; Group, 2021; INEC, 2015). Usando las curvas de oferta vs. demanda de la agricultura (Figura 5.5) y de la agroindustria (Figura 5.6), se calculó el punto de equilibrio de las actividades agrícolas analizadas (Tabla 5.1). Los valores más altos se obtuvieron para los cultivos de caña de azúcar y banano, así como para las industrias azucarera y extractoras de aceites y grasas respectivamente.

5.1.1. Estimar la producción agrícola y agroindustrial

En el análisis exploratorio del registro histórico para la producción de los cultivos y agroindustrias seleccionados en la etapa anterior, se evidencia una tendencia creciente en la mayoría de estos (Figuras 5.7 a 5.9). Así mismo, se observa gran variabilidad en cuanto a la varianza, evidenciando la no estacionariedad en los datos. Para confirmar este supuesto, se realizó un test de raíces (Dickey-Fuller Aumentada), estableciéndose como hipótesis para la serie H_0 : No estacionaria y H_1 : Estacionaria. Los resultados respectivos se muestran en la Tabla 5.2.

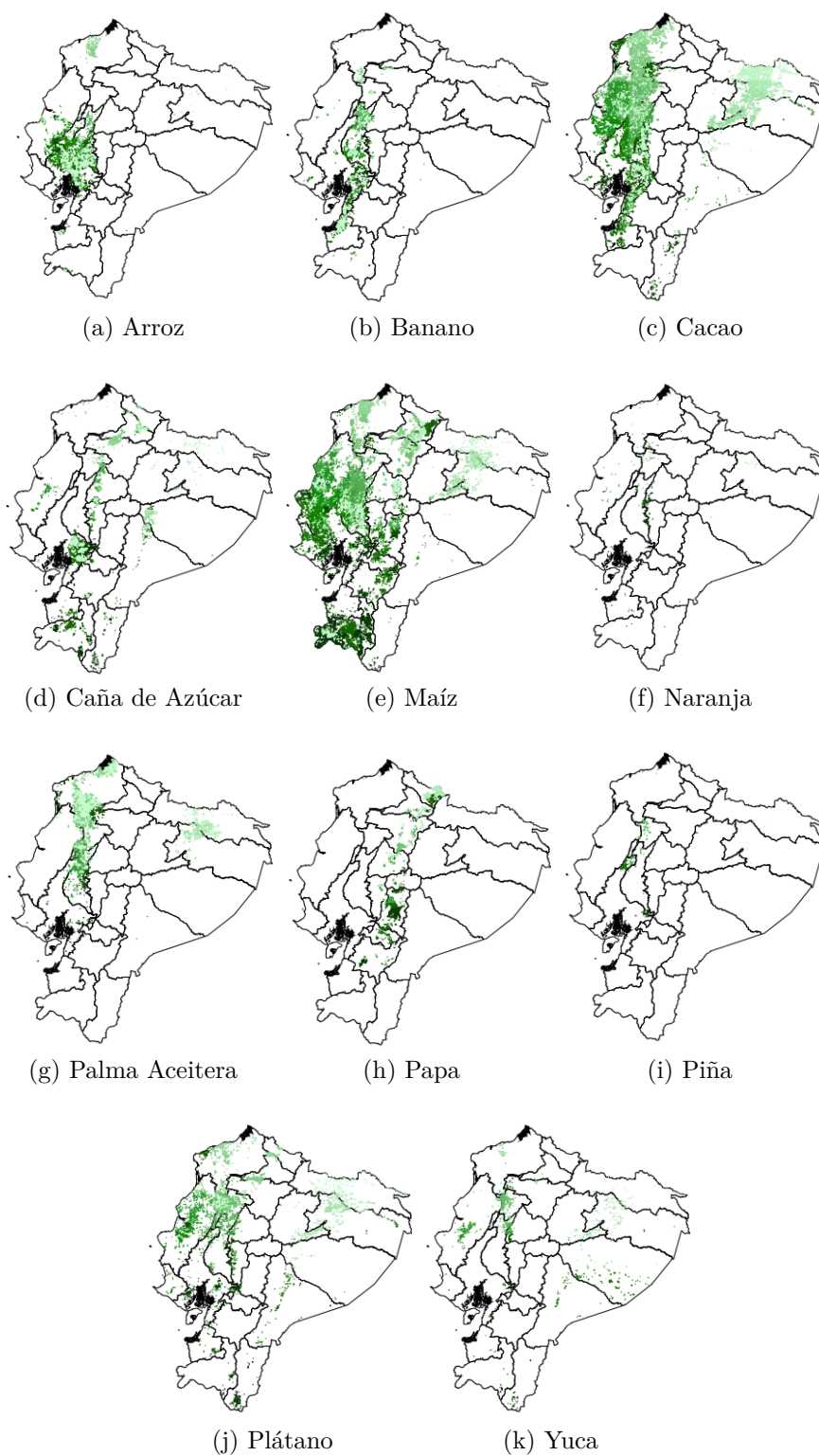


Figura 5.3: Ubicación de cultivos con mayor importancia económica para el Ecuador

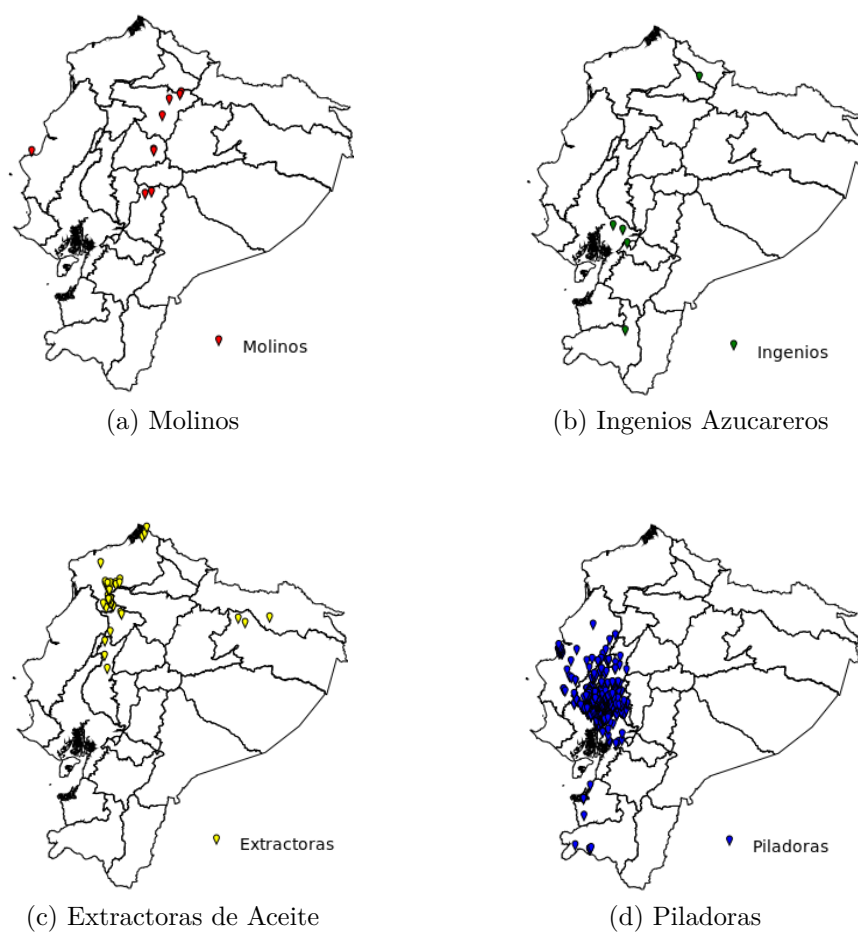


Figura 5.4: Ubicación de agroindustrias con mayor importancia económica en el Ecuador

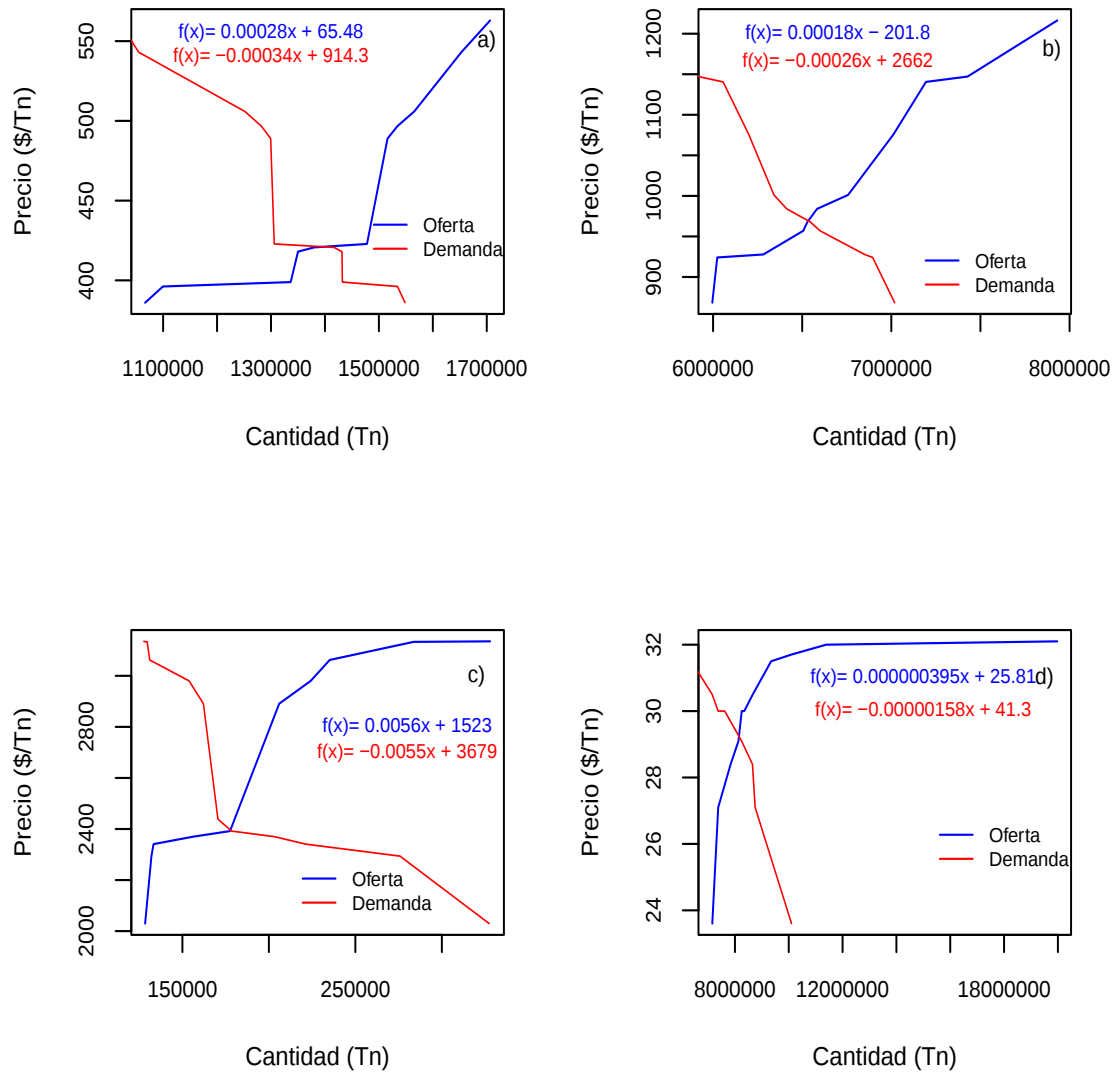


Figura 5.5: Curvas oferta vs. demanda para rubros agrícolas. a) Arroz, b) Banano, c) Cacao, d) Caña de Azúcar, e) Maíz, f) Naranja, g) Palma, h) Papa, i) Piña, j) Plátano, k) Yuca

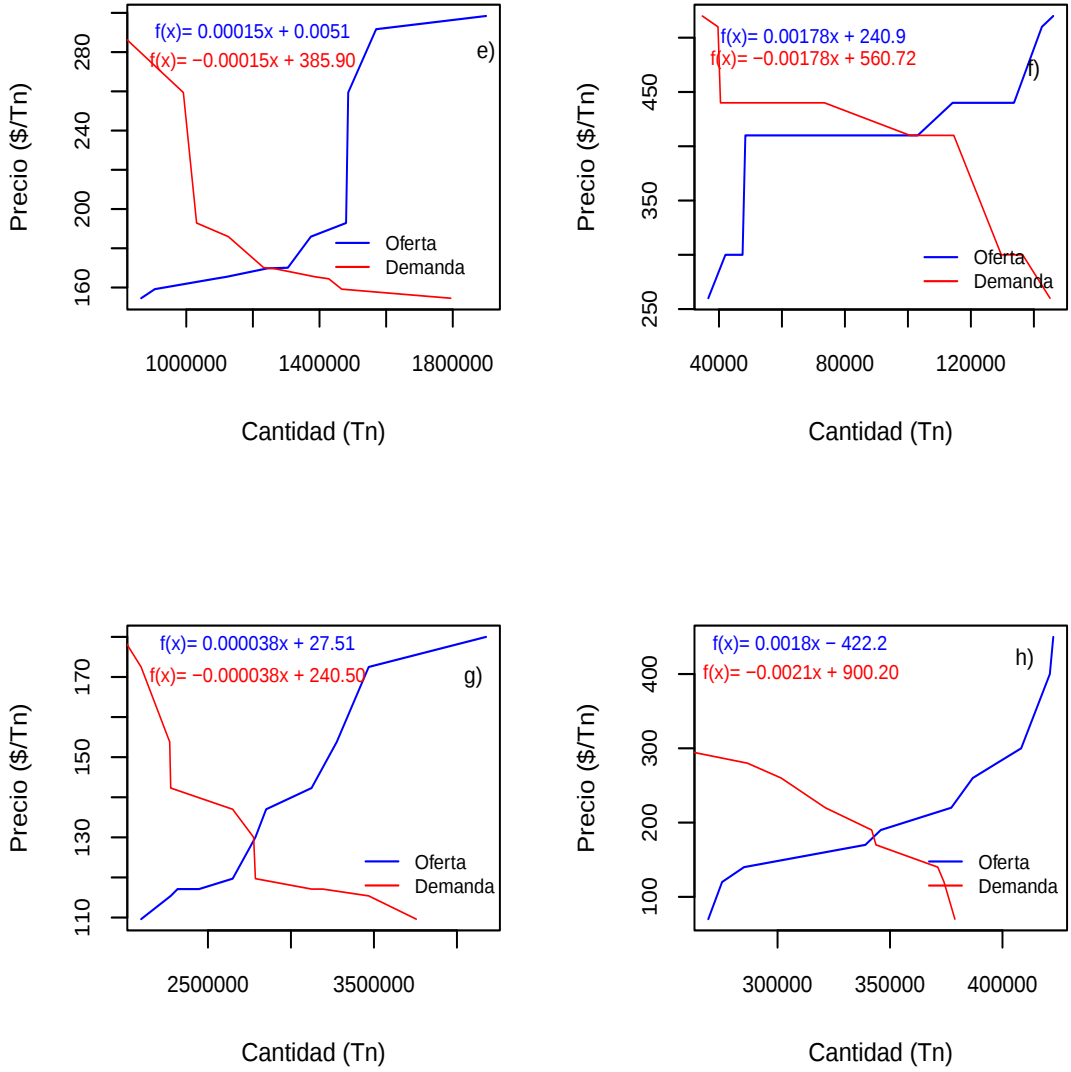


Fig. 5.5 (Cont.)

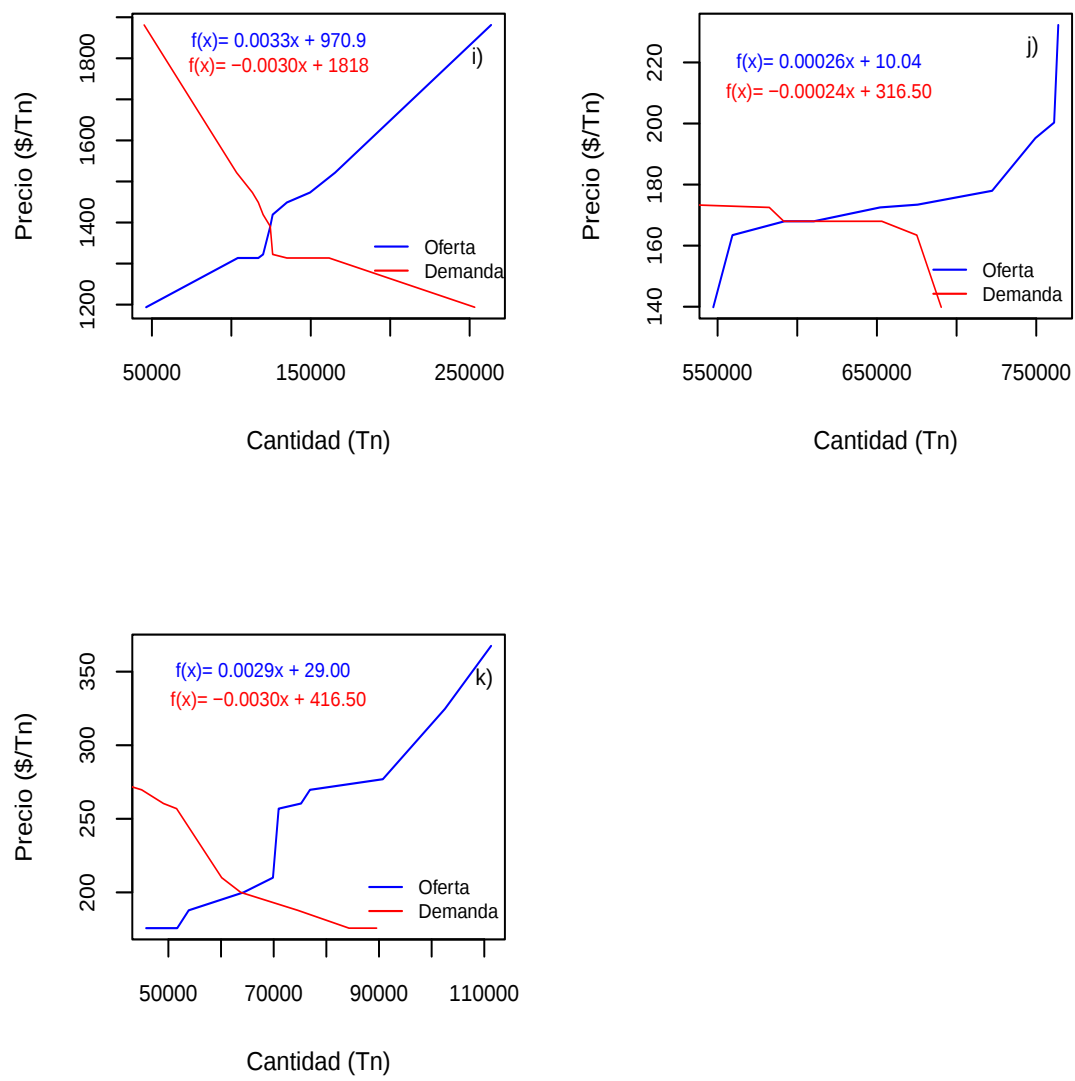


Fig. 5.5 (Cont.)

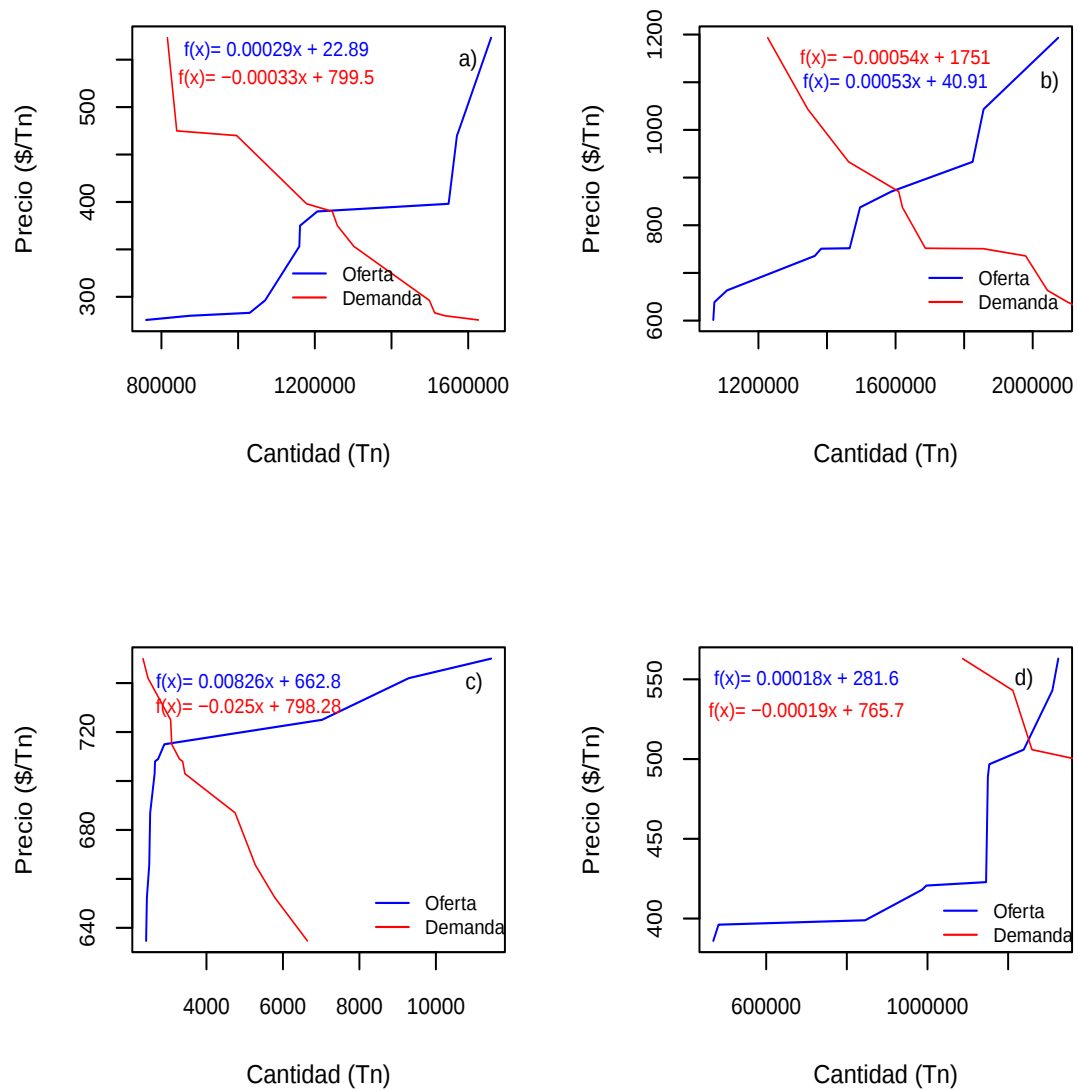


Figura 5.6: Curvas oferta vs. demanda para la agroindustria. a) Elaboración de azúcar, b) Aceites y grasas, c) Almidones, d) Molinería

Tabla 5.1: Punto de equilibrio para los cultivos y agroindustrias estudiadas

Rubro agrícola/ Actividad agroindustrial	Punto de equilibrio (Tn)
Rubro agrícola	
Arroz	1.369.064,52
Banano	6.508.636,36
Cacao	194.234,23
Caña de azúcar	7.844.229,50
Maíz duro seco	1.286.316,33
Naranja	89.837,08
Palma aceitera	2.802.500
Papa	339.076,92
Piña	134.460,31
Plátano	612.920,00
Yuca	65.677,97
Actividad agroindustrial	
Elaboración de azúcar	1.252.596,77
Extracción de aceites y grasas	1.598.214,95
Fabricación de almidones	4.073,36
Molinería	1.308.378,37

Tabla 5.2: Resultado del Test de Raíces

Rubro agrícola	Producción p-valor	Rendimiento p-valor	Actividad agroindustrial	p-valor
Arroz	0,7080	0,3666	Elaboración de azúcar	0,195
Banano	0,6706	0,3949	Extracción de aceites y grasas	0,143
Cacao	0,9900	0,9752	Fabricación de almidones	0,442
Caña de azúcar	0,8156	0,0730	Molinería	0,547
Maíz duro seco	0,6528	0,990		
Naranja	0,0640	0,6328		
Palma aceitera	0,3541	0,8270		
Papa	0,0758	0,9683		
Piña	0,4176	0,2275		
Plátano	0,5628	0,0317		
Yuca	0,3839	0,6187		

Con un p-valor $>0,05$ no rechazamos la hipótesis nula, confirmando así la no estacionariedad de los datos. Se exceptúa el cumplimiento de este supuesto en el rendimiento agrícola del plátano, cuyo valor fue menor a este. Para convertir la serie de datos en estacionaria, se procedió a eliminar la tendencia en media con la función logarítmica y posteriormente fue diferenciada para eliminar la heterocedasticidad. Inicialmente los datos se transformaron con la función logarítmica y luego se diferenciaron. La serie de datos para cada rubro cultivable se diferenció una vez; excepto el banano, la palma aceitera y la naranja, que se diferenció dos veces (Figura 5.10). Los datos para el rendimiento agrícola, se transformaron con la función logaritmo y posteriormente fue diferenciada una vez, mientras que la serie de naranja y banano se diferenció dos veces (Figura 5.11).

En cuanto a la producción agroindustrial, se aplicó la función logaritmo para todas las series de tiempos. Adicional a esto los datos se diferenciaron una vez, excepto la empresa molinera los cuales se diferenciaron dos veces (Figura 5.12). El comportamiento de la transformación $\ln(x)$, $D(-1)$, $D(-1)$ es apropiada para generar la serie, sin patrón ni tendencia, lo cual indica que la serie es estacionaria en media y varianza (Ruiz-Ramírez et al. 2011). Los datos transformados se contrastaron con el test de Dickey-Fuller aumentada, y con un p-valor de $0,01 < 0,05$ se comprueba la estacionariedad de los datos. Luego se utilizó la función `auto.arima` de la librería *Forecast* del software R Studio para estimar el mejor modelo ARIMA para cada conjunto de datos (Tabla 5.3).

Una vez definido el mejor modelo para cada serie, se simuló la producción y rendimiento para cada cultivo (Figuras 5.13 a 5.15) y de cada agroindustria (Figura 5.16) para los próximos 5 años. Los pronósticos se muestran como una línea y los intervalos de predicción del 80 % y 95 %, con un área sombreada de color gris y azul respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, se espera una producción constante para los próximos

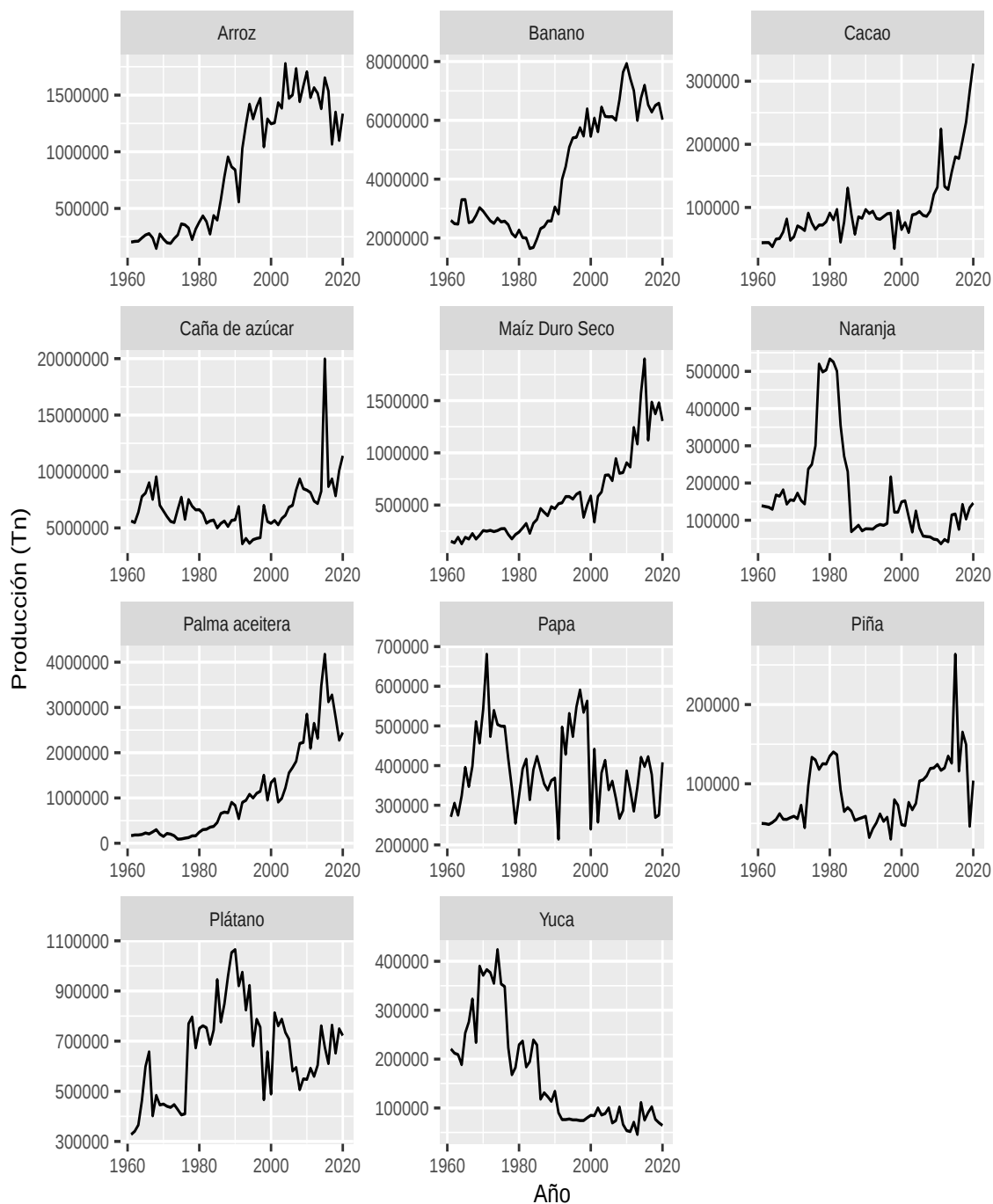


Figura 5.7: Registro histórico para la producción de los principales rubros agrícolas del Ecuador

Fuente: INEC (2021)

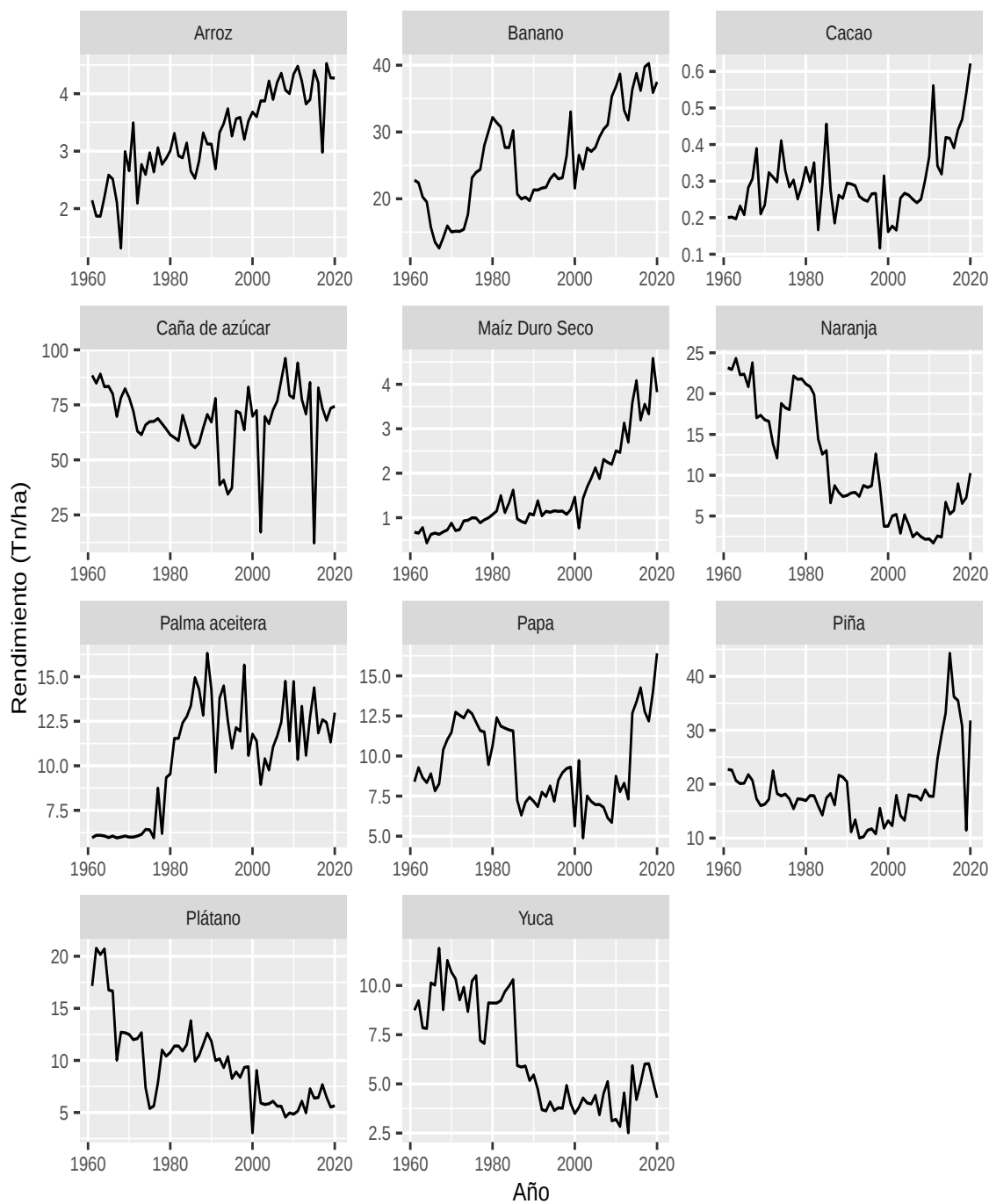


Figura 5.8: Registro histórico para el rendimiento agrícola de los principales rubros del Ecuador

Fuente: INEC (2021)

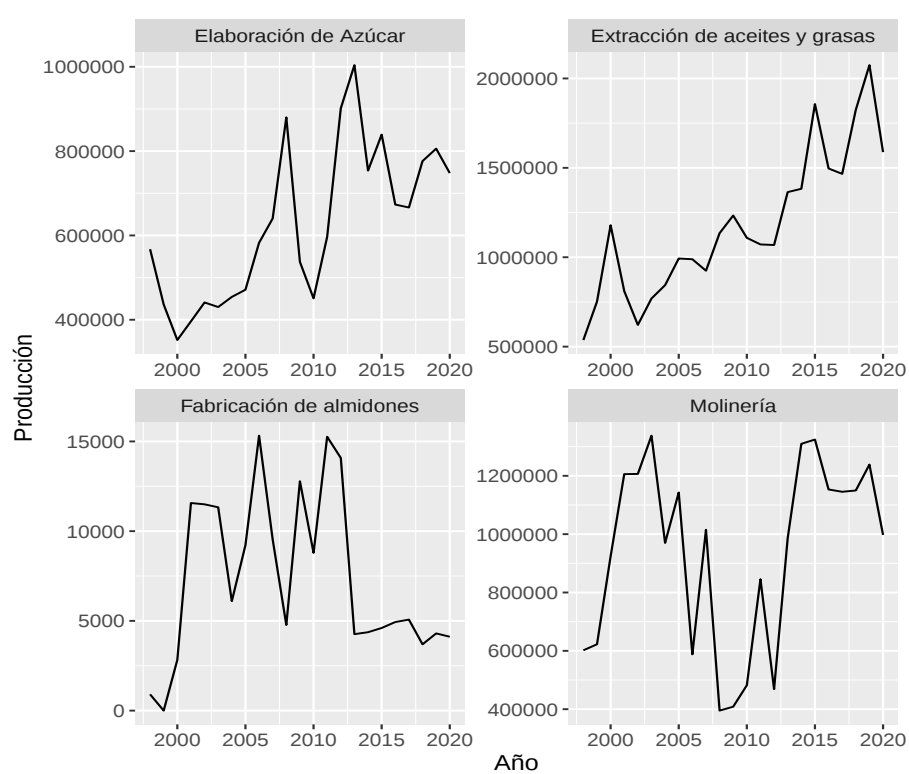


Figura 5.9: Registro histórico de la producción en las principales agroindustrias del Ecuador

Fuente: INEC (2021)

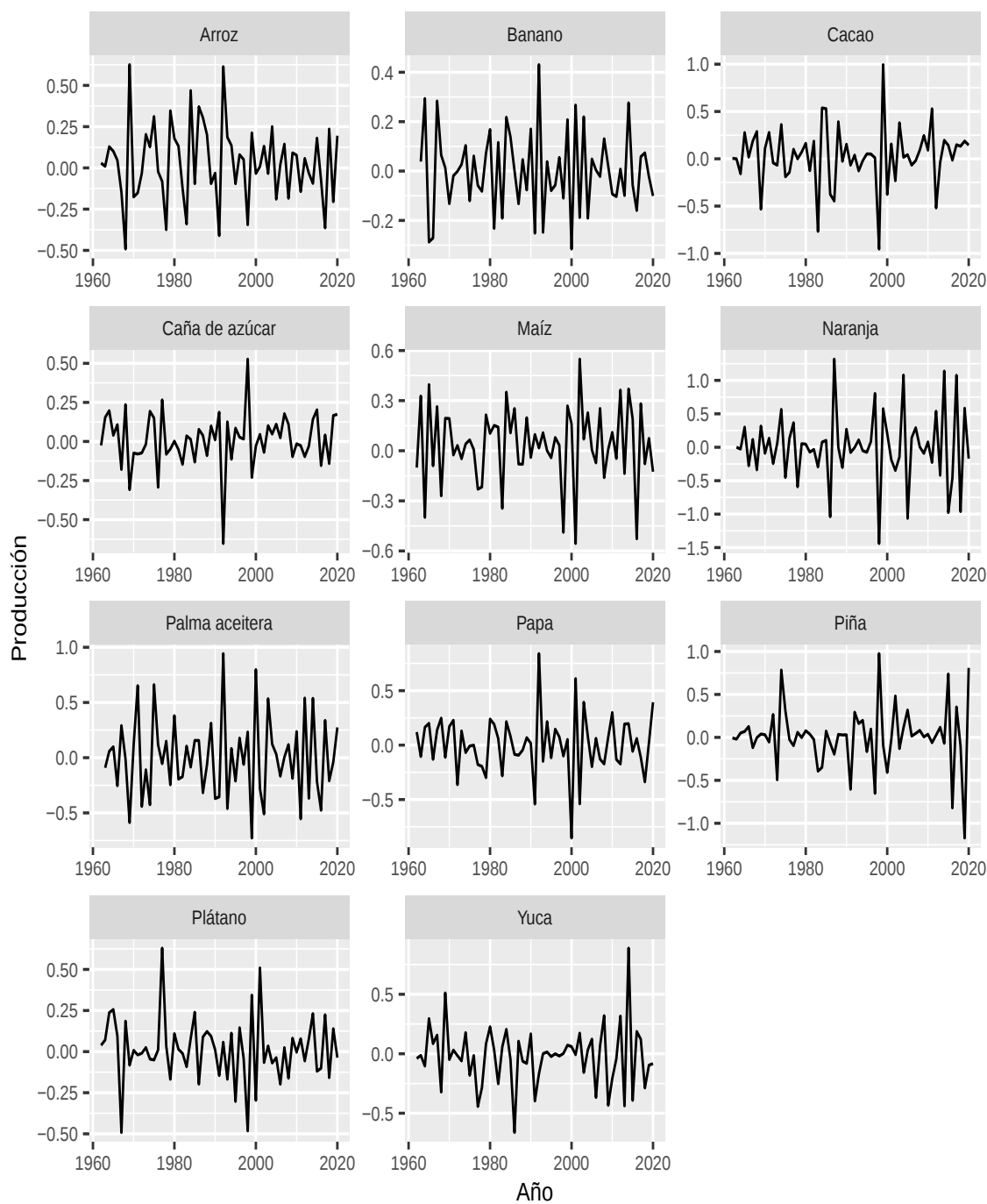


Figura 5.10: Datos transformados para producción histórica de los principales rubros agrícolas del Ecuador

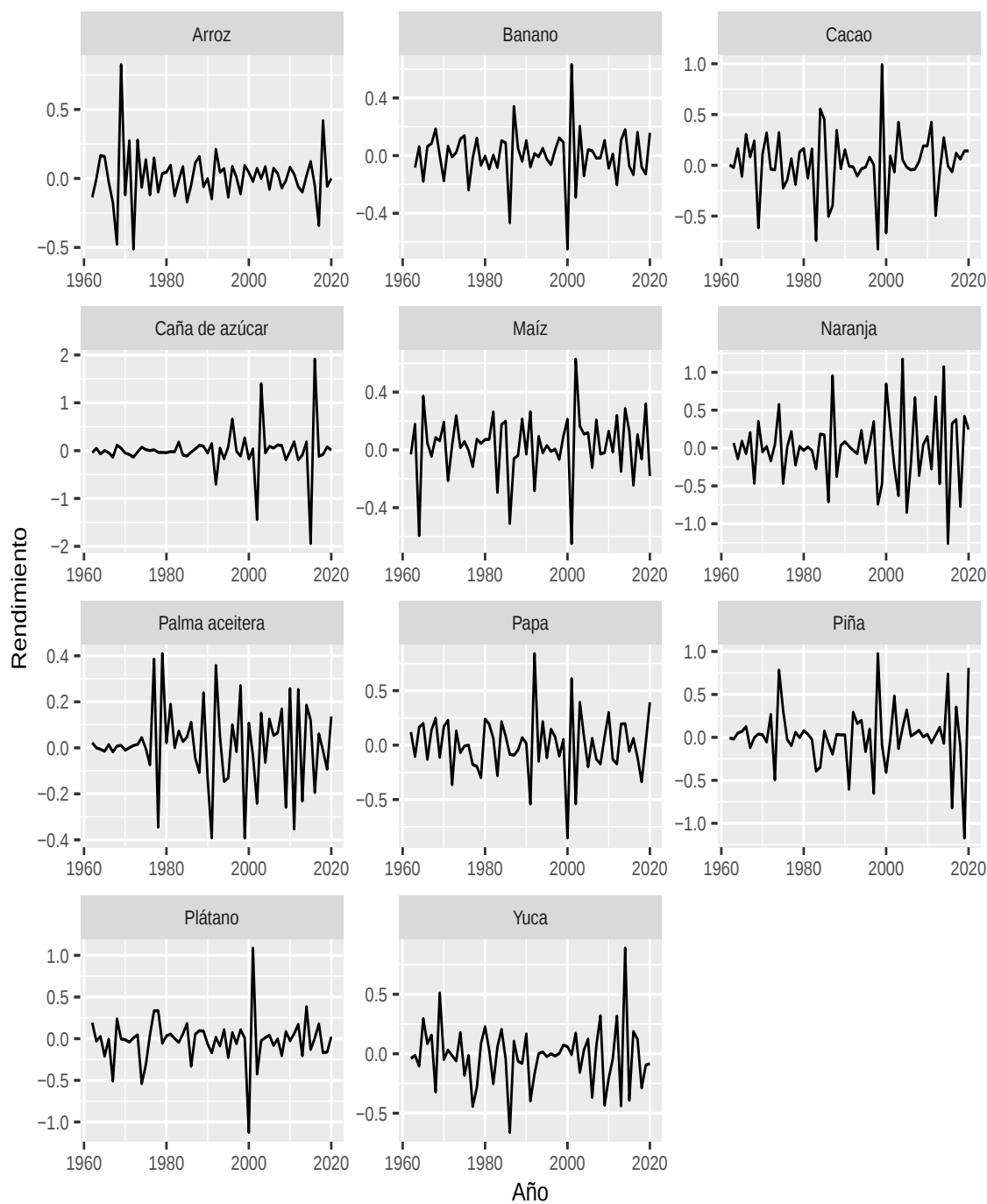


Figura 5.11: Datos transformados para rendimiento histórico de los principales rubros agrícolas del Ecuador

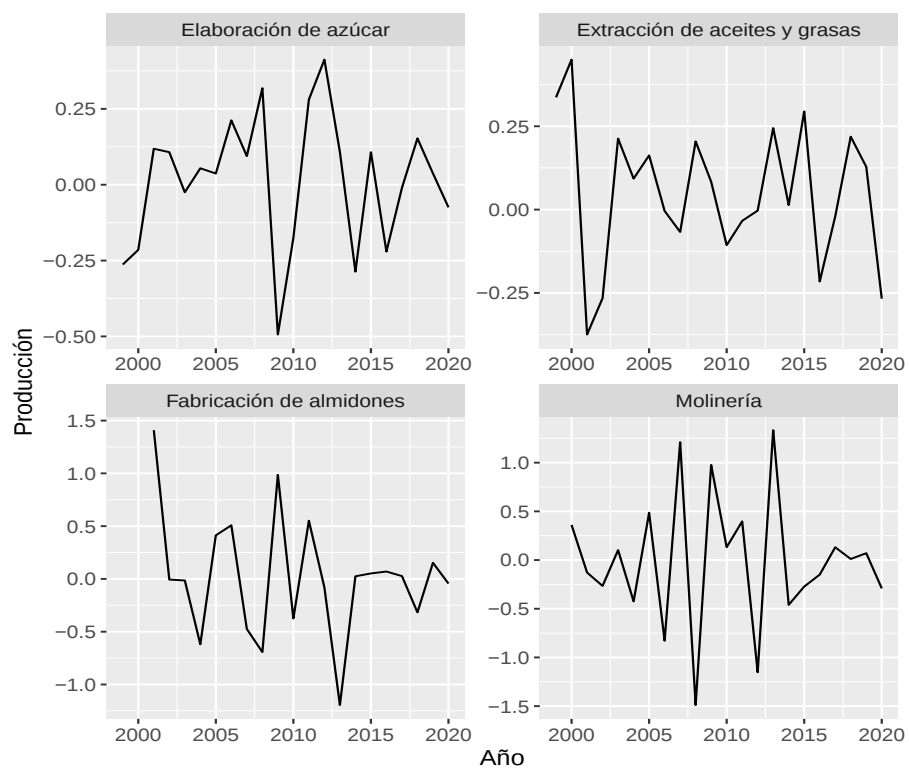


Figura 5.12: Datos transformados para la producción histórica de las principales agroindustrias del Ecuador

Tabla 5.3: Parámetros del modelo autoregresivo ARIMA

Rubro/Actividad económica	Modelo	AR	MA	Error estándar	AIC
Producción agrícola					
Arroz	(0, 1, 1)	–	-0,3883	0,1130	1590,83
Banano	(0, 1, 0)	–	–	–	1708,06
Cacao	(0, 1, 1)	–	-0,3635	0,1312	1376,25
Caña de azúcar	(0, 1, 1)	–	-0,3020	0,1327	1807,43
Maíz duro seco	(0, 1, 1)	–	-0,5405	0,1059	1576,1
Naranja	(0, 1, 0)	–	–	–	1455,15
Palma aceitera	(0, 1, 1)	–	-0,2544	0,1207	1667,14
Papa	(2, 0, 0)	0,3666 0,2893	– –	0,1233 0,1254	1534,42
Piña	(0, 1, 1)	–	-0,4880	0,1047	1391,05
Plátano	(0, 1, 1)	–	-0,3574	0,1175	1544,27
Yuca	(0, 1, 0)	–	–	–	1425,21
Rendimiento agrícola					
Arroz	(1, 1, 1)	-0,0726	-0,6602	0,1602	67,49R
Banano	(0, 1, 0)	–	–	–	301,75
Cacao	(0, 1, 1)	–	-0,6275	0,0986	-133,94
Caña de azúcar	(1, 0, 1)	0,7204	-0,4659	0,2244	504,24
Maíz duro seco	(0, 1, 1)	–	-0,5087	0,0915	34,53
Naranja	(0, 1, 0)	–	–	–	272,65
Palma aceitera	(0, 1, 2)	–	-0,7017 0,1289	0,1298 0,1396	229,64
Papa	(2, 0, 0)	0,6236 0,2561	– –	0,1272 0,1297	230,21
Piña	(0, 1, 1)	–	-0,3502	0,1310	353,33
Plátano	(1, 1, 0)	-0,3336	–	0,1247	253,23
Yuca	(0, 1, 1)	–	-0,4401	0,1144	194,73
Producción agroindustrial					
Elaboración de azúcar	(0, 1, 0)	–	–	–	587,52
Extracción de aceites y grasas	–	(0, 1, 0)	–	–	611,65
Fabricación de almidones	(1, 0, 0)	0,3587	–	0,2114	412,23
Molinería	(1, 0, 0)	0,534	–	0,173	645,29

5 años, excepto para el cacao y el maíz duro seco en el cual se evidencia un crecimiento manteniendo la superficie actual. Los pronósticos a partir de la metodología ARIMA, aunque no permiten simular un comportamiento exacto en el tiempo, resulta ser una buena herramienta de pronóstico con la cual se pueden obtener niveles máximos y mínimos del evento a evaluar (Amaris et al. 2017).

5.1.2. Calcular la cantidad de residuos generados por cada tipo

Previo a la ubicación geográfica de los residuos disponibles, se identificaron los distintos tipos generados por los 11 rubros agrícolas y las 4 agroindustrias que conformaron la unidad estudio (Tabla 5.4). Usando el método BEFS RA de la FAO ya descrito, junto con valores de RGR reportados en investigaciones previas, se estimó la cantidad de residuos disponibles para los próximos 5 años (Tabla 5.5). Para todos los residuos identificados, se asignó una leyenda a cada alternativa de selección tal como se indica: Cascarilla de arroz (CA), paja de arroz (PA), cáscara de banano (CB), raquis de banano (RB), hojas de poda de banano (HB), pseudotallo del banano (PB), vainas de cacao (VC), bagazo de caña de azúcar (BA), hojas de poda de caña de azúcar (HC), cascarilla de maíz (CM), mazorca de maíz (MM), rastrojo de maíz (RM), cáscara, pulpa y semillas de naranja (RN), cáscara de palma aceitera (CPA), follaje de palma aceitera (FPA), racimos vacíos de palma aceitera (RPA), cáscara de papa (CP), cáscara de piña (CÑ), cáscara de plátano (CPL), raquis de plátano (RP), hojas de poda de plátano (HP), pseudotallo del plátano (PP) y tallos de yuca (TY).

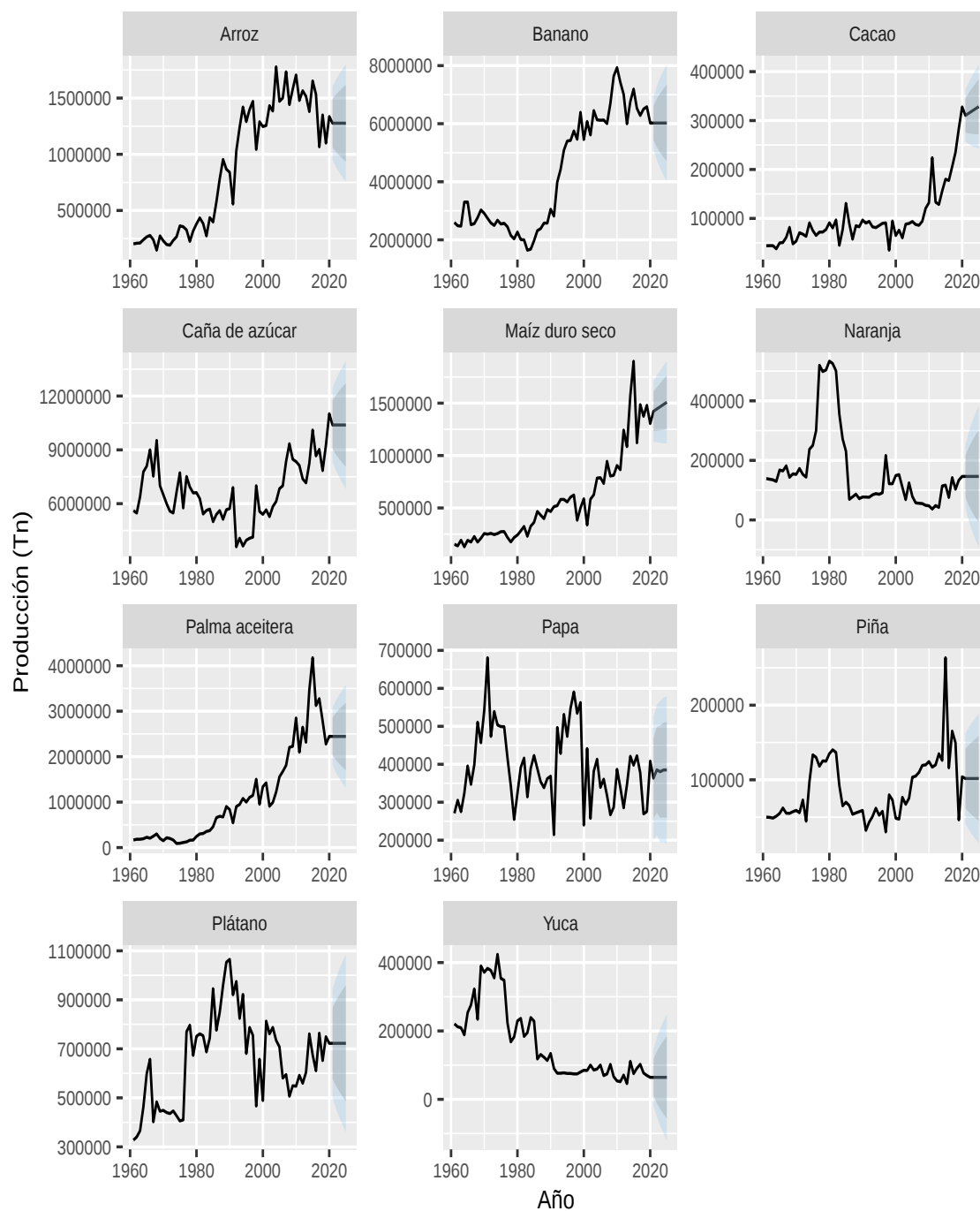


Figura 5.13: Estimación de la producción agrícola entre 2021 y 2026

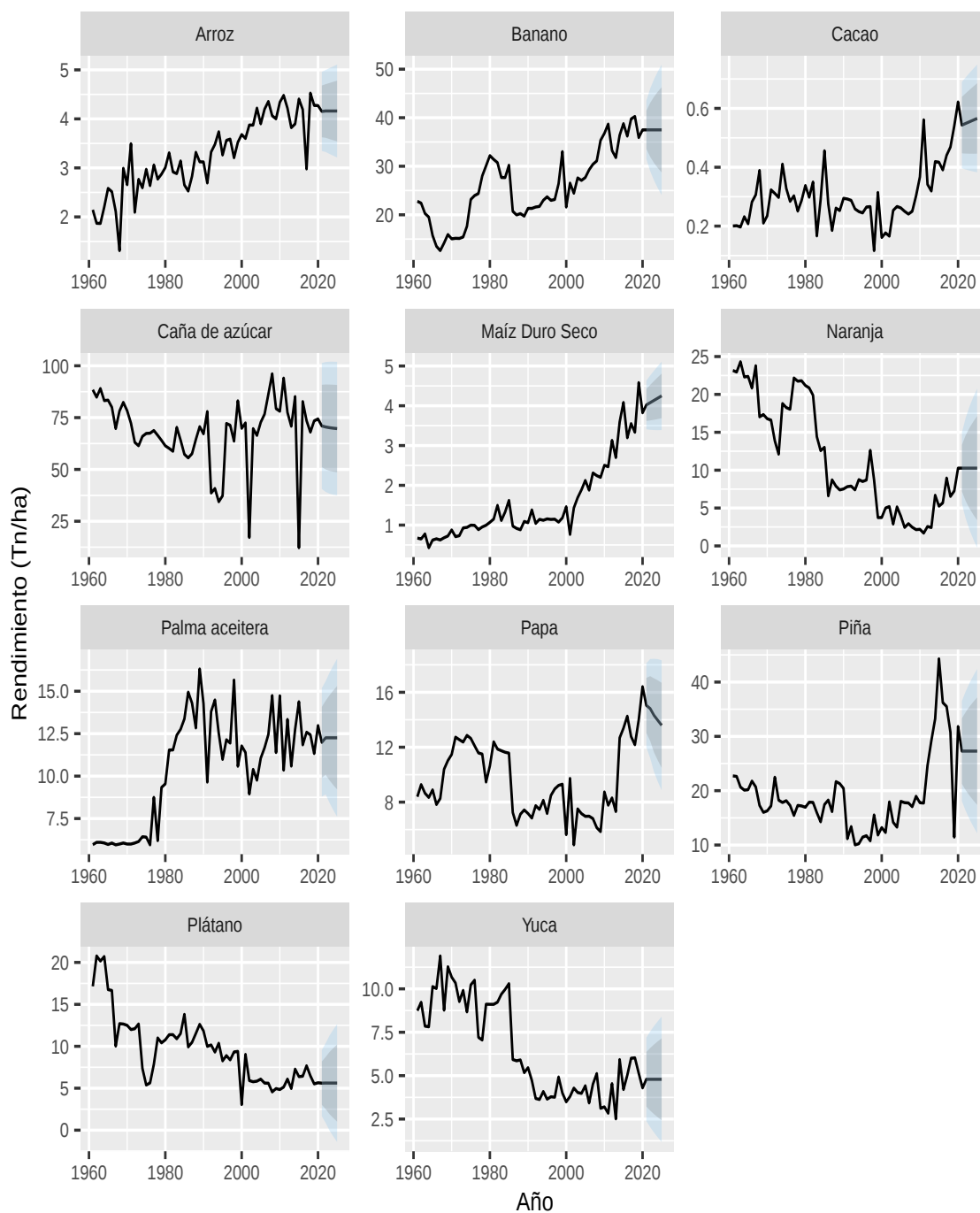


Figura 5.14: Estimación del rendimiento agrícola entre 2021 y 2026

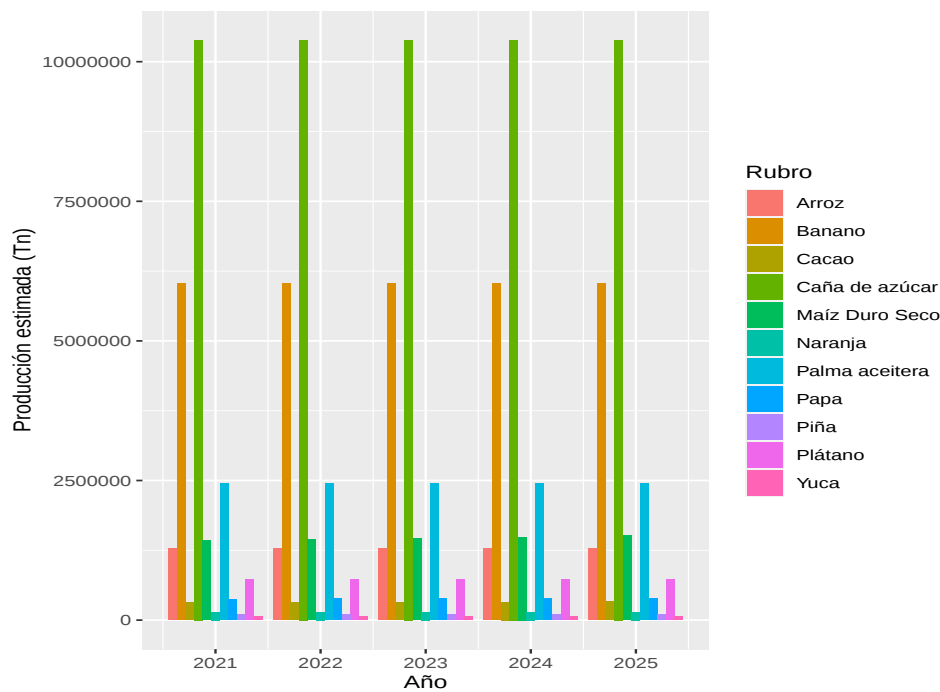


Figura 5.15: Comparación de la producción agrícola estimada por rubros (2021 y 2026)

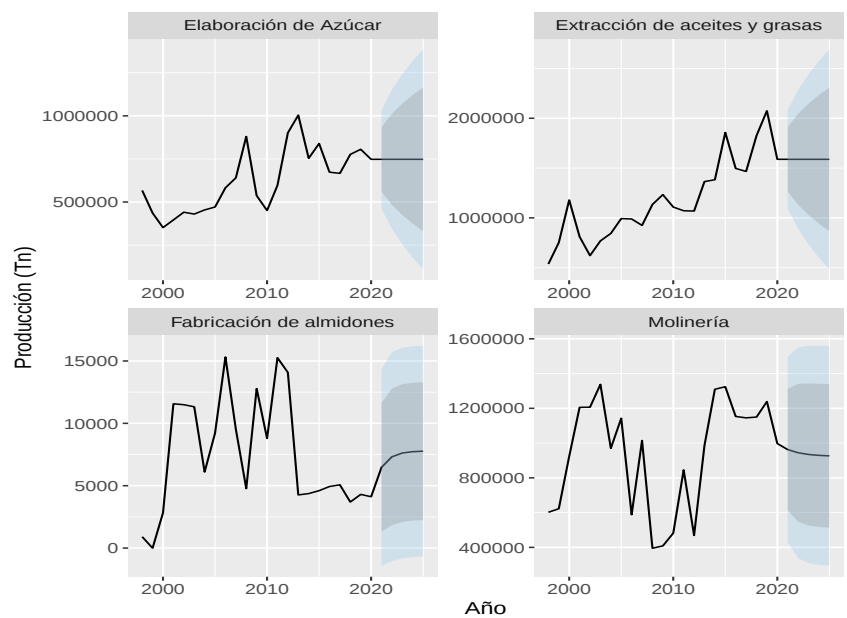


Figura 5.16: Estimación de la producción agroindustrial entre 2021 y 2026

Tabla 5.4: Tipos de residuos generados por rubro

Rubro	Residuo	Definición	Lugar de generación*	RGR	Fuente de consulta
Arroz	Paja	Es el tallo seco de la planta. Por lo general, producen entre 5-6 t de paja por hectárea de arroz, lo cual representa un gran volumen del residuo, tras la siega del arroz.	A	0,25	Abril et al. (2009), Ribó et al. (2017), Vargas-Alvarado, FAO (2014), Llanos Paéz et al. (2016).
	Cascarilla	Es un tejido vegetal constituido por sílice, celulosa, lignina, D-xilosa y pequeñas cantidades de D- galactosa. Se encuentra en la parte superior del grano de arroz, representa entre el 20 y 25 % de su producción total y se genera en el proceso de molienda del cereal.	C	1,33	
Banano/ Plátano	Hojas de poda	Son de gran tamaño con un macizo central en donde se desarrolla el vástago. Se generan en el deshoje de las plantas, al eliminar las hojas secas o aquellas que no son funcionales para el desarrollo del fruto.	C	0,80	Abreu Olivo et al. (2007), Cortés Hernández y Yepes (2011), Núñez Camargo (2012), Dávila (1983), Melo-Sabogal et al. (2015), Florez-Vargas et al. (2020).
	Cáscara	Representa del 35 % al 40 % del fruto y se genera durante el procesamiento del fruto.	A	0,25	
	Raquis	Pinzote, vástago o tallo floral, termina en una inflorescencia de color rojo oscuro, sobre la cual se forma el racimo.	A	1	
	Pseudotallo	Falso tallo o tallo aéreo, comienza a partir del tallo subterráneo. Consiste en un rizoma de gran tamaño sobre el que se insertan las supuestas bases de las hojas. Su forma es cónica y termina donde las hojas comienzan a expandirse.	C	5	

Tabla 5.4: (Cont.)

Rubro	Residuo	Definición	Lugar de generación*	RGR	Fuente de consulta
Cacao	Vainas	Es una baya lisa, arrugada o verrugosa y en su interior se encuentran los granos. Tiene una cáscara suave tipo madera de 1/4 in de espesor aproximadamente.	A	1,50	FAO (2014). De La Cruz Medina et al. (2011).
Caña de azúcar	Hojas de poda	Es el órgano de la planta donde ocurre la fotosíntesis. Representa un 9 % de la caña de azúcar y se genera como residuo en la cosecha.	C	0,20	Ruiz (2000) FAO (2014), Aguilar-Rivera (2011).
	Bagazo de caña	Es el remanente de los tallos de la caña que se obtiene luego de extraer el jugo azucarado. Se genera en la fase final de extracción, al pasar por el último molino del ingenio azucarero. Su granulometría depende del tratamiento dado a los tallos durante la extracción de sacarosa, del paso por los molinos y de la variedad.	A	0,26	
Maíz	Cascarilla	Recubre el grano y ocupa aproximadamente el 23 % de este. Se retira vía mecánica.	A	0,22	Grande Tovar et al. (2013), Muñoz-Tlahuiz et al. (2013), Lesme Jaén et al. (2020), FAO (2014).
	Rastrojo	Son las partes remanentes de la planta (tallo, hoja, espigas y brácteas de mazorca) después de la cosecha. Llega a representar el 50 % de la biomasa total de la planta.	C	1,96	
	Mazorca	También conocida como elote o tusa. Es el residuo del desgranado del maíz.	A	0,33	

Tabla 5.4: (Cont.)

Rubro	Residuo	Definición	Lugar de generación*	RGR	Fuente de consulta
Naranja	Cáscara, pulpa y semillas	La corteza (epicarpio) es la parte exterior de la fruta. La pulpa (endocarpio), es la parte interior comestible, en la cual se encuentran las semillas.	A	0,45 - 0,60	Rincón et al. (2005), Matthaus y Özcan (2012).
	Cáscara	Son partículas duras y compactas, que rodean las almendras de los frutos del aceite de palma. Se separa de la almendra en el proceso de producción de aceite de palmistes.	A	0,06	Van Dam (2017) Koopmans y Koppejan (1998) FAO (2014).
	Follaje	Son las hojas que se cortan de la palma para obtener los racimos de frutos frescos.	C	2,60	
	Racimos vacíos	Son los residuos fibrosos principales que se libera en las plantas de beneficio de aceite de palma.	A	0,31	
Papa	Piel	Constituye cerca de un 2 % de la papa, siendo un desperdicio en las industrias y en el hogar.	A	0,04	López Silva et al., (2019), Araújo et al. (2018).
Piña	Cáscara	Es la corteza del fruto que se retira durante su procesamiento.	A	0,12	Araújo et al. (2018).
Yuca	Tallos	Son de forma cilíndrica, con un diámetro que varía entre 2 y 6 cm. Tanto el grosor como el color, dependen de la edad y variedad de la planta.	C	0,13	Domínguez M.S. (1981), FAO (2014).

*A: Agroindustria, C: Cultivo

Tabla 5.5: Estimación de residuos por rubro (2021 - 2025)

Tipo de residuo	Producción estimada (kTn/año)				
	2021	2022	2023	2024	2025
CA	1.986,43	1.990,56	1.990,56	1.990,56	1.990,56
PA	6.458,10	6.471,55	6.470,57	6.470,64	6.470,64
HB	35.078,76	35.078,76	35.078,76	35.078,76	35.078,76
CB	17.938,00	17.938,00	17.938,00	17.938,00	17.938,00
RB	71.752,00	71.752,00	71.752,00	71.752,00	71.752,00
PB	219.242,23	219.242,230	219.242,23	219.242,23	219.242,23
VC	1.559,02	1.575,27	1.591,53	1.607,78	1.624,03
HC	16.599,84	16.485,78	16.403,60	16.344,41	16.301,76
BA	35.312,38	35.069,74	34.894,94	34.769,01	34.678,28
CM	5.078,71	5.150,63	5.222,56	5.294,49	5.366,41
RM	27.650,74	28.042,36	28.433,93	28.825,53	29.217,13
MM	7.618,06	7.725,95	7.833,84	7.941,73	8.049,62
RN	10.315,34	10.315,34	10.315,34	10.315,34	10.315,34
CPA	1.376,42	1.407,19	1.407,19	1.407,19	1.407,19
FPA	36.449,65	37.264,58	37.264,58	37.264,58	37.264,58
RPA	4.345,92	4.443,08	4.443,08	4.443,08	4.443,08
HP	5.242,80	5.256,26	5.251,77	5.253,27	5.252,77
CPL	2.680,98	2.687,86	2.685,56	2.686,33	2.686,08
RP	10.723,91	10.751,44	10.742,26	10.745,32	10.744,30
PP	32.767,50	32.851,63	32.823,57	32.823,93	32.829,81
CP	1.151,53	1.133,74	1.095,89	1.067,74	1.040,49
CÑ	6.265,19	6.265,19	6.265,19	6.265,19	6.265,19
TY	1.151,74	1.151,74	1.151,74	1.151,74	1.151,74

5.1.3. Ubicar geográficamente los residuos generados

Una vez estimada la cantidad de cada tipo de residuos, se integró la metodología BEFS RA de la FAO a través de la interfaz R Studio - GRASS GIS según lo explicado anteriormente, y se representó geográficamente la cantidad de residuos generados tanto por los cultivos (Figura 5.17) como por las agroindustrias estudiadas (Figura 5.18). En el caso de la agroindustria, aunque se estimó la cantidad de residuos generados para cada rubro, sólo se conoce la ubicación de cuatro de ellas la cual coincide con las agroindustrias estudiadas (molinos, extractoras de aceites, piladoras).

5.1.4. Integración de herramientas

Al aplicar el proceso de jerarquía analítica se hicieron algunas consideraciones. En el criterio disponibilidad del residuo, se evaluó la cantidad disponible por rubro, razón por la cual se utilizó la estimación realizada previamente para los próximos 5 años (Figura 5.19). En cuanto a la composición del residuo, se consideró la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina reportada bibliográficamente en cada residuo (Tabla 5.6), dado que los principales productos de hidrólisis de la celulosa y de la hemicelulosa, son la glucosa y varias pentosas y hexosas respectivamente, los cuales son azúcares fermentables (Taherzadeh & Niklasson, 2004).

La valoración de la competencia de uso y los métodos de procesamiento, se hizo en función de los usos y métodos de transformación que se emplean en la actualidad para los residuos analizados. Los usos van desde alimentación animal hasta la obtención de productos químicos biobasados, mediante la combinación de métodos físicos, químicos y biológicos, tal como se presenta:

- CA: Se aplican tratamientos térmicos (prehervido) y químicos con solventes or-

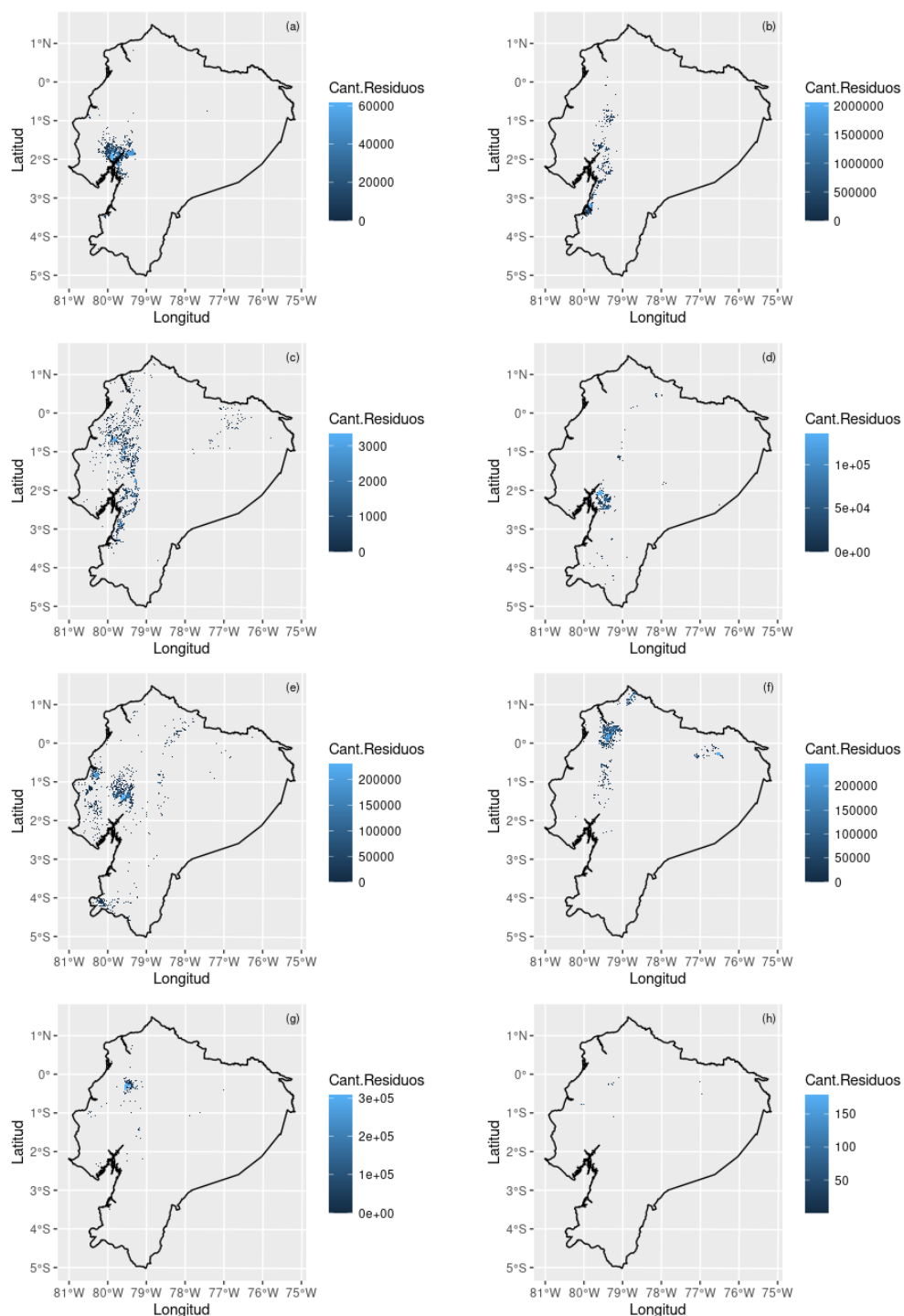


Figura 5.17: Ubicación de los residuos agrícolas generados por los cultivos de: a) Arroz, b) Banano, c) Cacao, d) Caña de azúcar, e) Maíz, f) Palma aceitera, g) Plátano, h) Yuca

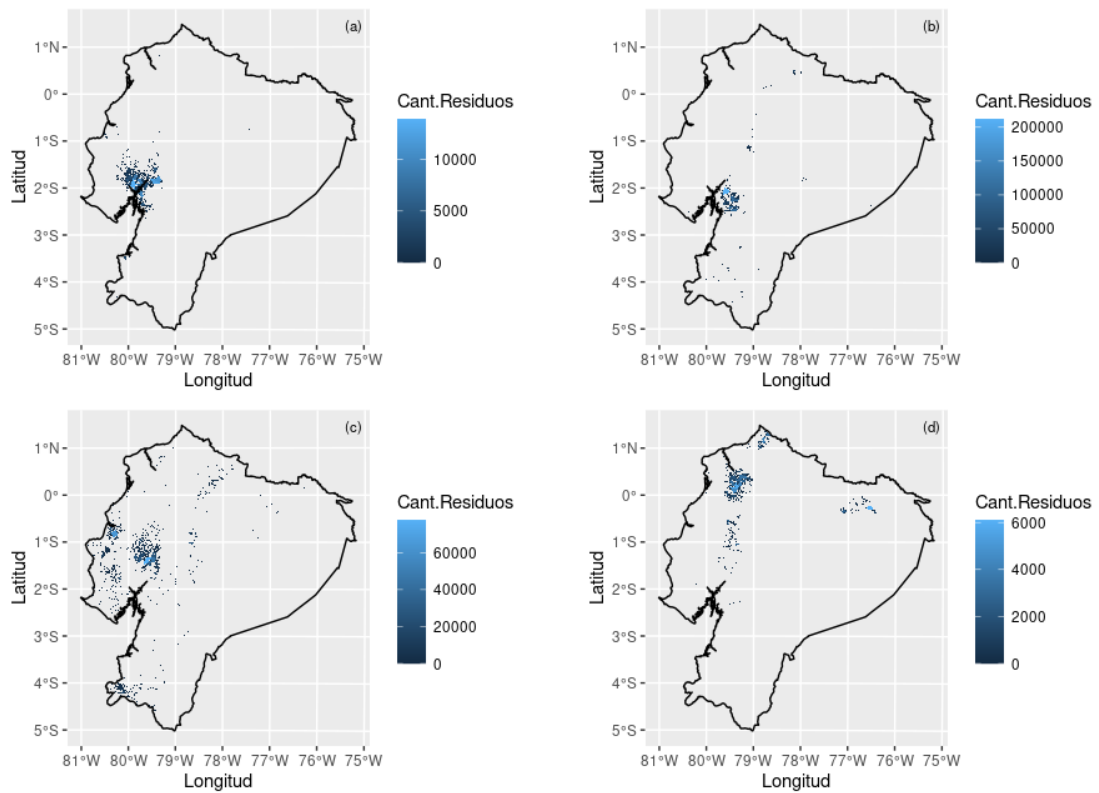


Figura 5.18: Ubicación de los residuos generados por las agroindustrias de: a) Arroz, b) Caña de azúcar, c) Maíz, d) Palma aceitera

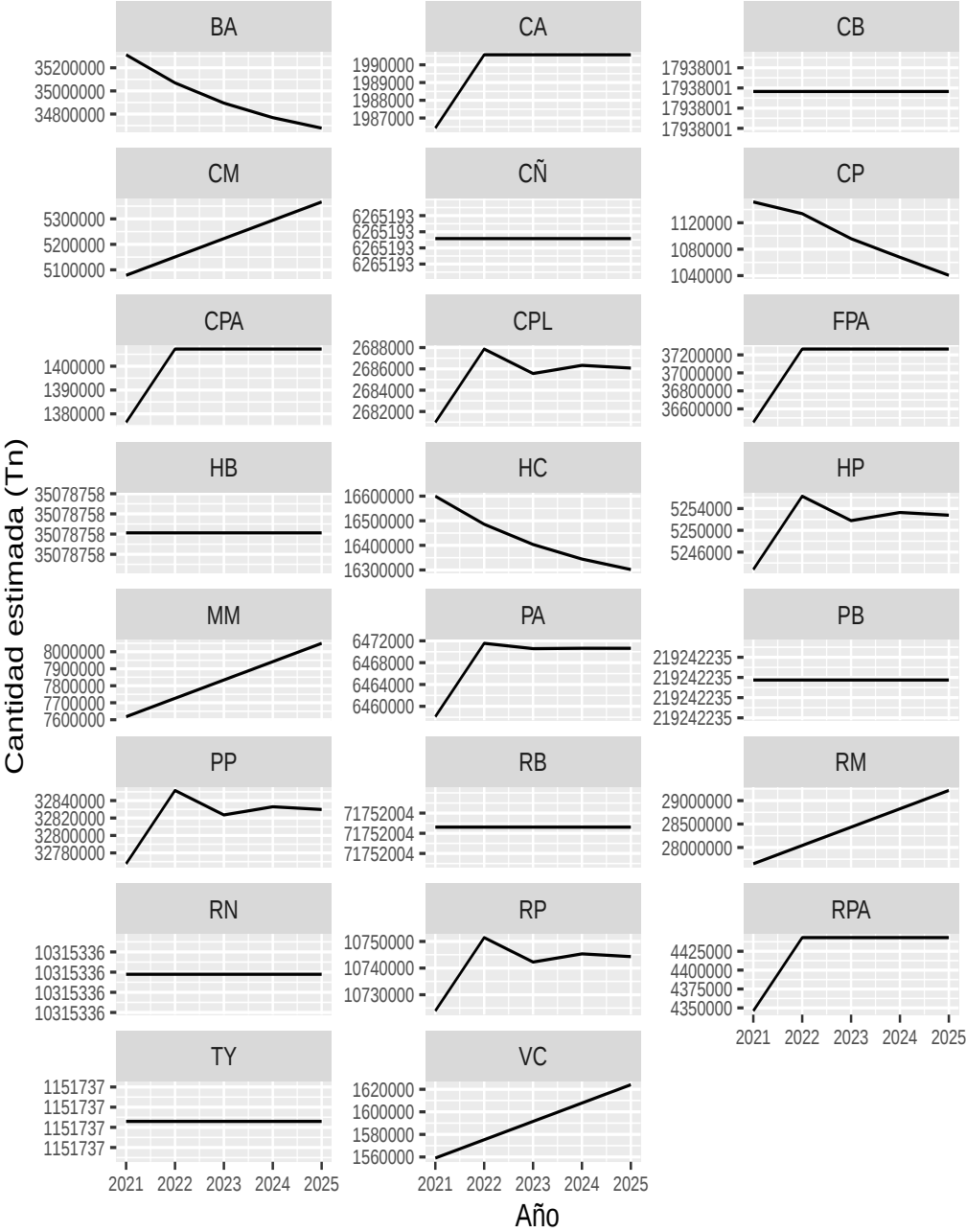


Figura 5.19: Cantidad estimada de residuos para los años 2021 a 2026

Tabla 5.6: Composición de los residuos evaluados

Residuo	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Referencia
CA	35,62 $\pm$ 0,12	11,96 $\pm$ 0,73	15,38 $\pm$ 0,20	Saha et al. (2005),
PA	30,30 - 38,20	19,80 - 31,60	7,20 - 12,80	Jin y Chen (2007)
CB/CPL	18 - 60	17 - 40	16 - 31	Pereira et al. (2021)
RB/RP	36,28 - 37,38 a	17,78 - 20,70	8,64 - 9,48	Deumaga et al. (2015)
HB/HP	28,90 $\pm$ 0,90	23,50 $\pm$ 1,10	18,90 $\pm$ 0,50	Richard et al. (2020)
PB/PP	48,19 - 59,22	12,09 - 15,91	14,39 - 21,56	Preethi y Balakrishna (2013)
VC	35,40 $\pm$ 0,33	37,00 $\pm$ 0,50	14,70 $\pm$ 0,30	Daud et al. (2013)
BA	45,06 $\pm$ 0,95	27,23	20,57	Daud et al. (2013)
HC	37,53 $\pm$ 1,15	27,38	21,28	Szczerbowski et al. (2014)
CM	5,30	40,40	2,87	Ibrahim et al. (2019)
MM	40,00	41,40	5,80	Kaliyan y Morey (2010)
RM	49,40	26,20	8,80	Kaliyan y Morey (2010)
RN-cáscara	37,08 $\pm$ 3,10	11,04 $\pm$ 1,05	7,52 $\pm$ 0,59	Marín et al. (2007)
RN-pulpa	24,52 $\pm$ 2,00	7,57 $\pm$ 0,66	7,51 $\pm$ 0,62	Marín et al. (2007)
RN-semillas	53,26 $\pm$ 0,07	12,36 $\pm$ 0,02	19,35 $\pm$ 0,03	Rojas-González et al. (2019)
CPA	20,80	22,70	49,90	Van Dam (2017)
FPA	43,20	5,20	51,60	Pato et al. (2021)
RPA	38,30	35,30	22,90	Van Dam (2017)
CP	46,66	13,12	0,80	Önal et al. (2011)
CÑ	35,32 $\pm$ 0,38	37,60 $\pm$ 0,24	11,16 $\pm$ 0,04	Rojas-González et al. (2019)
TY	38,80 $\pm$ 0,49	7,20 $\pm$ 0,08	11,80 $\pm$ 0,34	Castano Peláez et al. (2013)

gánicos como el formaldehído, para producir silicatos, biocombustibles, cemento puzolánico, adsorbentes de remoción de contaminantes (Llanos Páez et al. 2016).

- PA: Se emplea en la fabricación artesanal de ladrillos, obtención de pasta de celulosa, alimentación animal, generación de energía, producción de bioetanol y químicos orgánicos (Abril et al. 2009; Jin & Chen, 2007; Saha et al. 2005). Para ello se aplican pretratamientos físicos como la vaporización, trituración y molienda, irradiación con haz de electrones o microware, temperatura y presión; químicos como el álcali con NaOH o KOH, amonio, ácido con HCl o H_2SO_4 , agentes oxidantes, Organosolv y biológicos usando hongos de pudrición blanca. Los tratamientos consideran hidrólisis enzimática, sacarificación y fermentación simultáneas (SSF) o procesos separados de hidrólisis y fermentación enzimática (SHF) (Binod et al. 2010).
- CB/CPL: De ella se extraen compuestos activos para la industria farmacéutica y de alimentos, fertilizantes. Sirve como sustrato para producir combustibles, generación de energía, ácidos orgánicos, enzimas y azúcares, material adsorbente de metales pesados. También se emplea en la alimentación animal. Las etapas de procesamiento incluyen lavado, secado, reducción de tamaño, extracción con solventes, fermentación, combustión, gasificación, pirólisis, hidrólisis química o enzimática (Pathak et al. 2016; Vu et al. 2018).
- RB/RP: Sirve como material de relleno, refuerzo o aislamiento térmico en el campo de la construcción, para producir biocarbón y generar energía. Se aplican tratamientos de hidrólisis química o enzimática, gasificación, combustión y pirólisis en su procesamiento (Deumaga et al. 2015; Marín Armijos et al. 2018; Rojas et al. 2019; Roldan et al. 2015).

- HB/HP: Tiene aplicaciones culturales en la elaboración de vasijas de barro, ropa y como material de envoltura para alimentos, pero también se utiliza para la producción de biogás. Se utilizan diferentes métodos de pretratamiento como el químico, físico, físico-químico y biológico (Richard et al. 2020).
- PB/PP: Las fibras del pseudotallo se extraen de manera mecánica para reemplazar las fibras sintéticas usadas en la fabricación de telas, suelas para calzados, revestimiento de pisos, papel, cuerdas, artesanía, refuerzos en materiales utilizados en partes de automóviles y en la construcción. También se aplican tratamientos alcalinos y con ácidos orgánicos, para blanqueo y despulpado, obtención de tintes (Li et al. 2010; Preethi & Balakrishna, 2013).
- VC: Se emplean para la fabricación de pulpa y papel, biocarbón y generación de energía, a través de hidrólisis química, procesos de combustión, gasificación y pirólisis (Daud et al. 2013; Marín Armijos et al. 2018).
- BA: Representa una fuente de energía y materia prima en la elaboración de papel y celulosa, acetato de celulosa, ésteres celulósicos, derivados de la lignina, furfural, alcohol furfurílico, ácido luvínico, ácido fórmico, alcohol etílico, proteína unicelular, carbón activado, aglomerados, placas prensadas y en raciones animales (Ruíz, 2000). Se emplean tratamientos físicos, químicos y biológicos o una combinación de estos, para su transformación.
- CM, RM, MM: Sirve como alimentación animal, producir una amplia variedad de productos como furfural, xilitol y carbón activado, generar calor y energía. Se aplican procesos de molienda, combustión, gasificación y pirólisis (Kaliyan & Morey, 2010; Tryner et al. 2014).

- RN: A partir de estos residuos se obtienen aceites esenciales y extractos para la fabricación de alimentos funcionales y nutracéticos, recuperación de compuestos antimicrobianos, a partir de hidrodestilación, hidrólisis ácida y enzimática (Ademosun et al. 2016; Tsouko et al. 2020).
- RPA: Se usa como suplementos de carbono para suelos y retorno de nutrientes. También sirve para la producción de biocrudo, biocarbón, bioetanol, pulpa de papel de celulosa, compuestos de fibra y generación de energía, a través de procesos de combustión, pirólisis y conversión hidrotérmica (Van Dam, 2017).
- CPA: Sirven para generación de energía por combustión, gasificación o pirólisis (Van Dam, 2017).
- CP: Se usa para alimentación animal, producción de biocombustibles y carbón activado, usando procesos químicos, térmicos y biológicos (Jiménez A. et al. 2010; Önal et al. 2011)
- CÑ: Se emplea para la producción de carbón activado, furfural, adsorbente de colorantes y generación de energía. Se transforma con procesos de combustión, gasificación, pirólisis y fermentación (Ardila Ramírez et al. 2018).
- TY: Tiene aplicaciones potenciales que incluyen producción de carbón activado, bioetanol, generación de energía y piensos para animales. Los procesos contemplan pretratamiento alcalino con NaOH, sacarificación y fermentación simultáneas (SSF), sacarificación y fermentación separadas (SHF). (Castaño Peláez et al. 2013).

El tratamiento de biomásas lignocelulósicas, tales como los residuos agrícolas, a través de solventes químicos, organosolv, iónicos u técnicas de ozonólisis requiere altos costos

operativos, planteando además un desafío ambiental debido a la formación de compuestos como furanos, fenoles y ácidos carboxílicos, los cuales son inhibidores de microorganismos usados en procesos fermentativos. En contraparte están los métodos biológicos, que son mucho más respetuosos con el medio ambiente, pero requieren el desarrollo de consorcios microbianos específicos que garanticen la economía del proceso (Richard et al. 2020).

El último subcriterio del criterio industrialización fue el consumo energético requerido en la transformación de los residuos, para lo cual se consideró el poder calorífico superior (PCS) de cada uno de estos, como una medida del potencial energético que estos tienen para autoabastecer el proceso (Figura 5.20).

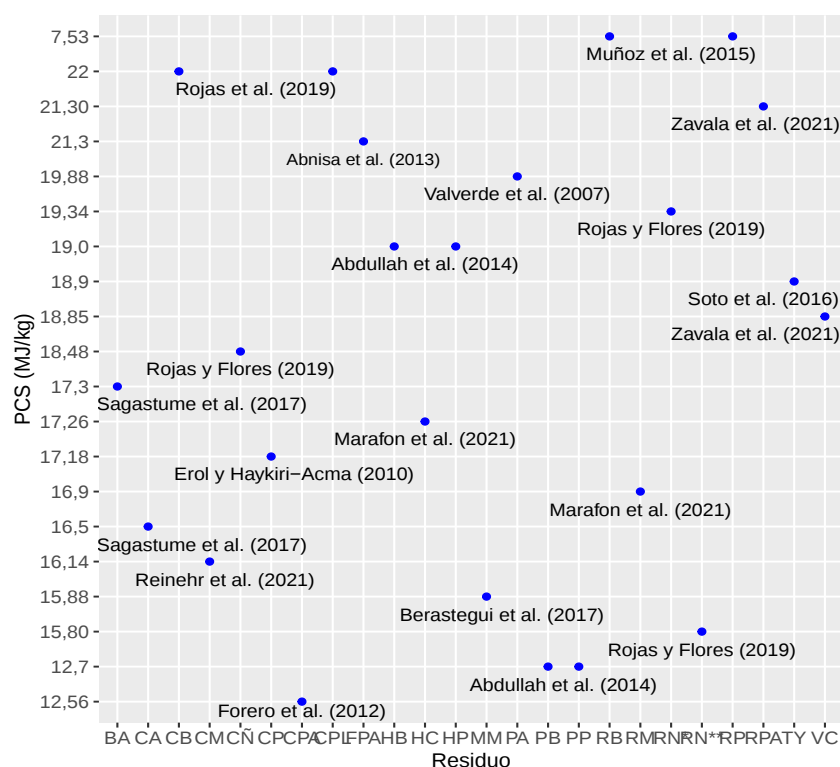


Figura 5.20: Potencial calorífico de los residuos estudiados

En el impacto social-ambiental se tomó en cuenta la cercanía existente entre las co-

comunidades agrícolas y los centros poblados, para lo cual se representó sobre un mapa cantonal del país la ubicación de los cultivos y agroindustrias, identificando la cantidad de cantones (ciudades) adyacentes a estos (Figura 5.21). Desde el punto de vista de sostenibilidad en el uso de residuos, se consideró la cantidad de gases con efecto invernadero representados como dióxido de carbono equivalente ($CO_{2,equiv}$), que se pudiesen generar por quema de los residuos anteriormente estimados (Figura 5.22). Por último, se valoró la posibilidad de disponer leyes y normativas para promover el uso de cada residuo.

En el criterio geomorfológico, se utilizó el mapa vectorial donde se representan las redes viales del país que brindan acceso a los cultivos y agroindustrias (Figura 5.23), permitiendo identificar aquellos con mayor número de autopistas, calles y carreteras disponibles. También se consideró la elevación del terreno donde se encuentran los cultivos y agroindustrias (Figura 5.24), teniendo así siete tipos de pendientes según la inclinación existente: Abruptas (>200) %, escarpada ($>100 - 150$) %, muy fuerte ($>70 - 100$) %, fuerte ($>40 - 70$) %, media a fuerte ($25 - 40$) %, media ($12 - 25$) %, suave ($5 - 12$) %, muy suave ($2 - 5$) %. Se evaluó además el riesgo sísmico existente en el país, como una amenaza a los cultivos y centros de procesamiento agroindustrial (Figura 25). Se identificaron siete áreas en función del potencial de daño en caso de materializarse un movimiento telúrico, expresado en base a la aceleración sísmica (g): muy leve ($0.039 - 0.092$)g, leve ($0.092 - 0.18$)g, moderado ($0.18 - 0.34$)g, moderado a fuerte ($0.34 - 0.65$)g y fuerte ($0.65 - 1.24$)g.

Usando los criterios, subcriterios y alternativas de selección anteriormente descritos, se elaboró la estructura jerárquica de decisiones (Figura 5.26). A continuación, se emplearon las ponderaciones asignadas por el panel de expertos en la construcción de las matrices de comparación pareada, siguiendo el proceso de jerarquía analítica difusa. Los resultados de las matrices con números triangulares, se convirtieron en números reales, se normali-

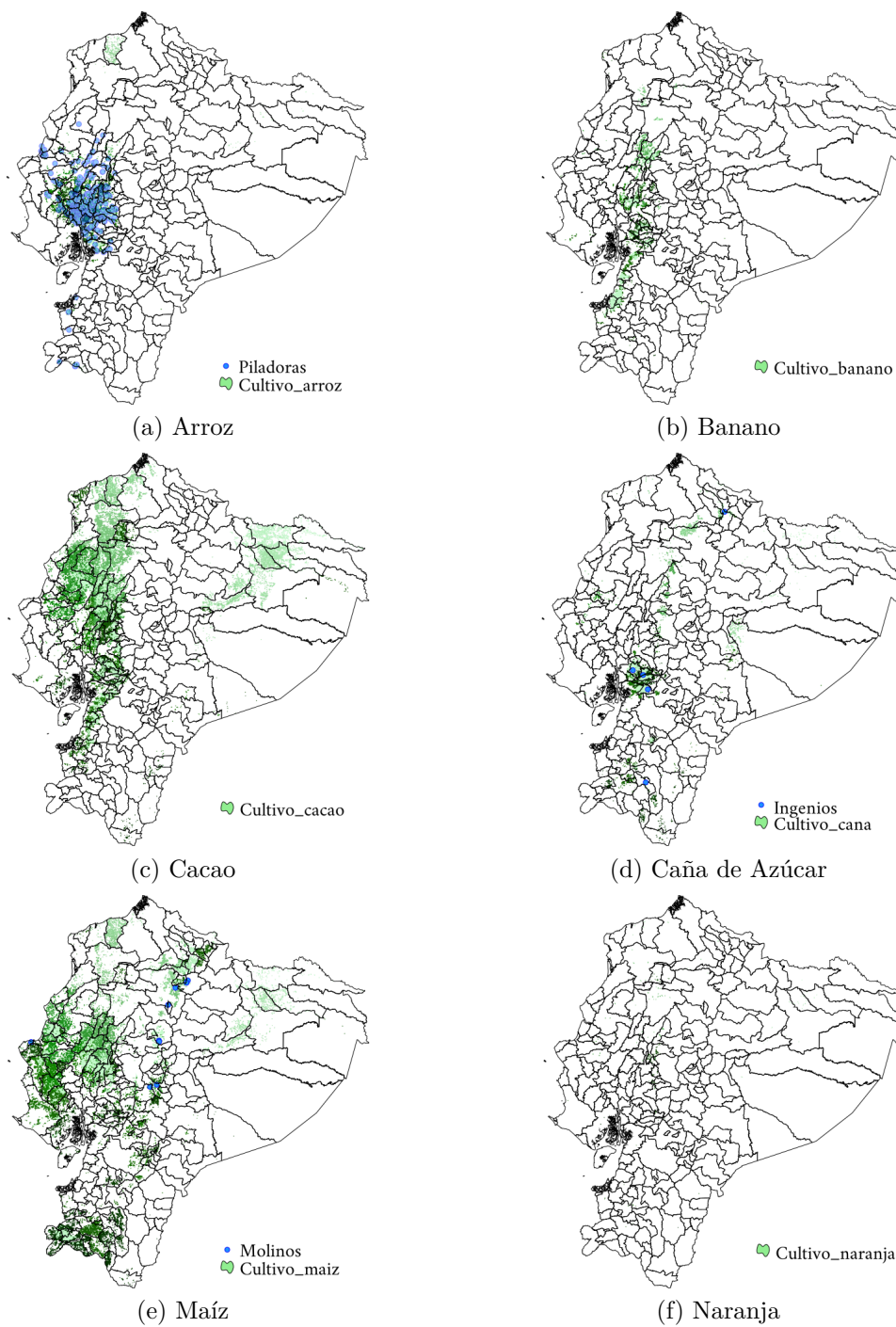


Figura 5.21: Distribución cantonal de cultivos y agroindustrias en Ecuador

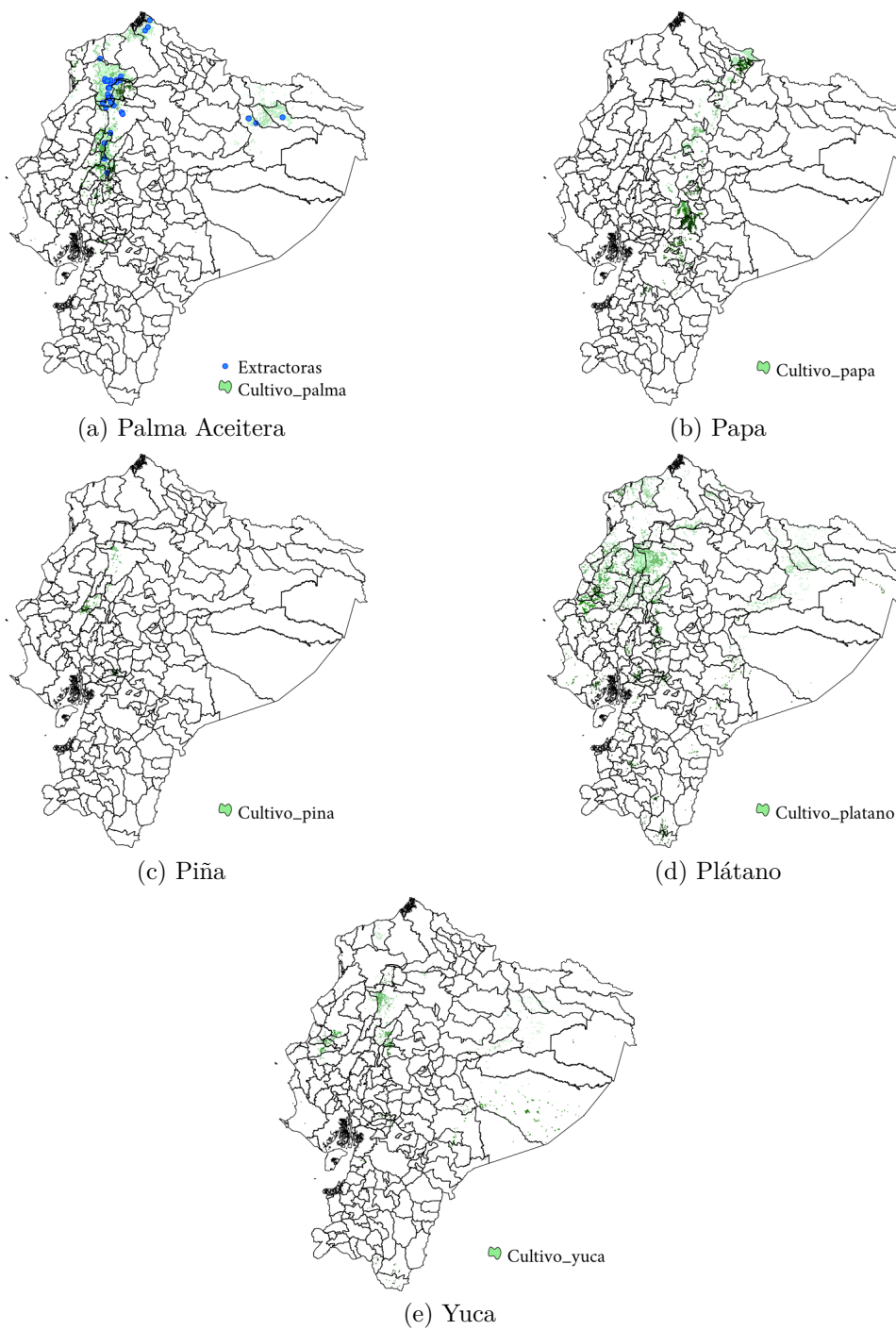


Fig. 5.21 (Cont.)

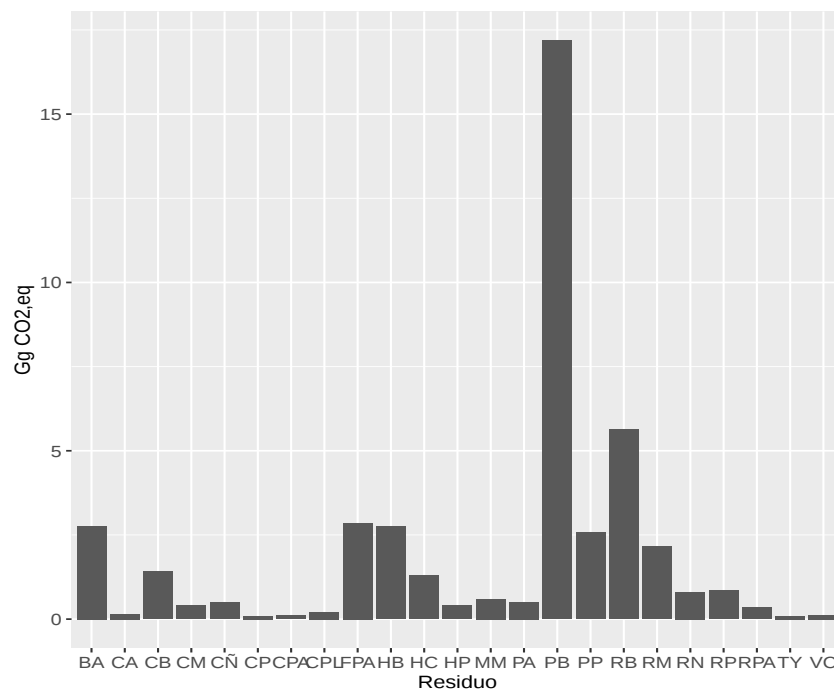


Figura 5.22: Gg de CO_2 equivalente por combustión de residuos

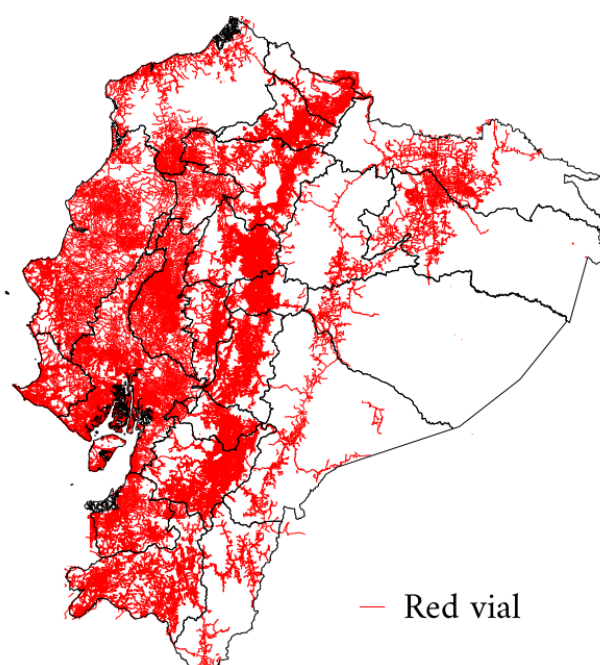


Figura 5.23: Red vial del país con accesos a cultivos y agroindustrias

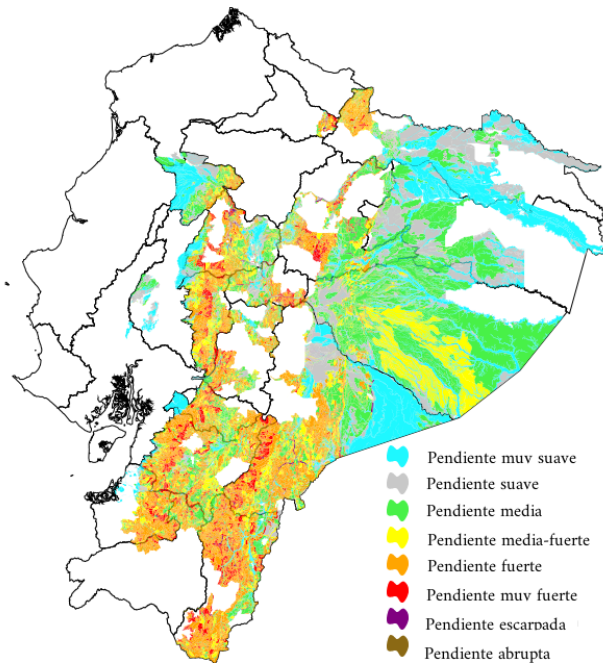


Figura 5.24: Mapa geomorfológico del Ecuador

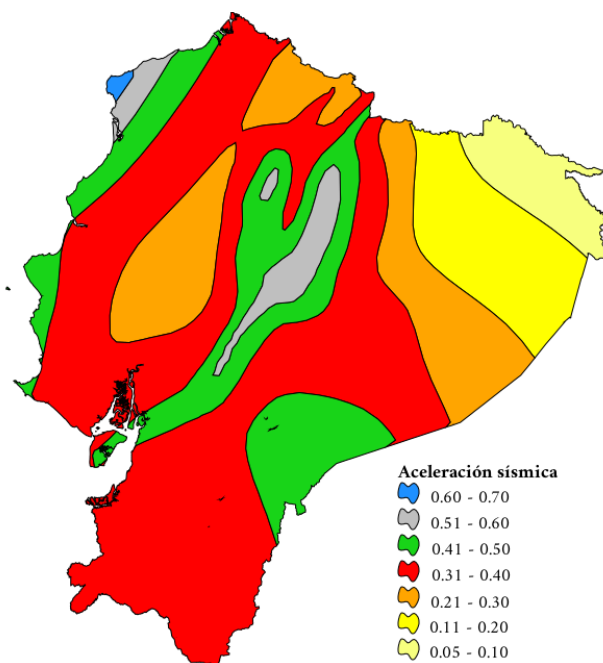


Figura 5.25: Mapa sísmico del Ecuador

zaron y con ello se obtuvo el vector prioridad de los criterios, subcriterios y alternativas planteadas (Tablas 5.7 y 5.8). Esta información se utilizó para calcular los pesos globales de cada alternativa y de este modo, reconocer aquellos con mayor potencial para usarlos en la producción de bioplásticos (Figuras 5.27 a 5.29). Para cada criterio y subcriterio de decisión ponderado, se calculó la razón de consistencia (Tabla 5.9). También se efectuó un análisis de sensibilidad, a fin de evaluar la variación que se produce en los pesos globales, al cambiar las ponderaciones de los criterios (Figuras 5.30 a 5.33)

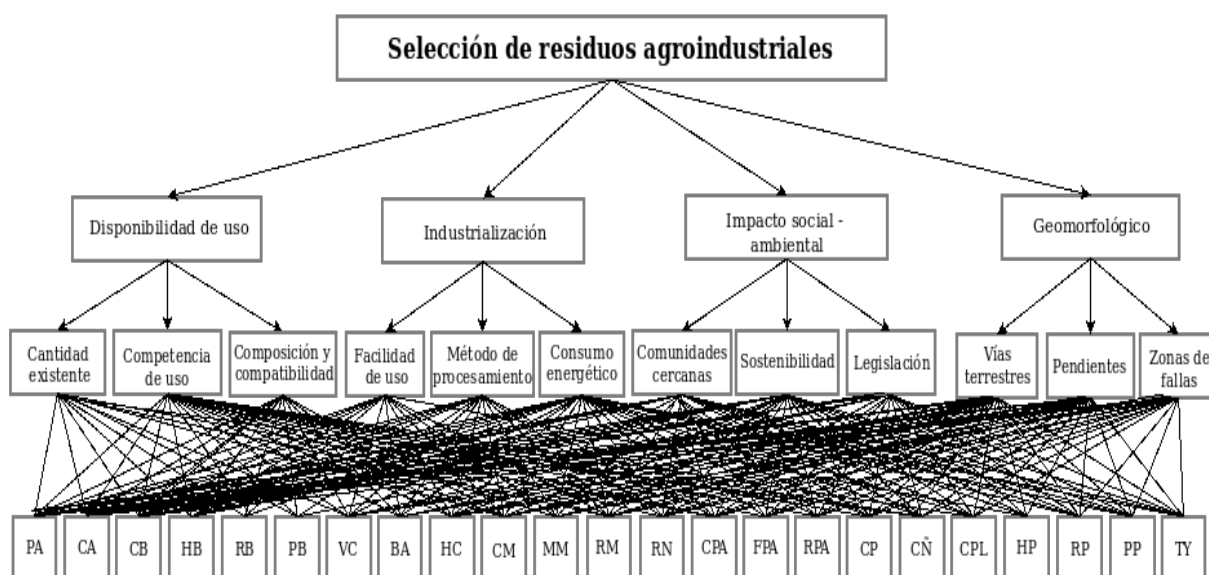


Figura 5.26: Proceso de Jerarquía Analítica - AHP

5.1.5. Localización de plantas

Una vez que se procesaron los resultados del proceso de jerarquía analítica, se agruparon por rubros agrícolas, encontrando que los tres con mayor ponderación para ser utilizados como materia prima en la producción de bioplástico son: banano, plátano y maíz (Figura 5.34), razón por la cual se utilizó la ubicación geográfica de dichos cultivos

Tabla 5.7: Vector prioridad de criterios y subcriterios

C1	PC	Subcriterio	PSc	PF
C1: Disponibilidad del residuo	0,334	SC1: Cantidad existente	0,317	0,106
		SC2: Competencia de uso	0,396	0,132
		SC3: Composición y compatibilidad	0,288	0,096
C2: Industrialización	0,213	SC1: Facilidad de uso	0,418	0,089
		SC2: Método de procesamiento	0,272	0,058
		SC3: Consumo energético	0,310	0,066
C3: Impacto social-ambiental	0,371	SC1: Comunidades cercanas	0,274	0,102
		SC2: Sostenibilidad y ciclo de vida	0,499	0,185
		SC3: Leyes y normativas	0,227	0,084
C4: Geomorfológico	0,082	SC1: Vías terrestres	0,482	0,040
		SC2: Pendientes	0,307	0,025
		SC3: Zonas de fallas	0,212	0,017

PC: Peso criterio, PSc: Peso subcriterio, PF: Peso final

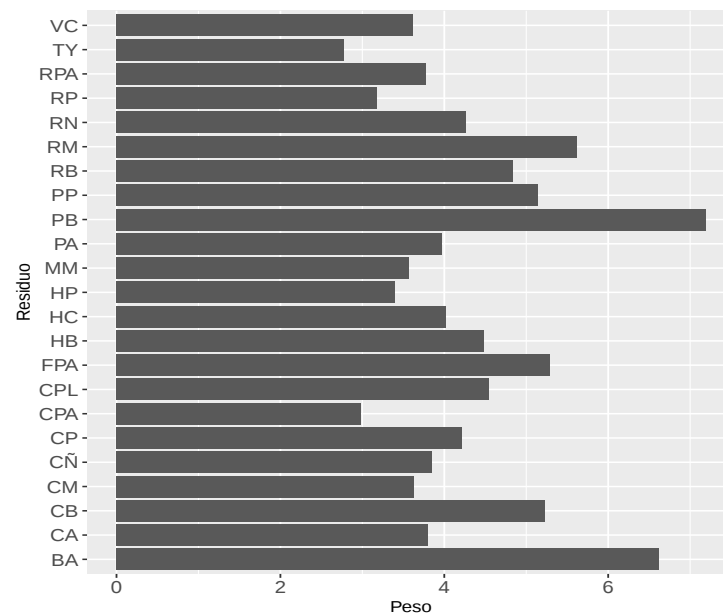


Figura 5.27: Prioridad de alternativas evaluadas

Tabla 5.8: Vector prioridad de alternativas por criterios y subcriterios

	C1			C2			C3			C4		
*Alt.	SC1	SC2	SC3	SC1	SC2	SC3	SC1	SC2	SC3	SC1	SC2	SC3
PA	0,022	0,031	0,024	0,047	0,054	0,075	0,042	0,032	0,057	0,039	0,056	0,048
CA	0,013	0,045	0,026	0,063	0,046	0,025	0,042	0,024	0,069	0,038	0,054	0,050
CB	0,044	0,062	0,032	0,070	0,040	0,130	0,026	0,043	0,059	0,042	0,045	0,047
HB	0,066	0,042	0,010	0,037	0,031	0,076	0,027	0,058	0,044	0,046	0,049	0,050
RB	0,125	0,029	0,028	0,028	0,036	0,008	0,025	0,078	0,030	0,045	0,052	0,053
PB	0,200	0,038	0,124	0,027	0,037	0,011	0,024	0,107	0,027	0,046	0,050	0,051
VC	0,014	0,052	0,025	0,045	0,047	0,043	0,050	0,021	0,045	0,037	0,040	0,041
BA	0,072	0,090	0,084	0,071	0,073	0,031	0,049	0,062	0,078	0,044	0,031	0,032
HC	0,043	0,038	0,028	0,048	0,037	0,031	0,028	0,052	0,046	0,052	0,027	0,029
CM	0,023	0,041	0,006	0,048	0,050	0,022	0,053	0,032	0,048	0,048	0,046	0,046
MM	0,022	0,028	0,051	0,030	0,044	0,016	0,054	0,038	0,025	0,046	0,048	0,048
RM	0,055	0,027	0,095	0,045	0,049	0,022	0,131	0,049	0,041	0,035	0,048	0,048
RN	0,035	0,049	0,029	0,048	0,051	0,056	0,024	0,054	0,041	0,039	0,030	0,030
CPA	0,014	0,039	0,011	0,031	0,058	0,010	0,048	0,022	0,034	0,046	0,033	0,036
FPA	0,065	0,029	0,049	0,033	0,026	0,097	0,048	0,085	0,032	0,042	0,034	0,033
RPA	0,018	0,042	0,032	0,032	0,035	0,065	0,061	0,031	0,034	0,044	0,035	0,036
CP	0,013	0,050	0,089	0,060	0,061	0,028	0,025	0,020	0,054	0,048	0,051	0,051
CÑ	0,020	0,054	0,029	0,056	0,059	0,036	0,014	0,028	0,057	0,048	0,055	0,054
CPL	0,017	0,071	0,030	0,062	0,050	0,066	0,045	0,027	0,059	0,048	0,051	0,051
HP	0,021	0,036	0,011	0,039	0,028	0,071	0,045	0,028	0,036	0,038	0,040	0,040
RP	0,032	0,037	0,030	0,029	0,031	0,008	0,048	0,026	0,029	0,046	0,042	0,041
PP	0,051	0,044	0,124	0,027	0,031	0,012	0,058	0,060	0,029	0,053	0,042	0,042
TY	0,014	0,024	0,033	0,023	0,025	0,061	0,032	0,022	0,025	0,028	0,041	0,043

*Alt.: Alternativa

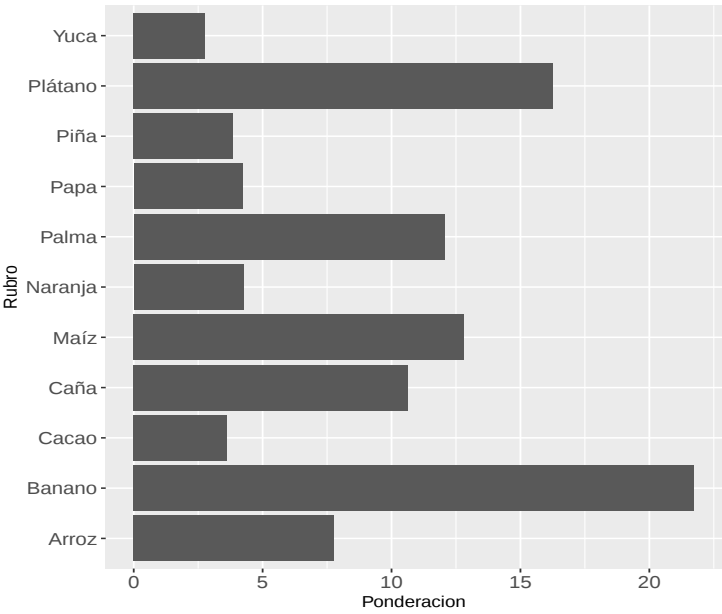


Figura 5.28: Prioridad por rubros agrícolas

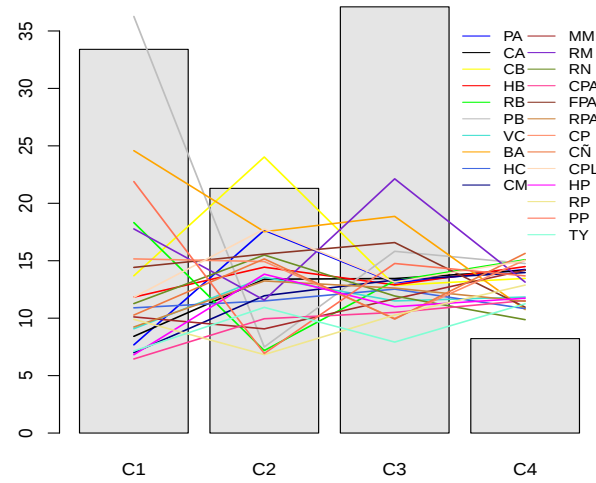


Figura 5.29: Prioridad de criterios vs. alternativas evaluadas

Tabla 5.9: Razón de consistencia

Matriz	CR _m	CR _g
Comparación de criterios	0,033	0,095
C1: Disponibilidad	0,022	0,056
C2: Industrialización	0,037	0,092
C3: Impacto social - ambiental	0,034	0,083
C4: Geomorfológico	0,037	0,092
C1SC1: Cantidad existente	0,034	0,084
C1SC2: Competencia de uso	0,026	0,088
C1SC3: Composición y compatibilidad	0,040	0,100
C2SC1: Facilidad de uso	0,027	0,085
C2SC2: Método de procesamiento	0,032	0,089
C2SC3: Consumo energético	0,040	0,100
C3SC1: Sostenibilidad	0,056	0,091
C3SC3: Leyes y normativas	0,021	0,064
C4SC1: Vías terrestres	0,065	0,097
C4SC2: Pendientes	0,017	0,050
C4SC3: Zona de fallas	0,017	0,049

CR_m: consistencia de valor medio

CR_g: consistencia de límite superior e inferior

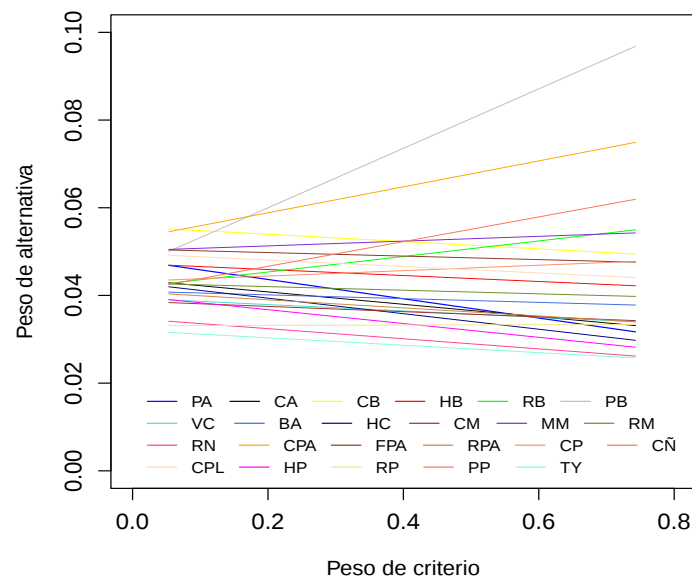


Figura 5.30: Análisis de sensibilidad para C1: Disponibilidad

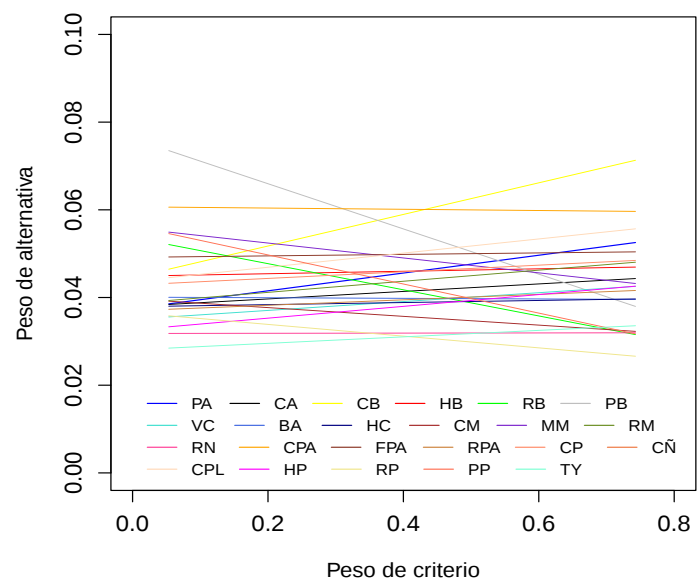


Figura 5.31: Análisis de sensibilidad para C2: Industrialización

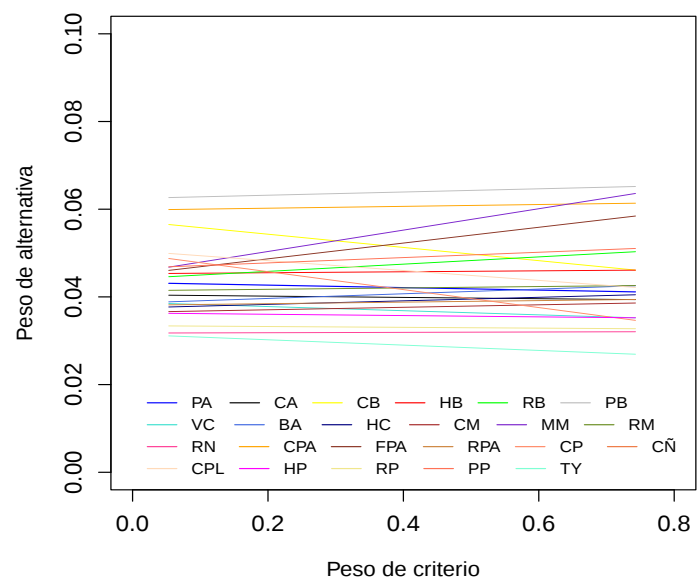


Figura 5.32: Análisis de sensibilidad para C3: Impacto social - ambiental

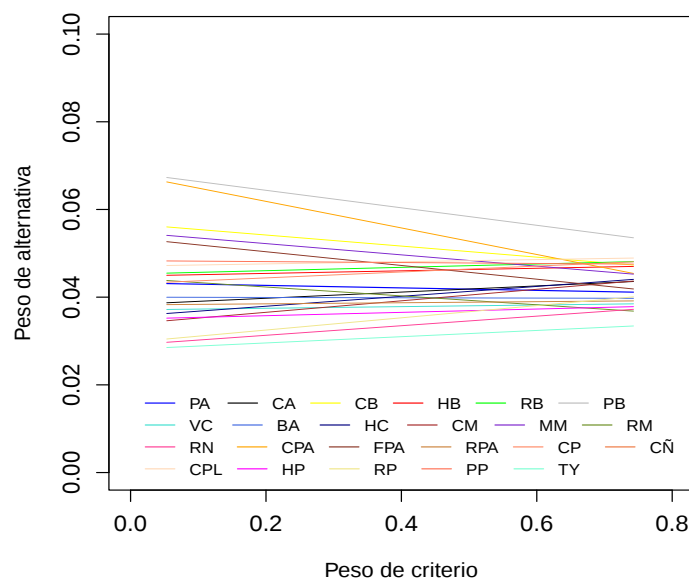


Figura 5.33: Análisis de sensibilidad para C4: Geomorfológico

para realizar la respectiva clusterización.

Previo a la clusterización, se determinó el número de clúster recomendado a través del método del codo (Figura 5.35), con lo cual se considera crear 3, 4 o 5 clúster. Para validar este resultado, se utilizó el método CLARA (Clustering Large Applications), que combina la idea de K-medoides con el remuestreo (Figuras 5.36 a 5.38). No fue posible analizar todo el dataset, debido a que el volumen de datos exigía una alta capacidad computacional.

El coeficiente de Silueta fue ligeramente superior al trabajar con 3 centroides, pero debido a la cercanía de los resultados se decidió clusterizar con $k = 3, 4$ y 5 (Figuras 5.39 al 5.41), para evaluar posibles ubicaciones de las biorrefinerías y determinar el costo de transporte asociado a través de un análisis de redes vectoriales posterior. La ubicación del centroide del clúster correspondiente a la ubicación de la biorrefinería, se hizo teniendo

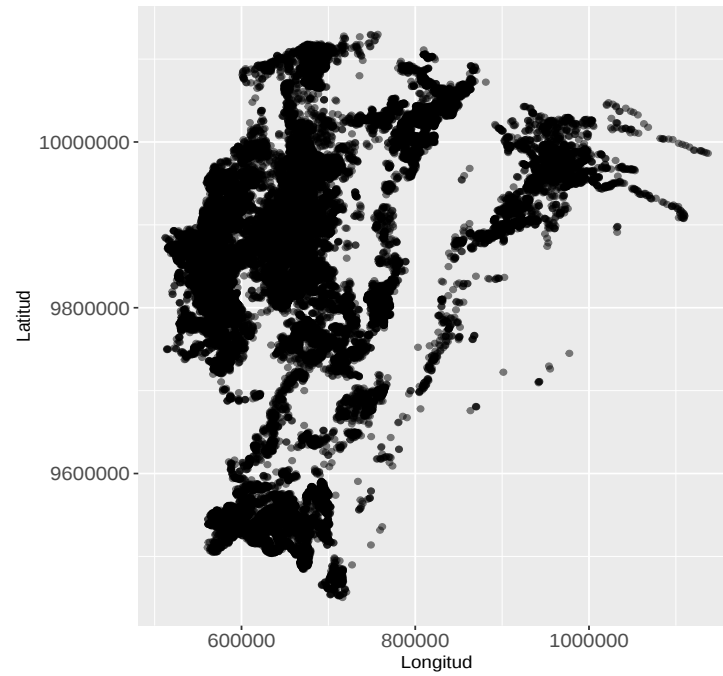


Figura 5.34: Ubicación de residuos a considerar para la localización de plantas

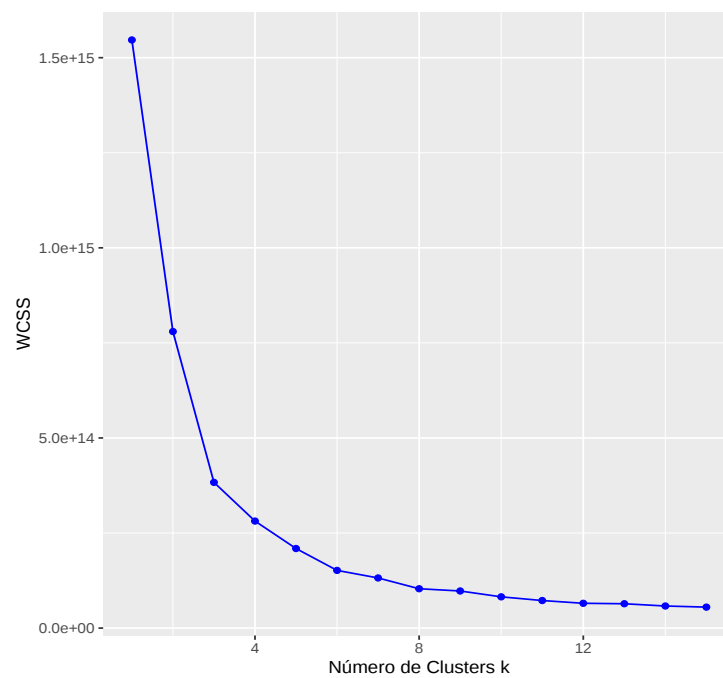


Figura 5.35: Método del codo

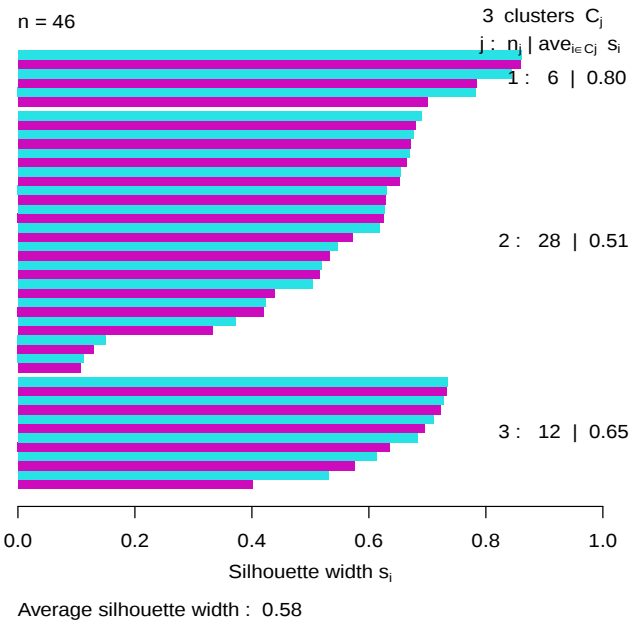


Figura 5.36: Método de silueta, $k = 3$

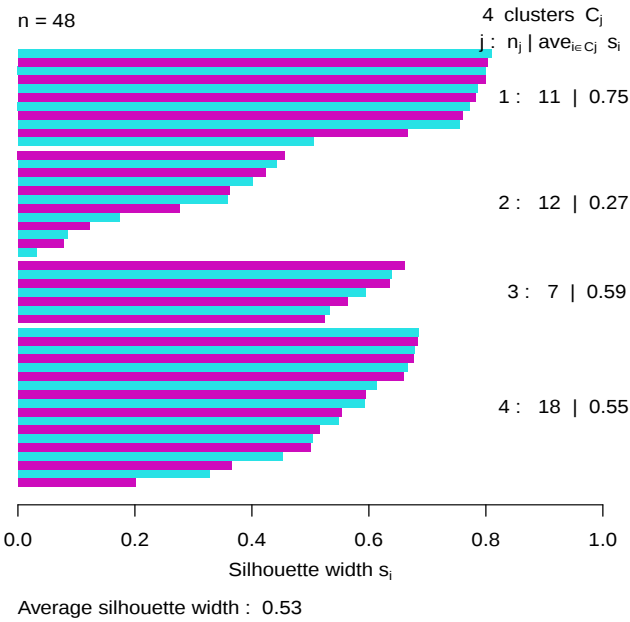


Figura 5.37: Método de silueta, $k = 4$

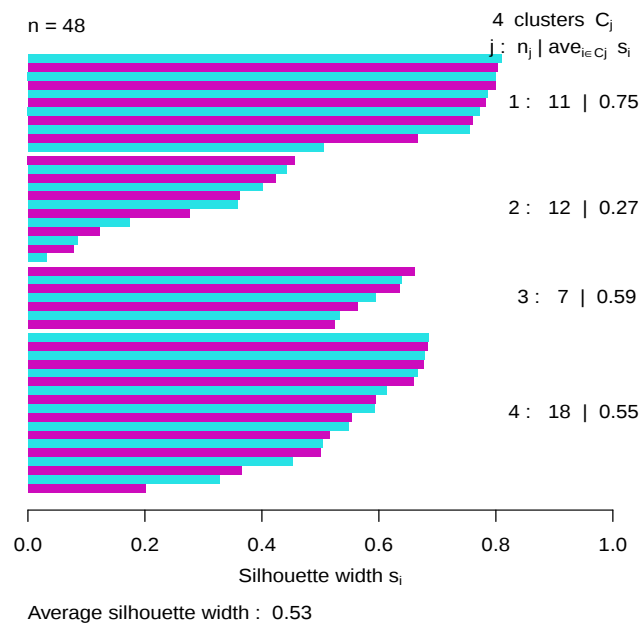
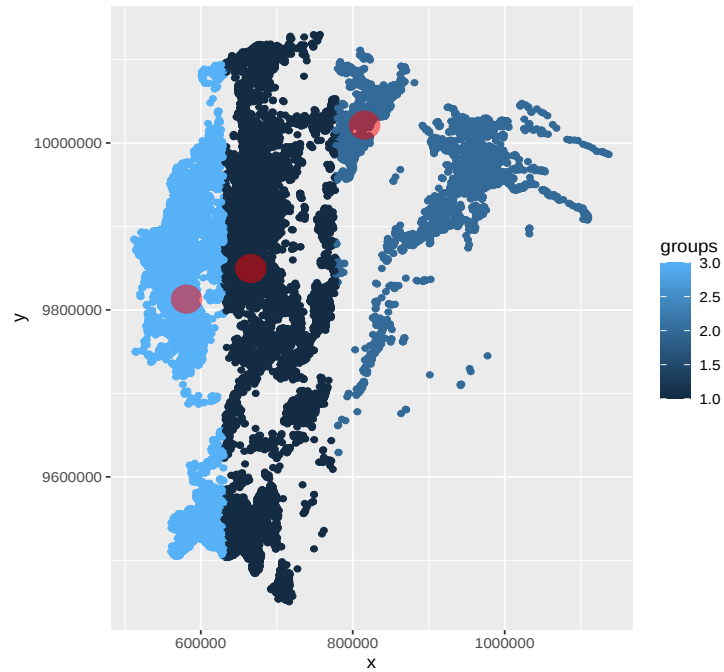
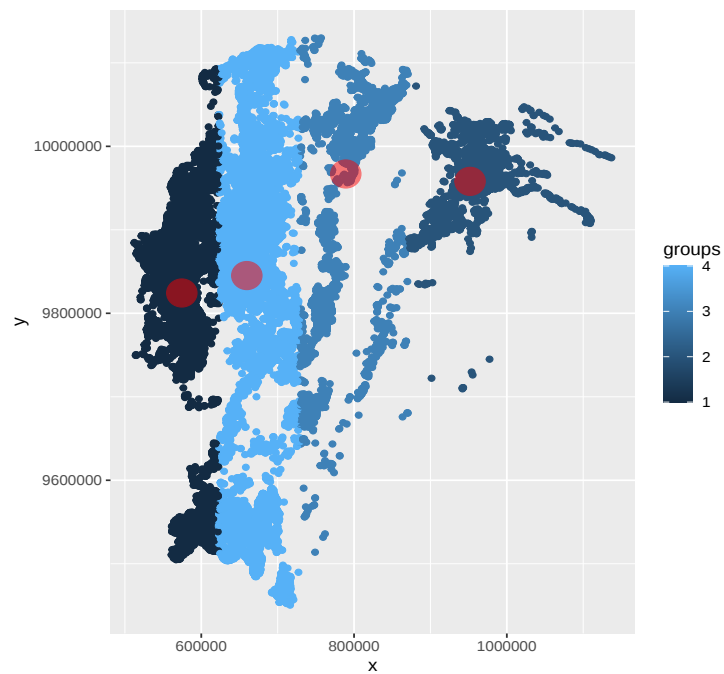
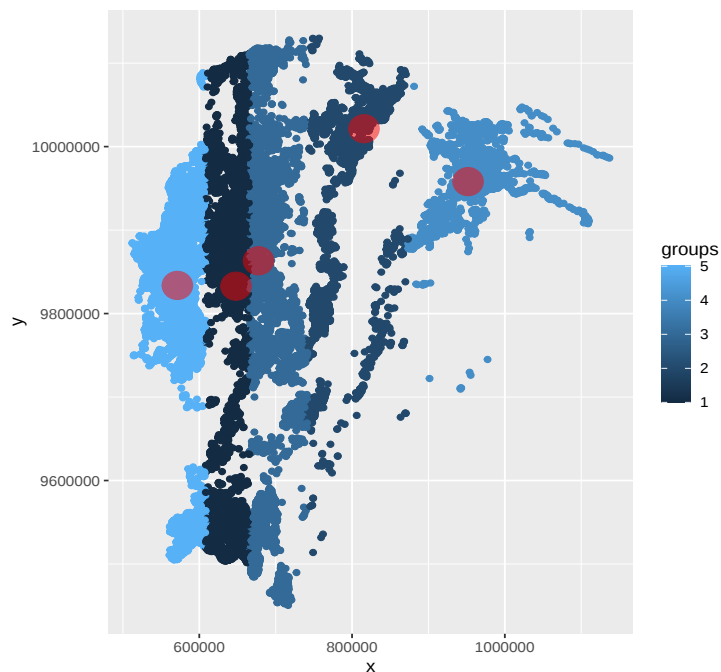


Figura 5.38: Método de silueta, $k = 5$

en cuenta el tamaño del área cultivada ya que se infiere que mientras más grande es, probablemente mayor será la cantidad cultivada y por ende mayor la cantidad de residuos disponibles.

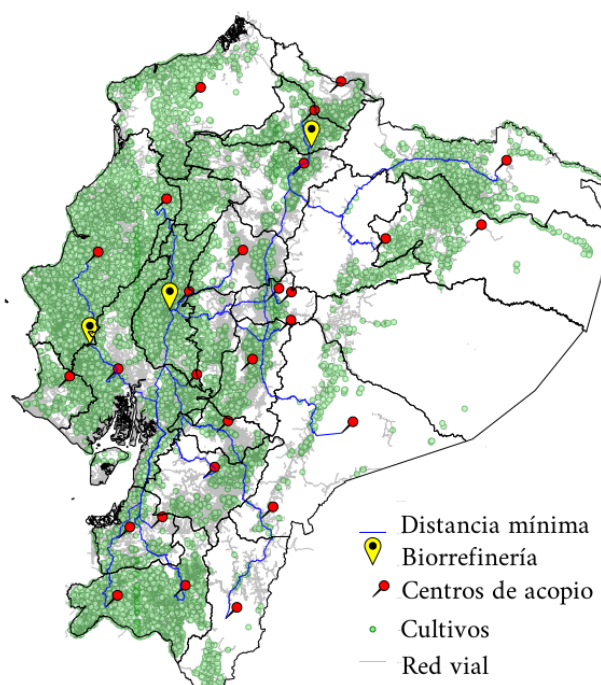
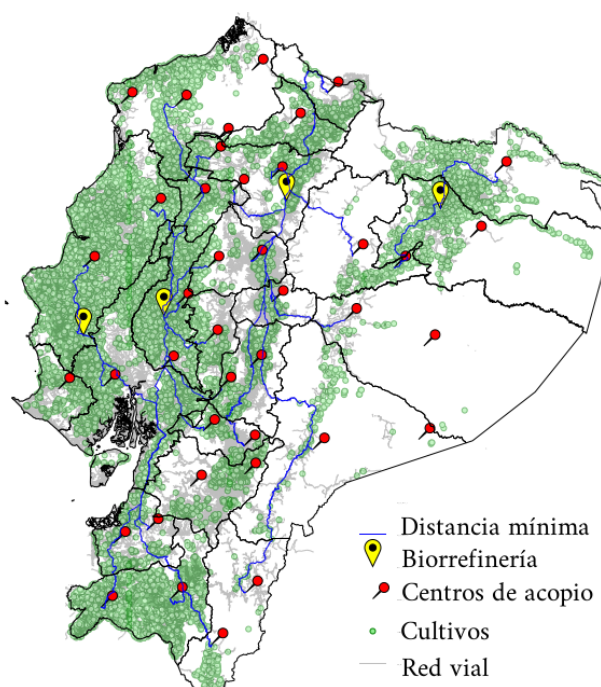
Los datos clusterizados se utilizaron en el análisis de redes vectoriales, para determinar cual de los agrupamientos proporciona el menor recorrido durante el traslado de la materia prima (residuos agroindustriales) para su procesamiento. La ubicación de los cultivos con mayor ponderación en el AHP (banano, plátano, maíz) considerados como puntos de generación de residuos, se utilizaron para calcular los centroides de cada polígono que a su vez serían los centros de acopio o almacenamiento de los residuos. Estos últimos se conectaron a las vías terrestre del país, previo al cual se limpiaron los errores topológicos presentes en el mapa que contenía la información geoespacial de las redes viales del país, de modo que se lograra la mayor conexión posible de puntos.

Figura 5.39: Clusterización para $k = 3$ Figura 5.40: Clusterización para $k = 4$

Figura 5.41: Clusterización para $k = 5$

Finalmente se conectaron los puntos correspondientes a la ubicación de los centros de acopio con la ubicación de una biorrefinería, a través de su distancia mínima. Se estableció como criterio una distancia máxima de 30 km entre la red vial y la ubicación de los centros de acopio y de 200 km entre los centros de acopio y las biorrefinerías (Figura 5.42 al 5.44).

Los diseños propuestos conciben el traslado de los residuos por parte de los generadores, desde su ubicación hasta el centro de acopio más cercano. El número de centros de acopio se definió en función al área cultivada y el número de biorrefinerías. En cada caso se determinó la distancia recorrida por traslado de materia prima, desde el lugar de almacenamiento hasta su lugar de procesamiento más cercano, exceptuando aquellos cuya distancia excedían el valor máximo previsto. El procedimiento realizado para cada agrupamiento, permitió encontrar la ruta más corta así como la distancia existente entre la ubicación de los centros de acopio y la biorrefinería más cercana (Tablas 5.10 y 5.11).

Figura 5.42: Análisis de redes vectoriales con $k = 3$ Figura 5.43: Análisis de redes vectoriales con $k = 4$

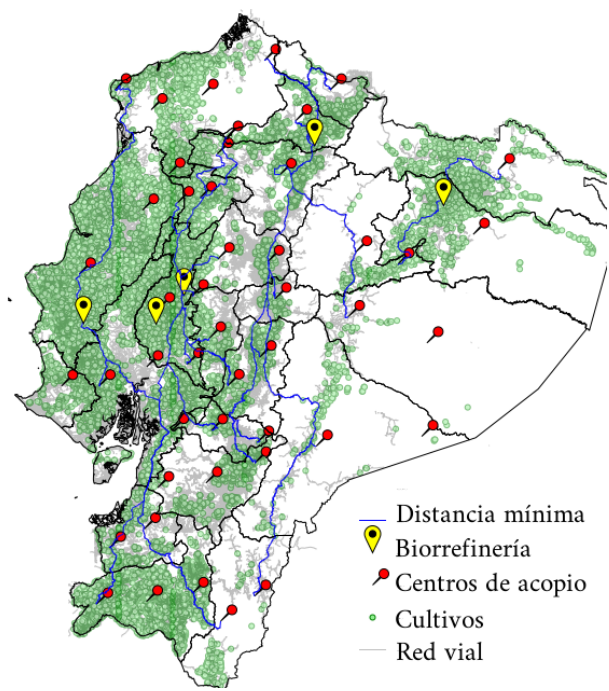


Figura 5.44: Análisis de redes vectoriales con $k = 5$

Tabla 5.10: Resultado del análisis de redes vectoriales

Variable	N° de biorrefinerías		
	3	4	5
N° de centros de acopio	28	40	47
N° de centros de acopio no conectados*	8	10	16
Distancia recorrida por traslado (km)**	649,11	1312,70	1567,16

*No conectados a la red vial

**Desde el centro de acopio hasta la biorrefinería

Tabla 5.11: Centros de acopio por biorrefinería

N° de biorrefinerías	N° centros de acopio calculado					N° de centros de acopios no conectados a la red				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
3	15	5	8	-	-	5	1	2	-	-
4	15	14	5	6	-	2	3	3	2	-
5	9	14	13	6	5	9	3	0	1	3

Se prosiguió con la optimización multiobjetivo, usando el modelo matemático descrito. La distancia recorrida por traslado desde el centro de acopio hasta la biorrefinería más cercana, se tomó del análisis de redes vectoriales realizado. El costo de transporte varía en función de las características del vehículo de carga a utilizar, por tanto se calculó para un vehículo con capacidad de 25 a 50 Ton, cuyo costo según prestadores locales del servicio es en promedio 1,32 \$/km. El costo del residuo del banano, plátano y maíz fue de 0,027 \$/kg; 0,05 \$/kg y 0,048 \$/kg respectivamente, calculado como el 10 % del precio actual del fruto fresco en el mercado local. El costo del preprocesamiento *in situ* varía según el proceso aplicado (densificación, secado, peletizado). En este caso se trabajó con un costo de 41,15 \$/Tn, tomando como referencia valores promedios a los reportados para el preprocesamiento de residuos agroindustriales en el sitio de almacenamiento temporal (Albashabsheh & Stamm, 2019).

El costo del almacenamiento depende de las características que posea el sitio destinado para tal fin. Este puede ser a cielo abierto, cubierto con clima controlado, en silos de ensilaje, contenedor de acero u hormigón con un costo que va desde 1,04 a 90,48 \$/m³.año (Chaoui & Eckhoff, 2014; Rentizelas, 2016). Las densidades aparentes de algunas materias primas lignocelulósicas a granel, oscila entre 40 y 250 kg/m³ para la paja agrícola y entre 130 y 400 kg/m³ para la biomasa leñosa (Yan et al. 2020). De acuerdo a lo señalado, se trabajó con un costo de almacenamiento de 90,48 \$/m³.año y una densidad 250 kg/m³. El factor de emisión para el diésel fue de 0,05 kg CO₂,equiv/TEU.km, donde 1 TEU = 10 Tn (World Resources Institute AND World Business Council for Sustainable Development, 2013). El precio del carbono es un instrumento que captura los costos externos de las emisiones de GEI, cuyo rango de precios oscila entre 5 \$/Tn CO₂,equiv y más de 400 \$/Tn CO₂,equiv según el país, el año y el sector para el que se deba tomar una decisión.

En esta investigación, se trabajó con un valor de 5 \$/Tn $CO_2, equiv$ para el costo por emisiones de $CO_2, equiv$ (The World Bank, 2021).

Como restricciones se utilizó la cantidad de residuos disponibles y el tiempo máximo de almacenamiento de los residuos. A través del comando *v.extract* de GRASS GIS, se extrajo de manera aleatoria el 40 % del total de las áreas cultivadas para estimar la cantidad de residuos disponibles, según lo recomendado para asignar datos de entrenamiento en modelos predictivos basados en árboles de decisión (Sarma, 2017). El tiempo máximo de almacenamiento puede variar en dependencia del tipo de biomasa. Algunos estudios han trabajado con tiempos de hasta 2 años para algunos tipos de residuos, con pérdidas entre 10 % y 30 % (Nakashima et al. 2017; Shinnars et al. 2007); sin embargo se estableció como máximo 30 días con el fin de evitar el deterioro de la biomasa y a su vez dar mayor aprovechamiento al espacio destinado como centro de acopio.

El modelo matemático para la optimización multiobjetivo se realizó para los tres casos supuestos con 3, 4 y 5 biorrefinerías. En las ec. (5.1) a (5.3) se presentan f_1 , sus restricciones y f_2 , para 3 biorrefinerías, aunque el procedimiento se repitió para los otros dos casos. Para el modelo descrito, se ejecutó el paquete *nsga2R* con 10, 50, 100, 1.000 y 5.000 generaciones con una población de 100; sin embargo la mayor cantidad de resultados posibles se obtuvo con 10 generaciones, razón por la cual se trabajó con este valor. Los resultados máximos y mínimos correspondientes se presentan en la Tabla 5.12.

$$\begin{aligned}
f_1(x) = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{ij} * (1, 32) * (RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij}) + (RB_{ij} * 0, 027 * 1e6) \\
& + (RP_{ij} * 0, 05 * 1e6) + (RM_{ij} * 0, 048 * 1e6) \\
& + [(RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij}) * 41, 15 * 1e3] \\
& + [(RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij}) * \frac{T_{ij} * (90, 48 * 1e6)}{(365 * 250)}]
\end{aligned} \tag{5.1}$$

$$\begin{cases} RB_{ij} \leq 16.031.249; & RP_{ij} \leq 930.005,3; \\ RM_{ij} \leq 5.263.886; T_{ij} \end{cases} \tag{5.2}$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{D_{ij} * 0, 05 * 5 * (RB_{ij} + RP_{ij} + RM_{ij})}{1e4} \tag{5.3}$$

Tabla 5.12: Resultados de la optimización multiobjetivo

Nº de biorrefinerías	f_1 (\$)	f_2 (\$)	D (km)	RB (kTn)	RP (kTn)	RM (kTn)	T (días)
3**	227.320.837	753,36	15.780,90	1.359,02	92,62	457,90	24
4**	254.631.985	1.568,46	31.689,57	1.427,09	92,62	460,08	13
5**	278.906.304	1.903,78	37.849,46	1.402,77	166,92	442,26	14
3*	179.262.409	746,06	16.068,34	1.339,84	78,23	439,15	2
4*	222.509.088	1.484,62	31.661,29	1.347,19	82,09	446,35	3
5*	236.774.465	1.800,51	38.263,85	1.344,68	96,82	440,70	1

**Valores máximos, *valores mínimos

5.1.6. Aproximación del diseño

El diseño del proceso para la producción de bioplásticos, se concibió bajo un contexto de biorrefinación integral, incluyendo no sólo el almidón termoplástico (TPS) y el ácido

poliláctico (PLA), sino también otros productos usando como materia prima los residuos de los tres rubros con mayor ponderación en el AHP.

Se desarrollaron dos esquemas tecnológicos, el primero tanto para el banano y el plátano mientras que el segundo fue para el maíz. Tanto en el banano como en el plátano se tienen los mismos residuos: hojas de poda, cáscara, raquis y pseudotallo, teniendo por tanto cuatro componentes de análisis al inicio del proceso. Para el maíz son tres los componentes de análisis, correspondientes a los residuos identificados para este rubro: cascarilla, rastrojo y mazorca. De acuerdo a lo expresado en investigaciones previas y dependiendo de las rutas de procesamiento escogidas, es posible obtener diversos productos.

Pese a la gran variedad de productos de biorrefinación susceptibles de ser obtenidos, se trabajó con la glucosa y xilosa como moléculas plataforma para obtener principalmente biopolímeros, además de otros bioproductos que viabilicen la propuesta. Los procesos fueron concebidos en batch debido a que estos procesos están diseñados para funcionar de forma intermitente y se utilizan cuando se desea cierta flexibilidad en la tasa de producción o en las especificaciones del producto (Towler & Sinnott, 2012), lo cual se adapta al proceso estudiado. Las especificaciones del diseño, en cuanto a operaciones unitarias, condiciones operacionales, rendimientos, entre otros datos, fueron tomados de investigaciones previas donde se utilizó el mismo sustrato. La composición inicial de los residuos es la que se muestra en la Tabla 5.13.

Proceso de biorrefinación para los residuos del banano-plátano

- *Raquis y pseudotallo*: El residuo limpio y seco es molido para reducir su tamaño. El material pasa a una extracción con etanol al 95 % (v/v) mediante el método de extracción acelerada a una presión de 1500 psi, 100 °C de temperatura, 5 minutos

Tabla 5.13: Composición de los residuos usada en la simulación

Compuesto	Banano/ Plátano ^a			Maíz ^b		
	Cáscara	Hojas	Pseudotallo*	Cáscara	Mazorca	Rastrojo
Celulosa	30,00	40,00	49,33	40,00	43,00	37,11
Hemicelulosa	20,28	23,46	12,04	29,90	25,00	20,90
Lignina	16,77	10,58	13,88	11,60	14,60	13,51
Suciedad	2,31	4,71	2,14	0,65	2,73	4,25
Extractivos	6,00	6,00	5,23	3,05	3,77	7,00
Cenizas	11,54	6,20	4,95	1,70	1,70	6,83
Humedad	13,10	9,05	12,43	13,10	9,20	10,40

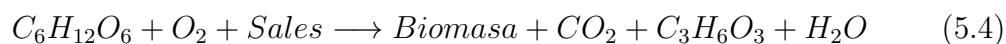
^aAbdullah et al. (2014), Oliveira et al. (2016), Kabenge et al. (2018), Bello et al. (2020), Subagyo y Chafidz (2020)

^bPortuguéz et al. (1992), Chen et al. (2007), Awosusi et al. (2017), Janqui Guzman (2018)

de calentamiento y 7 minutos de ciclo estático. El residuo seco, se somete a hidrólisis ácida con H_2SO_4 al 72 % a 30 °C durante 1 h. Pasado este tiempo, se agrega agua y se somete a calentamiento durante 1 h a 120 °C. El hidrolizado se filtra, para separar el residuo sólido del licor cuya concentración en glucosa y xilosa es de 36,32 g/L y 5,36 g/L respectivamente (Rambo et al. 2015). El licor pasa finalmente a la fermentación láctica y posterior polimerización.

- *Hojas de poda*: Las hojas lavadas y secas, se hacen pasar por un molino de tres rodillos para la extracción del jugo azucarado. El jugo obtenido se filtra y centrifuga, con el fin de separar la solución del bagazo. Luego se realiza un pretratamiento ácido con una solución 0,1 N de H_2SO_4 . La biomasa pretratada se lava extensivamente con agua hasta obtener pH neutro. A continuación, se realiza una hidrólisis enzimática con el propósito de aumentar la concentración de los azúcares reductores presentes. El licor obtenido se filtra y se lleva a la fase de fermentación láctica correspondiente (Fiallos-Cárdenas et al. 2021; Suhag & Kumar, 2020; Tan et al. 2019).

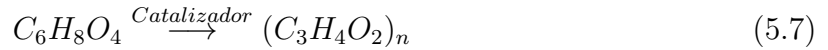
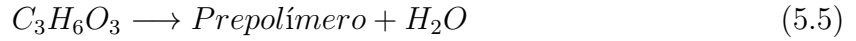
- *Cáscara*: Las cáscaras limpias y secas, se cortan y muelen para reducir su tamaño. En este punto el residuo se divide en dos flujos: uno para la obtención de PLA y otro para la producción de TPS. El primer flujo del residuo se lleva a una explosión de vapor y posterior hidrólisis ácida, para convertir la celulosa y hemicelulosa presente en azúcares fermentables. El hidrolizado se separa del residuo sólido por filtración y la glucosa obtenida se lleva al proceso de fermentación láctica, donde se une con la glucosa proveniente del raquis/pseudotallo y hojas de poda, para convertirse en ácido láctico mediante la reacción bioquímica que se presenta en la ec. (5.1).



En la producción biotecnológica de ácido láctico, se propone el uso de *Rhizopus oryzae*, por ser utilizada a nivel comercial debido a que puede producir directamente grandes cantidades de ácido láctico L (+), no requiere una fuente de nitrógeno orgánico para su crecimiento y dada su facilidad para separarse del medio de fermentación durante el proceso de recuperación y purificación. Se propone una concentración de glucosa de 11,1 g/L a la entrada del biorreactor para lograr un rendimiento de ácido láctico de 3,33 g/g (Kumar & Shivakumar, 2014).

La biomasa y las partículas sólidas se separan del medio de fermentación mediante una centrífuga, para luego purificar el ácido láctico obtenido. Inicialmente, se utiliza un destilador para separar el etanol. Después se utiliza un equipo de filtración para recuperar la biomasa restante y las enzimas. La polimerización se lleva a cabo por el método de polimerización de apertura del anillo a través de tres etapas: Policondensación o prepolimerización de ácido láctico, despolimerización para formar dímeros de lactida y seguida de la polimerización por apertura de anillo, según lo describen las ec. (5.2) y (5.3). El

tiempo de reacción es de 120 minutos y se lleva a cabo con la adición de 7 % de octanoato de estaño como catalizador (Bello et al. 2020; Garlotta, 2001; Pebriyanti et al. 2021).



El bagazo generado en la hidrólisis de los residuos se llevó a digestión anaerobia, siguiendo lo descrito por Kalia et al. (2000). Para ello el residuo sólido generado en el proceso, se secó al sol antes de ser tratado. Como cultivo bacteriano para la acidogénesis, se utilizó lodo fresco de estiércol de ganado con un 3 % de sólidos totales (TS). La metanogénesis se llevó a cabo en condiciones termófilas a 55 °C, incubando un 2 % del lodo durante 24 días de incubación, con un rendimiento de biogás de 217 L/kg de ST.

Esquema de biorefinación para los residuos del maíz

En el proceso de biorefinación de los residuos del maíz, también se utilizaron los resultados obtenidos en otras investigaciones. La descripción de cada etapa del proceso, se presenta a continuación.

- *Rastrojo*: El residuo seco, se corta, muele y tamiza para obtener fracciones de menor tamaño. Se realizó un pretratamiento con explosión de vapor, durante 40 minutos a una temperatura de 210 °C. La celulosa insoluble en agua y los prehidrolizados se separaron por filtración, para la posterior hidrólisis enzimática y fermentación

láctica. En la hidrólisis enzimática, se utiliza celulasa comercial derivada de *Trichoderma longibrachiatum*. La reacción se llevó a cabo en un tiempo de 72 horas, a 50 °C de temperatura. El hidrolizado se separa por filtración del residuo sólido y se concentró por evaporación, alcanzando una concentración de glucosa de 80 g/L. El licor hidrolizado se neutralizó a pH 6.5 y se lleva a fermentación láctica (Kou et al. 2013).

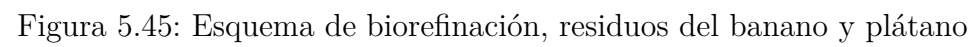
- *Cascarilla*: La cascarilla es molida y luego sometida a una hidrólisis ácida en presencia de H_2SO_4 a una concentración de 0,4 M, 120 °C de temperatura y 6 horas de reacción. El hidrolizado es filtrado, obteniendo un licor con 50,67 g/L de azúcares reductores totales, cuyos componentes principales son glucosa y xilosa con una proporción de 1,3:1,0 (Xiao et al. 2018). El licor es llevado a fermentación láctica, mientras que la xilosa se transforma a xilitol, usando el hidrolizado suplementado con 3,0 g/l de $NH_4(SO_4)_2$, en presencia de *Candidaguilliermondii* – IB. Se trabaja con una temperatura de 30 °C, una velocidad de agitación de 250 rpm y un pH 5, alcanzando una conversión de xilosa a xilitol del 49 % del máximo teórico (Rubio & Navarro, 2012).
- *Mazorca*: Las mazorcas lavadas, se secan a 65 °C durante 24 horas. Después pasan por un molino de bolas para reducir su tamaño a 1 mm. El residuo molido se divide en dos fracciones, una para la elaboración de TPS y otra para la producción de PLA. La fracción destinada al PLA, se utiliza como sustrato en la etapa de sacarificación y fermentación simultánea (SSF), empleando como microorganismos *Acremonium thermophilus* y *Rhizopus oryzae*. La reacción se llevó a cabo a una temperatura de 35 °C; 4.5 de pH inicial, 10 u/g-mazorca de maíz de enzima, 100 g/L concentración de sustrato (mazorca de maíz), durante 48 horas. Bajo estas condiciones, se establece

una concentración inicial de glucosa en el residuo de 34 g/L y un rendimiento de producción de ácido láctico del 82 % (García Villanueva & Garza García, 2016; Miura et al. 2004).

La glucosa obtenida a partir de los tres residuos del maíz, se lleva a fermentación láctica a 36 °C, durante 60 horas de reacción, usando como microorganismo *Rhizopus oryzae*. El ácido láctico formado, se purifica y posteriormente se polimeriza. La polimerización se lleva a cabo, siguiendo el procedimiento descrito para el esquema de biorrefinación de plátano y banano. El bagazo generado como subproducto se lleva a digestión anaerobia, se utiliza como inóculo un efluente con 9,82 % de ST, proveniente de un biodigestor que procesa sólidos municipales en condiciones mesófilas. La reacción se lleva a cabo en condiciones termófilas a 55 °C, durante 40 días (Li et al. 2011).

El proceso de producción de TPS comienza con el lavado y desinfección del residuo (cáscara de plátano-banano o mazorca de maíz) en una solución de NaClO al 1 % (p/v) durante 10 minutos. El endocarpio de las cáscaras y las mazorcas, se deshidratan en un secador de bandeja a 40 °C durante 12 horas. El residuo seco y molido se tamiza, con el fin de reducir el tamaño del grano. La formación del bioplástico consistió en mezclar 65 % de la harina del residuo con 18 % de agua y 17 % de plastificante, dejando en humectación durante 24 horas. Pasado el tiempo señalado, la mezcla se alimenta a un extrusor bajo las siguientes condiciones de operación: velocidad de tornillo de 80 rpm, temperaturas de 80 °C, 100 °C y 80 °C en la primera, segunda zona y salida del extrusor respectivamente. Las tiras obtenidas se cortan para formar los pellets (Alcivar-Gavilanes et al. 2022; García Tejeda, 2008; Sultan & Johari, 2017).

Una representación gráfica para los esquemas de biorrefinación descritos, se presentan en las Figuras 5.45 y 5.46.



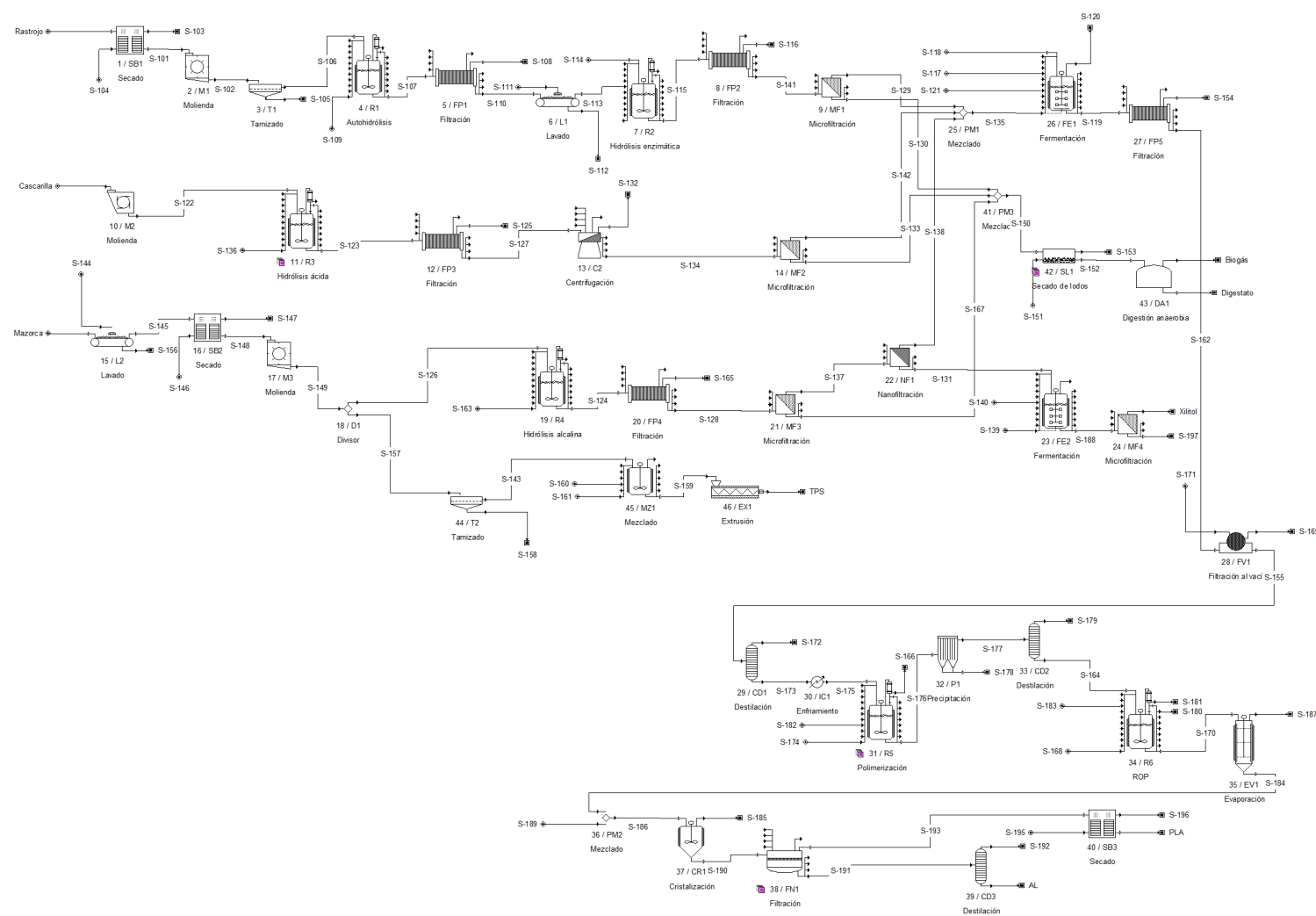


Figura 5.46: Esquema de biorefinación, residuos del maíz

Los procesos se diseñaron para una capacidad de 1.000 kg de cada tipo de residuo por batch de producción. El listado de equipos requeridos para cada uno de los procesos (Tabla 5.14), así como el tiempo de ocupación de los equipos por batch de producción (Figuras 5.47 y 5.48), se presentan a continuación.

Tabla 5.14: Listado de equipos requeridos en los esquemas de biorrefinación

Equipo	Leyenda	Esquema de biorrefinación	
		Banano/Plátano	Maíz
Máquina de lavado	L	4	2
Secador de bandejas	SB	4	3
Secador rotatorio	SR	1	-
Secador de lodos	SL	2	2
Molinos	M	3	3
Filtro de platos	FP	3	5
Filtro Nutsche	FN	2	3
Filtro al vacío	FV	1	1
Filtros de membrana	MF, NF	7	5
Extractor	E	1	-
Columna de destilación	CD	3	3
Evaporador de película	EV	1	1
Tanque de precipitación	P	1	1
Cristalizador	CR	1	1
Reactor	R	9	16
Fermentador	FE	2	2
Digestor anaeróbico	DA	1	1
Centrífugas	C	2	1
Intercambiador de calor	IC	1	1
Tanque mezclador	MZ	1	1
Tamiz vibratorio	T	1	2
Extrusora	EX	1	1
Puntos de mezcla	PM	3	3
Divisor de flujo	D	1	1
Total		56	59

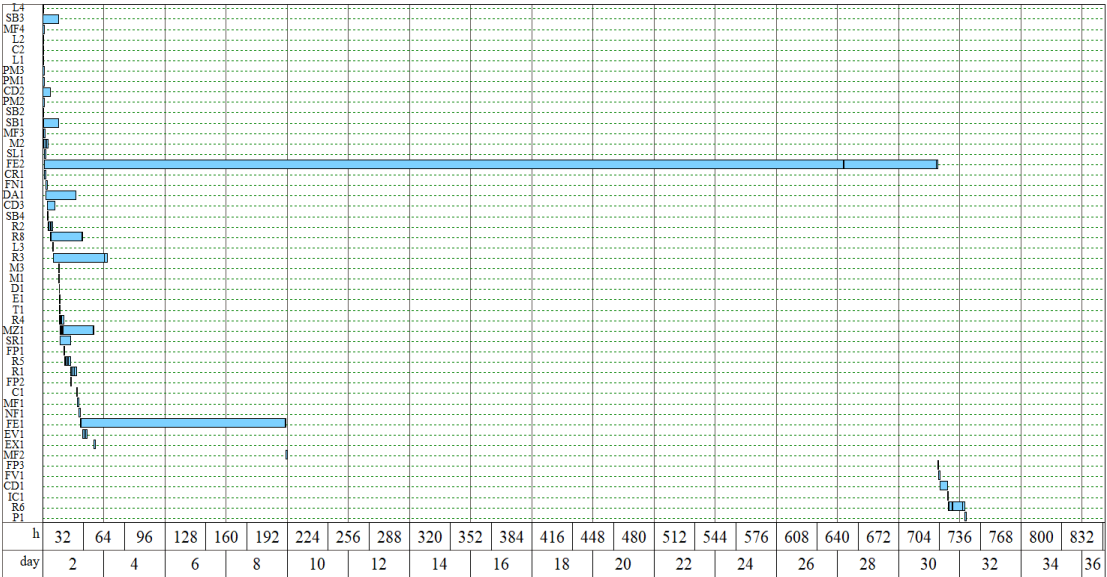


Figura 5.47: Ocupación de equipos en la biorrefinación de residuos del banano/plátano

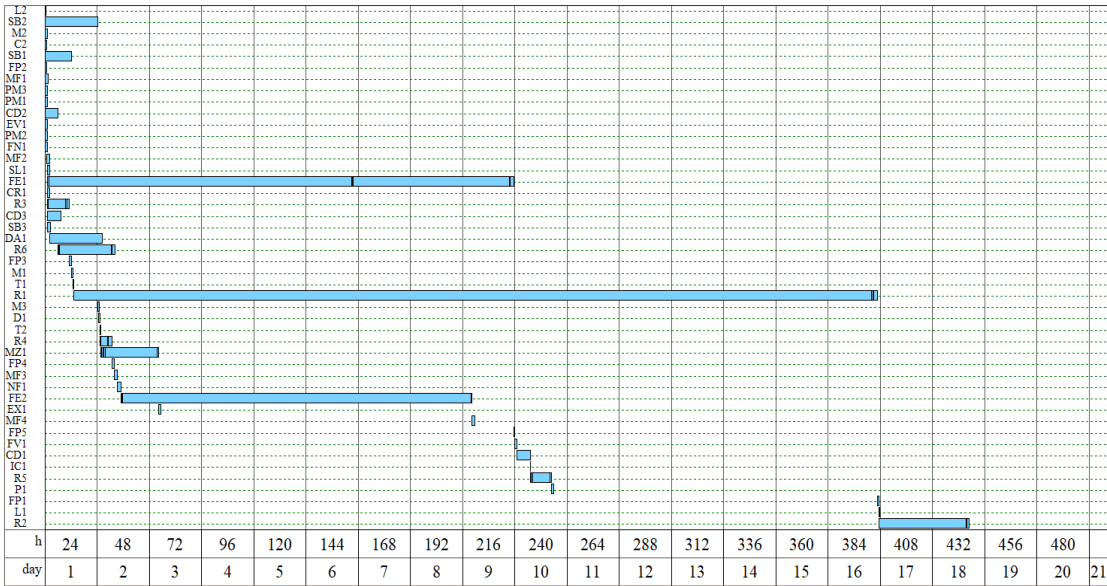


Figura 5.48: Ocupación de equipos en la biorrefinación de residuos del maíz

Para los procesos diseñados, los costos de instalación (Tabla 5.15) y la producción obtenida por batch de producción (Tabla 5.16), fueron calculados.

Tabla 5.15: Producción obtenida para los esquemas de biorrefinación

Producto	Cantidad producida (kg/batch)	
	Banano/Plátano	Maíz
Ácido poliláctico (PLA)	105,27	210,05
Almidón termoplástico (TPS)	166,20	200,87
Ácido láctico (AL)	61,32	54,92
Sacarosa	108,61	134,23
Xilosa	42,01	85,37
Xilitol	79,50	36,63
Biogás	70,91	55,41
Digestato	586,96	510,25
Total producción	1.220,78	1.287,73

Tabla 5.16: Costos de instalación para los esquemas de biorrefinación

Concepto	Valor monetario (\$)	
	Banano/Plátano	Maíz
Costos directos de la planta	60.916.000	120.322.000
Costos indirectos de la planta	36.549.000	72.193.000
Contratista y contingencias	14.620.000	28.877.000
Total capital de inversión	112.085.000	221.393.000

5.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Ecuador registra labor agrícola desde hace más de 60 años y desde sus inicios hasta la actualidad, es una de las actividades con mayor importancia económica. Aunque el país cuenta con una extensión territorial de sólo 283.560 km², mucho menor que otros de la región, tiene a su disposición una variedad de cultivos, alcanzando un total de 37 rubros según cifras oficiales. A nivel industrial, son algunas las empresas que se encargan de la transformación de estas materias primas, destacando en este punto las dedicadas a la molinería, el pilado de cereales, la extracción de aceite y la industria azucarera.

Sin embargo la mayor parte de los productos agrícolas, se destinan a exportación sin procesamiento previo, mientras que el resto se consume como alimento fresco por la sociedad. Históricamente el país se ha caracterizado por ser proveedor de materias primas en el mercado mundial, situación que se ha favorecido con la apertura económica y comercial de los últimos años (Camino et al. 2016).

Esta dinámica es particular de Latinoamérica, la cual ha adoptado un modelo centrado en el potencial exportador de las naciones. De hecho, muchos de los países del cono sur han estrechado lazos económicos con la Unión Europea (UE) para ser proveedor de este tipo de materias primas, pero como contraparte se registra que poco más de la mitad de las exportaciones de los productos procesados por la UE, son adquiridos posteriormente por países de América Latina (Acosta Reveles, 2006).

Los cultivos con mayor volumen de producción en el Ecuador son la caña de azúcar, el banano, la palma aceitera, el arroz y el maíz duro seco, y son estos quienes además presentan mayor variabilidad en su producción anual. Esta variabilidad puede deberse a las características propias de cada cultivo, pero también a factores climáticos tales como la temperatura y precipitación, cuyas variaciones afectan negativamente su rendimiento

(Zhindon Pacheco et al. 2017).

Los cambios abruptos en el volumen de producción afectan drásticamente el mercado y por ende las elasticidades de la oferta y la demanda de estos productos. Otro factor influyente, es la volatilidad de los precios en productos agrícolas como el maíz, la soja, la caña de azúcar y otros relacionados, debido al creciente interés en desarrollar biocombustibles como fuente de energía verde a partir de dichas materias primas (Chang et al. 2018).

Un análisis en la oferta y la demanda de los últimos 20 años, permitió analizar el comportamiento del mercado además de determinar el punto de equilibrio para cada rubro. Se evidencia en todos los casos un desplazamiento de la oferta o la demanda, según las condiciones del mercado. Cabe destacar que la estimación de la función de la oferta depende de variables como la cantidad o volumen negociado, la duración del instrumento, y la maduración del fruto. Por su parte, la función de la demanda depende del volumen negociado, el porcentaje de días negociados y la calificación de riesgo que represente la inversión (Vargas Sanchez & Ayllón Calderón, 2015).

Según estimación realizada con el método ARIMA, se espera que en los próximos 5 años se mantenga el nivel de producción agrícola actual, excepto en el cacao y el maíz duro seco en los cuales se proyecta crecimiento. Un comportamiento similar se evidencia en la agroindustria, donde se espera que se mantengan los niveles actuales de producción. Dentro de este contexto se encuentra Latinoamérica, quien registra un aumento en la superficie de tierra cultivable, pasando de 7,21 % en el año 2014 a 7,72 % en el 2018. En este sentido, se reporta para la región crecimiento en la labor agropecuaria durante los últimos años, enfocada además hacia la sostenibilidad en el ámbito ambiental y las desigualdades socioeconómicas (Rizo-Mustelier et al. 2017).

El aumento de la producción y la productividad agrícola, tiende a contribuir sustancialmente al desarrollo económico general de un país. Sin embargo este incremento en la producción agrícola y el aumento del ingreso per cápita de las comunidades rurales, debe adherirse a la industrialización de modo que se conduzca a una mayor demanda en la producción industrial, a la ubicación de productos en el mercado y por tanto al progreso (Praburaj et al. 2018).

Además de la industrialización de los alimentos, es necesario trabajar bajo un esquema de bioeconomía circular, donde se gestionen los residuos generados en toda la cadena de suministro de la agroindustria y se oriente a su revalorización. Una forma de hacerlo, es al emplearlos en la producción de moléculas plataforma (*chemical building-block*), que luego pueden convertirse en productos químicos intermedios o finales (Chavez-Sifontes, 2019); tales como biopolímeros, biofertilizantes, biofibras, biocombustibles, entre otros de valor agregado.

Estas biomasas agrícolas, son una fuente especialmente importante para la instalación de biorrefinerías de pequeña escala, ya que permiten el uso de los recursos locales disponibles a la vez que involucra a las partes interesadas para el desarrollo conjunto y el despliegue del mercado (De Visser & Van Ree, 2016). Las biorrefinerías constituyen una gran oportunidad, particularmente en los países en vías de desarrollo y con vocación agrícola, donde la agricultura representa una porción importante de la economía y la sociedad (Bisangy, Roberto and Regúnaga, Marcelo, 2019).

Existen algunas experiencias de integración de este tipo en Latinoamérica. En Colombia por ejemplo, desde el 2006 se desarrolla un proyecto denominado Biorrefinerías Rurales Sociales (Birus), que busca promover el desarrollo rural en comunidades de pocos recursos, para lo cual propone la producción y utilización de etanol hidratado, usando co-

mo materia prima los cultivos de yuca, batata y sorgo dulce. Un caso similar se presenta en Panamá, donde a través de una cooperativa, emplean los desechos orgánicos de fincas lecheras y porquerizas en zonas rurales, para construir pequeñas cocinas a biogás producido en biodigestores instalados en dichas fincas. En Brasil, también existen proyectos para potenciar la producción de energía a pequeña escala, ya sea dirigida a la producción en tierras marginales en asociación con cultivos de alimentos o tierras áridas del país (Trigo et al. 2014).

En el Ecuador se reportan investigaciones en el área de biotecnología, donde se propone el uso de algunos residuos de origen agroindustrial para la obtención de distintos bioproductos. También se registra la existencia de una biorrefinería a escala piloto dentro de una institución educativa, donde se desarrollan principalmente productos como etanol, biogás, biofertilizante, combustible, alimentos para animales, además de otros compuestos químicos de alto valor (Solís Bermúdez et al. 2022).

En esta investigación para 11 rubros agrícolas, se identificaron un total de 23 tipos de residuos: 14 provenientes de la agroindustria y 9 de los cultivos, de los cuales se estimaron cerca de 2.796 millones de Tn por año; predominando los generados del banano, la palma aceitera y la caña de azúcar. Un procedimiento de estimación similar al utilizado en este trabajo, se aplicó en Brasil a partir de datos de producción agrícola de los años 2004 a 2014, estimando 108 millones de Tn/año en promedio de residuos disponibles, destacando entre los más adecuados para utilizarlos como materia prima, la paja y hojas de soja, cáscara y rastrojo de maíz, además de las hojas y el bagazo de caña de azúcar (Araújo et al. 2018).

Otro aspecto a considerar durante el uso de residuos agrícolas, es el análisis de datos geoespaciales para evaluar la ubicación de cultivos y áreas potencialmente cultivadas, así

como la logística necesaria para determinar requerimientos de transporte y almacenamiento (Dragone et al. 2020). Su uso se evidencia en proyectos para la ubicación de biomasa residuales con fines energéticos. Tal es el caso de una investigación realizada en Bolivia, donde se utilizó un entorno de sistemas de información geográfica, para localizar puntos de recolección de biomasa agrícola a ser utilizada como fuente de energía renovable y con ello expandir la aplicación de biomasa en el sector energético de dicho país (Morato et al. 2019).

En España se empleó un enfoque de SIG, para la gestión de los residuos de olivares como una opción válida de biocombustible sólido para la producción de energía en la región (Latterini et al. 2020). En un trabajo similar desarrollado en México, emplearon una herramienta basada en sistemas de información geográfica con el fin de involucrar restricciones ambientales, sociales y geográficas, para determinar a través de datos históricos de disponibilidad de biomasa residual, regiones viables para ubicar instalaciones de sistemas para su procesamiento (Santibañez-Aguilar et al. 2018).

La integración de un SIG con una metodología analítica propuesta por la FAO, permitió en esta investigación ubicar los residuos generados en su punto de generación. Esto resulta un hallazgo importante, puesto que permite en un futuro cercano tecnificar la metodología desarrollada por la FAO, de modo que sirva para estimar la cantidad de residuos agrícolas a la vez que se facilita su ubicación. Así mismo con el análisis geográfico, se logró localizar 99.767 áreas destinadas al cultivo y 572 agroindustrias, los que a su vez se convierten en los puntos de generación de residuos. Cabe destacar que la mayor cantidad de los puntos ubicados se encuentran en la región costa del país, específicamente en las provincias de Manabí, Guayas y Los Ríos.

Del mismo modo el uso integrado de un SIG con AHP-Fuzzy, fue una herramienta

útil para comparar desde distintas aristas la variedad de residuos identificados. El criterio disponibilidad del residuo (C1), indicó que los residuos provenientes del banano son los que se generan en mayor cantidad. La competencia de uso va desde su uso en alimentación animal hasta materia prima para productos biobasados, debido a que entre sus elementos constituyentes se encuentran compuestos de valor tales como celulosa, hemicelulosa, lignina, además de pigmentos y otros susceptibles de ser revalorizados en la obtención de gran variedad de productos.

En la industrialización (C2), se conoció que los residuos se someten a pretratamientos mecánicos, químicos, termoquímicos o biológicos, para incrementar la concentración de azúcares fermentables presentes, que a su vez son moléculas plataforma base para la obtención de otros productos. Para el procesamiento de estos materiales, se emplean métodos físicos, químicos, biotecnológicos o una combinación de estos, siendo estos últimos los de mayor desarrollo en los últimos años. El consumo energético del proceso de transformación a escala industrial, se evaluó en función del poder calorífico superior (PCS) de cada residuo como una fuente de autoabastecimiento, encontrando que los residuos provenientes del plátano, banano y palma aceitera, son los que reportan mayor PCS.

Con el criterio impacto social - ambiental (C3), se evaluó la existencia de comunidades cercanas a los residuos, conociendo que principalmente en la costa del país existen comunidades rurales, cuya actividad económica está relacionada a labores agrarias. La sostenibilidad y ciclo de vida, se analizó a partir de las emisiones de $CO_{2,equiv}$ por concepto de quema de residuos, ocupando el primer lugar los del banano por ser estos quienes se estimaron en mayor cantidad. En cuanto a la legislación existente, la mayor parte del panel de experto desconocía la existencia de leyes inherentes al tema. Sin embargo se conoce que recientemente se publicó el libro blanco de economía circular, que proyecta

al Ecuador para el 2035 como líder en América Latina en la transición hacia una economía circular desde el sector productivo, incluyendo la agricultura y la agroindustria como líneas estratégicas de sectores priorizados (Ministro de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2021).

La ponderación del aspecto geomorfológico (C4), se apoyó en el análisis geoespacial a través del uso de GIS. Se identificaron las vías de acceso a los puntos generadores de residuos, notando que en el país existen redes viales disponibles para la recogida de los residuos. La presencia de pendientes es más notoria en el oriente del país, mientras que en las áreas destinadas a actividad agroindustrial existen en menor medida, lo cual favorece el aspecto logístico de recolección y traslado de la materia prima. Por último al evaluar las zonas de fallas, se tiene que todo el país es vulnerable a registrar alta actividad sísmica y esto se debe a la estructura geológica del Ecuador al encontrarse dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico.

Entre los criterios ponderados el de mayor importancia, fue el impacto social-ambiental (C3) con 37,1 % predominando el subcriterio SC2 de sostenibilidad y ciclo de vida en el uso del residuo. Lo siguió el criterio disponibilidad de residuo (C1) con 33,4 %; destacándose el SC2 de competencia de uso. Respecto al tipo de residuo, los tres con mayor ponderación fueron el pseudotallo del banano (7,19 %), el bagazo de caña de azúcar (6,62 %) y el rastrojo de maíz (5,62 %). Considerando la viabilidad desde el punto de vista logístico para la adecuada recolección y uso de los residuos, se decidió agrupar las valoraciones obtenidas por rubro, siendo así el banano (21,74 %), plátano (16,26 %) y maíz (12,82 %), los que obtuvieron mayor puntuación acumulada.

Las relaciones de consistencia de valor medio (CR_m) y de límite superior e inferior (CR_g), tuvieron resultados inferiores a 0,10 indicando que las evaluaciones fueron consis-

tentes. El análisis de sensibilidad se realizó por criterio modificando su peso entre 0 y 1, para evaluar el efecto que causa esta variación en la puntuación de las alternativas y con ello evaluar la robustez de los resultados obtenidos en el AHP-Fuzzy. Al modificar el peso de un criterio, los restantes se designaron proporcionalmente a su importancia original, pero en todos los casos el peso total de los criterios fue 1.

El análisis de sensibilidad indicó que los cambios en C1 y C4, pueden afectar a todas las alternativas excepto a PB y TY como mejor y peor alternativa respectivamente. Las menores variaciones en los pesos de las alternativas se observan al cambiar C3, manteniendo PB como primera alternativa de selección y RP, CPA y TY como las tres peores opciones. Los mayores cambios se tienen al variar C2, dando como mejores alternativas $CB > BA > CPL$ y como peores $RP > RB$. Al agrupar los resultados por rubros, el banano y el plátano se ubicaron en los primeros y segundos lugares como mejores alternativas, tal como sucede en los resultados originales. Por su parte el maíz, sólo se presenta como tercera alternativa de selección con las variaciones de C3 y C4.

Una metodología desarrollada con AHP Fuzzy basada en GIS, combinó factores logísticos, económicos, limitaciones técnicas y restricciones geográficas en el norte de Santander (Colombia), para identificar los mejores sitios en la instalación de una planta de bioenergía. A partir de tres residuos de cultivos de cacao (poda, rechazo y cáscara de mazorca de cacao), fue posible identificar 12 lugares para la localización de la planta con una capacidad de procesamiento que varió entre 52.475 y 146.791 Tn/año (Rodríguez et al. 2017).

El AHP integrado con GIS también se ha utilizado en el diseño y la planificación de la cadena de suministro de biomasa sostenible, con flujo desde las granjas avícolas hasta las instalaciones de biogás. Ambas técnicas se emplearon para determinar la ubicación de

dichas instalaciones, demostrando la aplicabilidad del modelo y la metodología de solución a través de un estudio de caso real (Gital Durmaz & Bilgen, 2020).

Así mismo un enfoque de AHP Fuzzy (FAHP) se propuso para evaluar prácticas integradas de fabricación eficiente y ecológica, que ayuden a las organizaciones a reducir las emisiones de desechos, los costos y los impactos negativos en el ambiente. Se identificaron impulsores económicos, sociales, ambientales y organizacionales, revelando que el deseo de reducir costos, el apoyo del gobierno, el desarrollo tecnológico adecuado, la competitividad y las iniciativas de la alta dirección para la adopción de estrategias ecológicas, son los cinco impulsores más importantes en la implementación ecológica y eficiente en las industrias manufactureras evaluadas (Prasad et al. 2022).

Partiendo de los resultados obtenidos en el FAHP, se propuso la clusterización de los puntos de generación de residuos para los tres rubros agrícolas con mayor ponderación: banano, plátano y maíz. El coeficiente de Silueta se utilizó para confirmar el número de clases óptimo y evaluar la calidad de agrupación. El agrupamiento con más alto coeficiente se tuvo al trabajar con $k=3$, confirmando lo obtenido con el método de Elbow. Se contabilizaron en total 44.451 ubicaciones que se agruparon de acuerdo a la proximidad existente entre sí.

Se trató de un problema de ubicación de red discreta, por tratarse de instalaciones minoristas que solo se pueden ubicar en lotes que están zonificados para ellas. El algoritmo k-means se planteó de modo que los centroides se ubicaran teniendo en cuenta los puntos de generación con mayor superficie, por considerar que allí se concentra mayor volumen de residuos. De este modo se propusieron tres agrupamientos para instalar 3, 4 y 5 biorrefinerías de pequeña escala, capaces de hacer uso de los recursos locales, para la valorización eficiente y sostenible de la biomasa (De Visser & Van Ree, 2016). No se ob-

servaron diferencias significativas al seleccionar los distintos algoritmos de clusterización, seleccionando el que presentó un valor promedio entre los ensayados.

Un análisis de redes vectoriales posterior a la clusterización, permitió conectar los puntos de generación de residuos a los centros de acopio o almacenamiento temporal de residuos y estos a su vez a los centroides (biorrefinerías), a través de la red vial. Los centros de acopio se establecieron determinando el centroide del polígono que se formó para cada clúster. Se lograron conectar 41.200 puntos de generación a las biorrefinerías, tomando como restricción la distancia máxima establecida. El número de centros de acopio no conectados al igual que la distancia recorrida, aumentó a medida que se incrementó el número de clústeres. En ocasiones no se logró conectar puntos de generación de residuos a centros de acopio o estos últimos a las biorrefinerías, debido a la inexistencia de redes viales disponibles según lo evidenciado al utilizar el GIS.

El algoritmo de k-means, proporciona una herramienta de apoyo a la toma de decisión tanto a las agencias gubernamentales como a los profesionales de la industria, al diseñar la cadena de suministro de industrias biobasadas (Dai et al. 2017). En un trabajo afín se desarrolló una caja de herramientas de bioinventario basada en GIS, como apoyo a diseñadores de biorrefinerías de pequeña escala y a tomadores de decisiones en general; para obtener una visión general de los recursos de biorresiduos de origen vegetal disponibles localmente, las cantidades periódicas esperadas, su composición y su estacionalidad. La misma utilizó el algoritmo k-means como método de agrupamiento, sirviendo para el modelado, simulación y optimización de varios diseños de biorrefinería adaptados a su entorno local (Kazemzadeh & Hu, 2013).

Otra aplicación conjunta de k-Means y GIS se evidencia en una investigación desarrollada en Rumania donde se utilizó un método de minería de datos basado en el algoritmo

de agrupamiento, para evaluar el potencial de energía renovable a partir de la generación el biogás y biomasa. Para ello se mapearon las zonas a través de un sistema de georeferenciación, permitiendo la creación de programas la planificación y el desarrollo de las redes eléctricas en el país (Grigoras & Scarlatache, 2015).

La implementación de un SIG facilita no sólo la ubicación de los puntos de generación de residuos, sino que también contribuye con la determinación de costos logísticos de una biorrefinería. La distancia tomada como costo, permite identificar los sitios más adecuados para la instalación de un complejo industrial, de modo que se creen redes de valor en el proceso. No obstante, la biomasa residual se caracteriza por tener un costo relativamente bajo si se compara con el ocasionado por la recolección, el transporte y el procesamiento respectivo (Obi et al. 2016). Por ello resulta necesario optimizar los tiempos de entrega, diseño de rutas, selección de flota, transportadores y programación de despachos (Salas-Navarro et al. 2019).

Un análisis basado en la proximidad, que analiza solo las distancias independientemente del terreno y las características de la carretera, proporciona un conocimiento limitado de los costos reales de transporte (Harouff et al. 2008). En este sentido se planteó un modelo de programación multiobjetivo basado en un algoritmo genético, para minimizar los costos por concepto logístico de recolección y traslado de los residuos, además de los asociados a emisiones de GEI. Los resultados apuntaron que sin importar el número de biorrefinerías, la cantidad de residuos a trasladar cumple con la siguiente relación $RB > RM > RP$. De acuerdo al modelo, las distancias recorridas aumentan con el número de biorrefinerías existentes y con la cantidad de residuos a trasladar. También se prevee que aumente el tiempo de almacenamiento a medida que existen menor número de biorrefinerías.

Con el principio de optimalidad de Pareto, se encontraron las mejores soluciones para el caso planteado dando como resultado costos logísticos más altos en relación a los generados por emisiones de GEI. Los valores máximos y mínimos obtenidos, indican que el número óptimo de biorrefinerías que se deben instalar en el país es 3, para que su implementación sea económicamente viable.

El diseño de biorrefinerías se ha abordado mediante herramientas de optimización de diagramas de flujo de procesos, que pueden integrarse con el modelo de cadena de suministro de base biológica para abordar el transporte, la gestión de inventario y el tamaño de la biorrefinería. La implementación de estos algoritmos, sirven para determinar el número óptimo en una determinada zona geográfica, teniendo como base consideraciones económicas (Galanopoulos et al. 2019). Los modelos cuantitativos son útiles para evaluar y optimizar los recursos necesarios, los costes asociados, los consumos energéticos y los impactos ambientales asociados a las industrias biobasadas. Al involucrar grandes territorios y cientos de productores de biomasa, es indispensable una tipología de decisiones en tres niveles (estratégico, táctico y operativo), y la aplicación de modelos basados en técnicas de evaluación del desempeño u optimización matemáticas, que garanticen el funcionamiento eficiente de las cadenas de suministro en estas instalaciones (Ba et al. 2016).

Como última herramienta se utilizó la simulación de los procesos, para determinar el tiempo de ciclo en la producción de bioplásticos, la producción estimada y la inversión requerida en la instalación del equipamiento necesario. Una vez finalizada la simulación, se conoció que se obtiene mayor producción por batch al usar los residuos del maíz como materia prima, pero se necesita un capital más alto para este esquema de biorrefinación respecto al caso del banano o plátano y este último, tiene una mayor duración en el tiempo de ciclo en relación al esquema de biorrefinación del maíz.

Con la producción estimada para los esquemas de biorrefinación a partir de residuos de banano/plátano de 1.220,78 kg/batch y maíz de 1.287,73 kg/batch, el tiempo de ciclo de 736 y 432 horas/batch respectivamente, una jornada laboral de 24 horas al día y un total de 338 días laborables (exceptuando días festivos y vacaciones de ley), se calculó una producción anual de 41,10 Tn de bioproductos del cual cerca de 30% corresponde a bioplásticos (PLA, TPS). Cabe destacar que la producción de la biorrefinería puede incrementar si se incluye lo que se obtiene de lignina, sacarosa, glucosa, o bien mediante la recuperación y recirculación de celulosa, hemicelulosa y lactida, que son moléculas plataforma usadas en este u otro proceso de producción.

Aunque se logró diseñar el proceso, se obtuvo una producción de 1,65 y 2,98 kg/h al usar residuos de banano/plátano y maíz respectivamente, lo cual resulta un valor bajo si se compara con una producción de 43,64 kg/h; estimada por simulación del proceso de producción de PLA a escala industrial, a partir de cáscara de banano (Bello et al. 2020). Es conveniente revisar las condiciones de pretratamiento y fermentación de los esquemas de biorrefinación, de modo que se reduzcan los tiempos de las operaciones y se incrementen los rendimientos de glucosa y sacarosa, así como de la posterior conversión a AL y PLA. Otra posible estrategia a evaluar, sería la coproducción de otros bioproductos, para incrementar el valor comercial de la propuesta.

Las biorrefinerías, que utilizan biomasa lignocelulósica como materia prima, emergen como una alternativa prometedora para reemplazar los combustibles fósiles y evitar la competencia entre la producción de alimentos y combustibles por las tierras cultivables y el agua potable.

Las herramientas de simulación de procesos, son útiles en la configuración de biorrefinerías para la coproducción de etanol, xilitol, lignina purificada, etanol, ácido láctico,

acetato de celulosa, generación de electricidad y otros bioproductos, a través del análisis de distintos escenarios en el contexto de disponibilidad de biomasa y unidades de procesos necesarios en las principales corrientes de productos. El procesamiento de datos permite la determinación de la masa, la inversión de capital total, los costos totales de fabricación, la huella de CO_2 y el consumo de agua (Coral Medina et al. 2021; Mandegari et al. 2017).

Los simuladores de procesos en combinación con la evaluación del ciclo de vida, también sirven para medir el desempeño técnico y ambiental de las diferentes configuraciones de biorrefinerías, donde se convierte biomasa fresca en productos de valor agregado. La implementación de dichas herramientas, evidencian que la biorrefinación de biomasa es técnicamente factible y puede generar ahorros ambientales, en comparación con los métodos de producción convencionales, pero su rendimiento estará sujeto al tipo de proceso involucrado en cada etapa de conversión y en la utilización en cascada de los diferentes productos de la plataforma (Corona et al. 2018).

5.3. Contrastación de hipótesis con los resultados

En el trabajo desarrollado se estructuró una metodología basada en el análisis multicriterios en combinación con un sistema de información geográfico, para la selección de residuos agroindustriales a ser utilizados como materia prima en la producción de bioplásticos. Se concibieron criterios de selección, en base a lo descrito en investigaciones previas y se aplicaron a un caso de estudio en las comunidades agrícolas del Ecuador. Una revisión preliminar de la unidad de estudio, permitió establecer los criterios a la realidad del país seleccionado y realizar una posterior ponderación según la escala de Saaty, quien es el precursor del proceso de jerarquía analítica. Un análisis de sensibilidad posterior, sirvió para conocer la robustez de los resultados obtenidos.

La utilización de los GIS en el estudio, proporcionaron información geoespacial de las comunidades agrícolas, en aspectos influyentes en el diseño de la cadena de suministros de industrias biobasadas. Se cumplió con la ejecución de las tareas previstas en la hipótesis planteada, lo cual sirvió para su comprobación. Pese a que la misma se aplicó sólo a un país de la región, la metodología desarrollada es reproducible en cualquier país con características agrícolas, tal como sucede en el caso analizado.

5.4. Contrastación de resultados con otros estudios similares

Esta investigación apunta al desarrollo de una metodología para la revalorización de residuos de origen agroindustrial en la producción de bioplásticos, donde se combina el análisis multicriterios con técnicas de georeferenciación. Se contempla un análisis preliminar, una estimación de los recursos disponibles, para finalmente diseñar una biorrefinería de segunda generación, donde no sólo se obtiene PLA y TPS sino que además se coproduce xilitol y biogás como productos secundarios. Los resultados obtenidos demuestran, que la metodología propuesta así como las herramientas que esta considera, es aplicable a otros países con características similares al caso analizado.

Trabajos previos reportan el uso conjunto de herramientas de análisis de toma de decisiones con sistemas de información geográfica, para resolver situaciones complejas donde interviene el uso de biomasa. En una investigación se utilizaron métodos de evaluación GIS multicriterio con combinación lineal ponderada, para optimizar los sitios de ubicación de instalaciones de biomasa en el contexto de las energías renovables respetando el medio ambiente. Los resultados indicaron, que el uso de dichos métodos son válidos para

verificar sitios de plantas de biomasa adecuados con las circunstancias geográficas y espaciales correspondientes y los datos espaciales disponibles necesarios en varios sectores gubernamentales e industriales (Jeong & Ramírez-Gómez, 2017).

Un sistema basado en Q-GIS (Sistema de Información Geográfica Cuántica) junto con un enfoque MCDA (Análisis de Decisión de Criterios Múltiples), se aplicó en una zona con gran suministro de biomasa, para determinar las ubicaciones óptimas de instalaciones de biomasa y su uso posterior como fuente de energía. A partir de los resultados, se concluyó que el enfoque utilizado también se podía implementar en otros estudios de naturaleza similar (Ghose et al. 2019). El análisis de decisión multicriterio en conjunto con simuladores de procesos y de modelación matemática, se han utilizado con éxito en la evaluación consistente y comparativa de las eficiencias exergéticas, financieras y ambientales generales de diversas opciones de conversión de biomasa a combustibles (Michailos et al. 2016).

Igualmente la integración de un SIG con modelos predictivos basados en redes neuronales artificiales, se emplearon para evaluar la disponibilidad de residuos de cultivos sostenibles a escalas espaciales y temporales altas. Un análisis de inclusión-exclusión de criterios múltiples basado en GIS y modelos de ubicación-asignación de instalaciones, indicaron que la evaluación de la disponibilidad de biomasa afecta en gran medida las decisiones de la cadena de suministro y sus costos de entrega, proporcionando en este caso un modelo de utilidad en la identificación de sitios adecuados y la ubicación óptima de plantas de biogás (Sahoo et al. 2016).

La aplicación de métodos de toma de decisiones multicriterio, se ha convertido en una tendencia en la solución de problemas relacionados con la biomasa. Los métodos generalmente utilizados incluyen DEA, ELECTRE y PROMETHEE, destacándose el AHP con

mayor utilización (Papić & Garabinović, 2019). En general los trabajos consultados, abordan la aplicación de herramientas de toma de decisiones multicriterios en conjunto con GIS, para la localización de biomasa u optimización de biorrefinerías pero en un contexto de producción energética. En esta investigación, se tomó otra perspectiva al abordar el trabajo para la producción de biopolímeros. Pese a ello, se demuestra en todos los casos, que es posible combinar técnicas de análisis multicriterios y de georeferenciación, como herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

5.5. Interpretación de los resultados

El desarrollo de productos biobasados se lleva a cabo bajo un modelo bioeconómico de producción piramidal o circuito de cascada, que busca el crecimiento económico a la vez que minimiza los impactos negativos en el ambiente y la sociedad. Este concepto se enfoca en reducir la cantidad de residuos para dar un valor más prolongado, mediante la creación de plantas de producción integradas que utilizan biomasa o materias primas derivadas de la biomasa y con ello generar beneficio (Briones Muñoz & Riera, 2021).

El establecimiento de biorrefinerías de segunda generación, contribuyen con el desarrollo de una bioeconomía circular para mejorar la economía nacional, promoviendo prácticas más sostenibles en el ciclo de vida de los productos agrícolas. Su implementación favorece el aprovechamiento de los principales componentes de la biomasa, como la lignina, la celulosa y la hemicelulosa, cuyas aplicaciones no sólo se limitan a la obtención de bioplásticos, sino también a la obtención de otros subproductos (Amores-Monge et al. 2022).

Dentro de este contexto y en el marco de la economía circular, se dispone el diseño de una metodología para la adecuada selección de residuos de origen agroindustrial, con el propósito de obtener bioplásticos. Los resultados indican que para el caso analizado,

si se espera tener resultados óptimos desde el punto de vista logístico, se deben instalar tres biorrefinerías y veinte centros de acopio donde la biomasa permanezca entre 2 y 24 días almacenada, antes de que sea llevada a su procesamiento. Aunque se diseñaron dos esquemas de biorrefinación, es necesario realizar una optimización de los procesos previstos, un estudio económico y un análisis de ciclo de vida, antes de pasar a una fase de industrialización de la propuesta.

La creación de productos de valor agregado a partir de la biorrefinería de residuos de este tipo, puede contribuir con la recuperación económica del país y con ello minimizar el impacto negativo causado recientemente por la pandemia COVID-19. La ONU en su agenda 2030 incluye entre sus objetivos la producción y consumo responsable, requiriendo esfuerzos desde los distintos sectores de la sociedad (gobiernos, academia e industria), para su logro. Sin embargo esta época de pandemia, están forzando un cambio radical en las formas de producción de los países.

Las necesidades existentes, reclaman una producción más limpia y el cambio urgente de una matriz productiva basada en recursos fósiles, a otra de origen biológico. Estas circunstancias sin precedentes ofrecen una oportunidad para crear nuevos empleos, tecnologías e infraestructura, con el objetivo de diseñar un futuro sostenible y amigable con el ambiente. El enfoque de biorrefinería circular, adaptada a las condiciones locales, en términos de clima regional, economía, infraestructura y recursos disponibles, es la respuesta a los requerimientos de la sociedad de una producción biobasada responsable y económicamente competitiva (Wicker et al. 2021).

5.6. Alcance de la veracidad de las afirmaciones

Los resultados obtenidos en esta investigación, están limitados a 23 de las 24 provincias del Ecuador (excepto la región insular), especialmente a las comunidades agrícolas donde se encuentran ubicadas las 99.767 áreas destinadas a siembra de los principales cultivos y 572 agroindustrias del país, según lo reportado por entes oficiales del Estado.

Aunque dentro de la investigación se realizó un caso de estudio, el marco teórico de la misma está preparado para extrapolarlo a toda América Latina. La metodología desarrollada ha sido validado para Ecuador, pero su concepción es generosa y puede ser implementado en todos los países de la región. A efecto de minimizar los errores, se propone revisar el tamaño de muestra y su procedimiento de selección, según lo señalado en las páginas 105 y 106 de este documento.

5.7. Sesgo o riesgos en los datos de partida

El análisis realizado en esta investigación, se realizó sobre la base de datos históricos en los cuales no se registran eventos climáticos extremos causados por el cambio climático. En tal sentido, los resultados que se obtengan en otros países por la aplicación de esta metodología, podrían estar afectados por los cambios climáticos presentados en las mismas requiriendo en este caso ajustes en el modelo por cambio en las regiones.

Entre los rubros agrícolas contemplados en este estudio, quienes registraron mayor varianza en la producción anual fueron: Arroz, maíz duro seco, banano, palma aceitera y caña de azúcar; siendo estos quienes tienen mayor riesgo en obtener resultados erróneos al momento de utilizar la metodología en otra zona de Latonamérica.

5.8. Recomendaciones al lector

El trabajo realizado constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, basada en técnicas de análisis multicriterios, sistemas de información geográfica, algoritmos de agrupamiento, de optimización y simulación de procesos, para la selección de residuos agroindustriales y destinarlos como materia prima para la obtención de bioplásticos.

La metodología desarrollada se validó a través de un caso de estudio en el Ecuador, el cual es un país con economía agrícola, pero es extensible a otras naciones con características similares al estudiado. Se espera que la misma sea de utilidad, para los responsables de tomar decisiones en el diseño e instalación de cadenas de suministro de biorrefinerías.

Capítulo VI

CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

En esta investigación se propuso una metodología que integra el análisis multicriterios y los sistemas de información geográfica, para establecer criterios de evaluación que orienten la adecuada selección de residuos de origen agroindustrial para su revalorización, a través de la producción de bioplásticos. Gracias a un análisis preliminar, se evaluó el potencial que tiene la unidad de estudio en generar biomasas lignocelulósicas provenientes de actividades agroindustriales, con lo cual se conoció que además de los rubros registrados en los reportes oficiales del Estado, existen otros con menor producción que de incluirlos se podría aumentar la cantidad de biomasa disponible.

El método ARIMA se utilizó para estimar la producción agroindustrial de los próximos 5 años, dando resultados confiables según lo evaluado con métodos estadísticos. La estimación de residuos a través de la metodología propuesta por la FAO para tal fin, se logró integrar con una herramienta de análisis geoespacial de código abierto, brindando un recurso para los tomadores de decisión que permita no sólo determinar la cantidad de

residuos agroindustriales generados, sino también representar su ubicación geográfica.

Se aplicó un proceso de jerarquía analítica donde se analizaron cuatro criterios: Disponibilidad del residuo, industrialización, impacto social-ambiental y aspecto geomorfológico. Se ponderaron 23 residuos pertenecientes a 11 rubros y al realizar la ponderación y respectivo procesamiento de datos, el criterio con mayor importancia fue el social-ambiental seguido de la disponibilidad del residuo. De forma global, los residuos con mayor importancia según la ponderación dada por el panel de expertos fue el banano, plátano y maíz. El análisis de sensibilidad realizado, indicó que los cambios en la puntuación del criterio de industrialización, son los que más influyen en los resultados en cuanto a importancia de los residuos evaluados.

La disponibilidad actual de estos recursos, depende en gran medida de los usos a los cuales estén siendo destinados. Aunque no existe un registro oficial de los residuos agroindustriales generados en el país, fue posible estimar su cantidad anual por rubro, identificando que la mayor parte de estos provienen del banano. Todos los residuos identificados son ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina; los cuales son compuestos utilizados para la obtención de moléculas plataformas de gran valor, que posteriormente se emplean en el desarrollo de una diversidad de bioproductos.

El país cuenta con tecnología que puede aplicarse a los procesos biotecnológicos, en caso de que se instalen biorrefinerías. También cuenta con personal formado en el área y se encuentra actualmente dando pasos en el establecimiento de lineamientos, que orienten el cumplimiento de objetivos de producción en el marco de la economía circular. La existencia de vías que conectan la ubicación de los residuos, es un punto a favor en el diseño de una cadena de suministros para la industria biobasada.

De acuerdo a las características del caso analizado, se evaluó la instalación de 3, 4 y 5

biorrefinerías en el país. Los resultados indicaron que para optimizar los costos logísticos por recolección y traslado de los residuos, así como también los costos por emisiones de gases con efecto invernadero, la mejor decisión es trabajar con 3 biorrefinerías conectadas a través de la red vial, a los centros de almacenamiento temporal de residuos.

Para los residuos calificados con mayor ponderación, se diseñaron dos esquemas de biorrefinación, donde se simularon las operaciones unitarias que conforman cada proceso. Las condiciones operacionales se establecieron de acuerdo a lo indicado en investigaciones previas. Sin embargo el rendimiento en la producción puede incrementarse, si se evalúan otras condiciones de trabajo o métodos de transformación de la biomasa.

La industria biobasada es en la actualidad un tema de interés para las naciones, pues recurre al aprovechamiento de los residuos agroindustriales en un marco de bieconomía y economía circular, para la obtención de productos capaces de competir en los mercados mundiales a la vez que se disminuye la dependencia de los recursos fósiles y se contribuye con el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenibles.

En este sentido, el desarrollo de una metodología para la selección de residuos agroindustriales para la producción bioplásticos, sirve como herramienta para la evaluación de criterios que inciden en la selección de este tipo de biomasas, incluyendo información geográfica concerniente a la ubicación de los mismos y su cercanía a redes viales que favorezcan el diseño de las cadenas de suministros. Es así como se convierte en una herramienta guía en la toma de decisiones para la instalación de biorrefinerías, para gobiernos, industria y academia.

Con base en lo descrito, se concluye que se cumplieron los objetivos planteados en esta investigación, dando como resultado una metodología que integra el análisis multicriterios y la georeferenciación, para la selección de residuos agrícolas destinadas a ser utilizados

como materia prima en procesos de biorrefinación. La misma, se sustenta en un nuevo modelo bioeconómico, que fomenta el desarrollo sostenible y se alinea al cumplimiento de los ODS 2030 propuestos por la ONU. Se aporta a la comunidad científica, con una herramienta capaz de ser utilizada en procesos biobasados, ya que aunque la tesis se desarrolló para biopolímeros, es posible obtener una gran variedad de bioproductos a partir de este tipo de biomasas. Los aspectos relacionados al trabajo aquí realizado y que no fueron abordados por exceder el alcance de la investigación, quedan como temas de investigación futuro para otros doctorandos o maestrantes interesados en el tema.

6.2. Aportes

El principal aporte de la investigación consiste en la estructuración de una metodología que combina una técnica para la toma de decisiones multicriterios, con una herramienta para el análisis geográfico, útil en la ubicación de biomasa lignocelulósica generada como residuo en actividades agroindustriales, estimación de la cantidad disponible y a partir de ello, determinar la cantidad más adecuada de biorrefinerías para la obtención de costos logísticos óptimos. Hasta la bibliografía consultada por el autor, no existe publicada una metodología que integre los aspectos descritos en este trabajo, por tal razón el trabajo realizado representa una herramienta para los países con economías agrícolas, que busquen maximizar sus ganancias a partir de la revalorización de sus residuos.

6.3. Líneas de Investigación Futuras

El trabajo futuro derivado de esta tesis se divide en cinco bloques:

- Cuantificación de la oferta de biomasa del país usando métodos espaciales - GIS.

- Evaluación de una biorrefinería integrada para la revalorización de distintos residuos agrícolas.
- Estudio de optimización de procesos para cada esquema de biorrefinación.
- Optimización de la cadena de suministros para los procesos de biorefinación.
- Estudio económico y análisis de ciclo de vida de los procesos de biorrefinación diseñados.

6.4. Posibilidades de transferencia al ecosistema local

El aprovechamiento de biomásas lignocelulósicas a través de procesos de biorrefinación, representa una oportunidad para el crecimiento de países en desarrollo con características agrícolas, brindando una alternativa de solución en esta época post pandemia para la reactivación económica. La metodología aquí descrita puede aplicarse a otros residuos biológicos generados en las comunidades agrícolas del país, con la certeza de obtener resultados útiles para el diseño de biorrefinerías en el marco de la economía circular. No obstante, se requiere la optimización de los esquemas de biorrefinación previstos antes de que sean llevados a escala industrial, para que los rendimientos sean económicamente factibles en contraste con otros trabajos publicados.

La implementación de industrias biobasadas, requiere la intervención de políticas alineadas a los requerimientos del mundo actual, orientadas a la definición de líneas de acción y estrategias impulsoras basadas en bioeconomía, economía circular, logística inversa, manufactura verde, entre otras relacionadas, en lugar de acciones populistas por parte de los gobiernos de la región.

6.5. Hechos no demostrados

En la tesis no se utilizaron los distintos tipos de residuos generados por las comunidades agrícolas, en la determinación del número de biorrefinerías y de los costos logísticos relacionados con la recolección y traslado de estos. Tampoco se diseñaron procesos de biorrefinación que contemplen la combinación de residuos agroindustriales, de modo que se incrementen los rendimientos en la producción. Finalmente no se comprobó la factibilidad económica existente en la instalación de biorrefinerías según el diseño presentado.

6.6. Mapa Mental de la Tesis

A continuación en la Figura 6.1 se resume de manera gráfica, los aspectos que contempla el desarrollo de una metodología integrada de análisis multicriterios y sistemas de información geográfica, para la selección de biomasas residuales de origen agrícola.

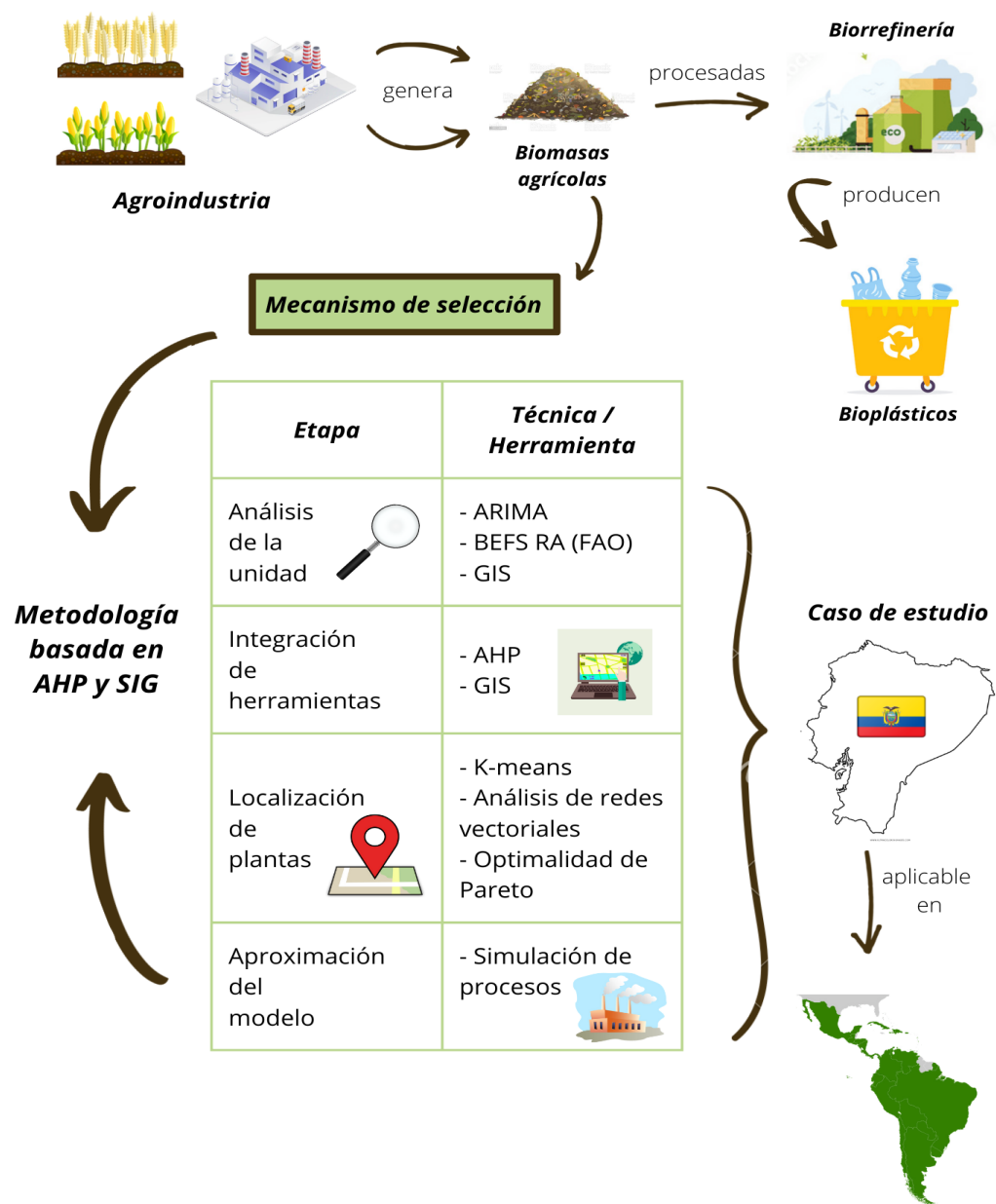


Figura 6.1: Mapa mental de la tesis

Capítulo VII

RECOMENDACIONES

7.1. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en esta tesis doctoral se recomienda aplicar la metodología basada en el análisis multicriterios y los sistemas de información geográfica como una herramienta de apoyo a los gobiernos, academia e inversores, en la selección de residuos agroindustriales útiles para la producción de bioplásticos. Así mismo se sugiere integrar la metodología desarrollada por la FAO para la evaluación de los recursos naturales, con herramientas de análisis espacial tal como se logró integrar en esta investigación, para cuantificar la biomasa agroindustrial disponible junto con su ubicación geográfica.

Considerando el análisis de caso con el cual se validó la metodología, se recomienda a los tomadores de decisión de los gobiernos de la región, utilizar los esquemas de biorrefinación propuestos como prototipos iniciales de estos procesos, para que sean optimizados y a partir de ellos, analizar la instalación a escala piloto y posterior industrialización con el fin de revalorizar los residuos generados, en un marco de bioeconomía y economía circular.

Capítulo VIII

RESPUESTA A LAS OBSERVACIONES

1. Como recomendación considero que después del estado del arte, de la revisión de literatura y de la identificación de autores más prominentes en el tema, hace falta presentar un resumen de los vacíos del conocimiento identificados y cuál es concretamente el que se aborda a través de esta tesis

Partiendo del estado del arte, revisión bibliográfica e identificación de autores más prominentes en el tema que se investigó en la presente tesis, se logró identificar un vacío de conocimiento en cuanto a lo que a continuación se indica. En primer lugar no se encontró disponible una herramienta que combine la cuantificación de biomásas agrícolas y su ubicación espacial, dando a conocer la disponibilidad en cuanto a cantidades y vías de acceso disponibles. Por el contrario, existen herramientas que de manera individualizadas sirven para determinar las cantidades producidas de algunas biomásas o localizar comunidades agrícolas o centros de procesamiento en los cuales se genera el tipo de residuos de interés en este trabajo de investigación.

Hasta la bibliografía consultada, no se encontraron registros de utilización de herramientas de análisis multicriterios, para la selección de biomasas de origen residual agrícola destinadas a usarlas como materia prima en esquemas de biorrefinación de segunda generación, con el propósito de obtener bioplásticos y cogeneración de otros productos biobasados de valor agregado. En trabajos afines, se evidenció el uso de este tipo de herramientas principalmente para la selección de biomasas de origen forestal o agrícola, en la generación de energía, que inspiraron de alguna manera este trabajo, pero que apuntan a instancias que agreguen más valor (mano de obra) que la simple combustión. Uno de los autores que más ha contribuido a esta idea de la necesidad que latinoamérica tiene respecto a la necesidad de implementar esta estrategia con la biomasa para destinarla a biorefinación ha sido el caso de estudio presentado en 2016 por Sahoo, K., Hawkins, G., Yao, X., Samples, K. Mani, S. (2016). GIS-based biomass assessment and supply logistics system for a sustainable biorefinery: A case study with cotton stalks in the Southeastern US.

Asimismo, se identificó la desventaja económica que tienen los procesos de producción biobasados, en relación a los tradicionales. En este sentido, aún existe la necesidad de investigar rutas de transformación de los residuos agrícolas, para obtener de manera sostenible no sólo bioplásticos sino una amplia variedad de productos biobasados, que permitan optimizar las condiciones de operación de los procesos a objeto de alcanzar incrementos notables en los rendimientos de producción. Algo similar sucede con la producción de bioplásticos de origen bacteriano, como lo son los polihidroxialcanoatos, los cuales a pesar de tener características mecánicas casi comparables con los polímeros convencionales además de su excelente biodegradabilidad, tienen un alto costo de producción que minimiza su atractivo de producción a escala industrial. En este último punto, resulta

necesario crear nuevos desarrollos donde se alcancen mejoras sustanciales en los procesos para maximizar la producción y con ello reducir costos.

En atención a lo descrito y en consideración a los objetivos previamente planteados, se aborda el desarrollo de una metodología que integre la toma de decisiones y la georeferenciación, con el fin de disponer herramientas que integren ambos aspectos para la selección de biomasas residuales de origen agrícola, y a su vez contribuir con la generación de propuestas de esquemas de biorrefinación de segunda generación, para la producción de bioplásticos y la cogeneración de otros bioproductos.

2. Es importante que se resalte si existen implicaciones, restricciones o particularidades asociadas al manejo de los residuos agroindustriales o para la producción de bioplásticos que generen restricciones logísticas específicas o en el diseño de esta cadena de abastecimiento, por ejemplo tiempos de trayectos, distancias máximas de recorridos, capacidades, manejo de los materiales, ambientes en los cuales se deben o no localizar las instalaciones para el procesamiento, etc.

Existen restricciones específicas en cuanto al manejo de biomasas agrícolas para su utilización en biorrefinerías. La primera de ellas es el traslado del residuo desde el punto de generación hasta su sitio de procesamiento. Esto sucede debido a que la mayoría de estos residuos ocupan un gran volumen en relación a su peso, requiriendo por ende gran número de unidades para su traslado. Asimismo la transportación del residuo, representa un alto costo logístico en comparación con el valor económico del mismo. Por tal razón, el modelo desarrollado tiende a entregar resultados que propenden a instalar biorrefinerías de pequeña escala en las comunidades agrícolas donde se generan los residuos o bien, en lugares cercanos a estos. Por otro lado la formulación de método de optimización

tuvo que limitar las restricciones (ex-ante) para evitar que el costo computacional nos lleva a soluciones que tarden más de un año en resolverse (aún utilizando clusters de computadoras de última generación).

Se recuerda al lector que los problemas de optimización multi-objetivos tienden a ser del tipo NP-Hard. Esto podría llevarnos a situaciones extremas en que hallar la respuesta a la solución de la situación problema expuesta insuma más que el tiempo que hay entre dos cosechas consecutivas. Por ello no se tuvo en cuenta (no se puso como restricción inicial) la condición de encontrar otra cadena de abastecimiento que lleve productos a las zonas agrícolas y retorne sin carga. Es claro que dicha cadena es complementaria con la de las biorefinerías, pero nos llevaría a límites cercanos a la explosión combinatoria que se quiere evitar.

Un aspecto importante es la disponibilidad estacional del residuo. Dado que la investigación centra su interés en el aprovechamiento de residuos de origen agrícola, su disponibilidad está sujeta a la rotación de los cultivos, números y tiempos de cosechas de cada rubro cultivable. Lo anterior incide en la capacidad utilizada del proceso, así como en la tasa de producción, la cual variaría en función de la cantidad de materia prima disponible.

Otra restricción es el tiempo de almacenamiento del residuo. Aunque existen publicaciones donde se reportan largos periodos de almacenamiento para algunos residuos agrícolas, se requiere la realización de pretratamientos para que esto sea posible. Adicional a ello, se debe tener en cuenta que los elementos constituyentes de los residuos aprovechables en la producción de bioplásticos, pueden sufrir modificaciones durante el tiempo de almacenamiento, debido a los cambios que suceden por la madurez del cultivo.

3. No se evidencia una justificación alrededor de los criterios utilizados

para la selección de las técnicas o herramientas utilizadas como metodología de investigación en el presente proyecto

Por recomendación del director de tesis y como parte de las actividades de investigación del laboratorio (CEAL) en el que compartimos trabajos de campo con otros doctorandos, se recurrió a utilizar AHP junto a GIS como alternativa por ser la segunda instancia más prometedores en las ininvestigaciones preliminares. Se recomienda ver alguno de los aspectos relativos a la selección de alternativa en el trabajo complementario con este que está realizando la Doctoranda Tania Tobares (<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66225>).

4. No es claro cómo es la situación de la red actual para recolección de residuos agroindustriales para la producción de bioplásticos en Ecuador, ni cómo se compara con los resultados que se obtuvieron en este proyecto

En el Ecuador no existe en la actualidad una red de recolección de residuos agroindustriales, ni disposiciones claras en cuanto al tratamiento y disposición de estos. Las comunidades agrícolas usan sus residuos principalmente para alimentación animal. Otra parte se deja para recuperación de la tierra y una gran proporción se quema a cielo abierto. Tal situación ha motivado a la comunidad científica, para el desarrollo de investigaciones donde se proponga la revalorización de residuos en distintas áreas de acción, dentro de un marco de sostenibilidad.

Dentro de este contexto, los resultados obtenidos en esta investigación brindan un aporte no sólo a la comunidad científica, sino a las comunidades agrícolas con problemáticas de generación de residuos sin ningún tipo de aprovechamiento y al país, en especial para el cumplimiento de los ODS según su accionar descrito en los ejes establecidos en el libro blanco de bioeconomía del Ecuador.

5. ¿Cuál es el desempeño de los indicadores asociados a las funciones objetivo seleccionadas?

En la generalidad de los problemas de programación lineal existe una función objetivo Z que depende de las variables $x_1, x_2, \dots, x_n$. El objetivo de un problema de optimización clásico es maximizar (o minimizar) $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ sujeto a restricciones del tipo lineal tales como:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_5 < \text{que la distancia máxima de rutas que tengo} \\ x_7 + x_3 + x_5 > \text{que la superficie sembrada} \\ \vdots \\ etc. \end{array} \right. \quad (8.1)$$

Para la situación problema que se aborda en esta tesis, tenemos un problema multi-objetivo. Vale decir que existen múltiples variables Z . Tal que algunas de ellas requieren ser minimizadas y otras maximizadas. El método de Tomas Saaty (AHP) establece los criterios (o restricciones) con los que se optimizan las funciones objetivos Z . HAP llama a las Z alternativas. Los criterios permiten hacer el ranking de funciones Z .

Para resolver este tipo de problemas Saaty utiliza la técnica de comparación de pares. Técnicamente lo que el método hace es fijar un valor para las $z_2, z_3, \dots, z_n$ y tratar de optimizar z_1 . Los valores de $z_2, z_3, \dots, z_n$ son de este modo impuesto como restricciones “relajada” que de antemano se sabe que pueden estar lejos de la frontera Pareto-Óptima.

Luego z_1 ingresará al conjunto de las $z_3, z_2, \dots, z_n$ y operará como restricción para optimizar z_2 y se proseguirá con el algoritmo hasta probar todas las combinaciones posibles. Esto muestra el riesgo que se corre al incorporar restricciones que no son absolutamente necesarias, técnicamente esto recurre a lo que se conoce como problema de optimización

con relajación.

Los valores que representan la soluciones finales de este quedan expresados como un ranking, el índice de desempeño se obtiene del producto de la matriz de autovectores unitarios de las matrices de comparación de pares por los autovalores de los criterios que operaron como restricciones relativas.

Este ranking sugiere que existen restricciones que no has sido tenidas en cuenta de antemano. Por ello, la solución que se obtiene es un óptimo local. Supongamos que el ranking nos entrega siete localizaciones para construir las biorefinerías. Supongamos que el presupuesto que se consigue a nivel nacional y privado llega a proveer solamente fondos para cinco plantas.

De este modo habremos llegado cerca de la frontera Pareto-optimal como ha sido posible y de este hecho se verifica con el índice de inconsistencia de Saaty el grado de incumplimiento de el resto de las restricciones no principales (Figura 8.1).

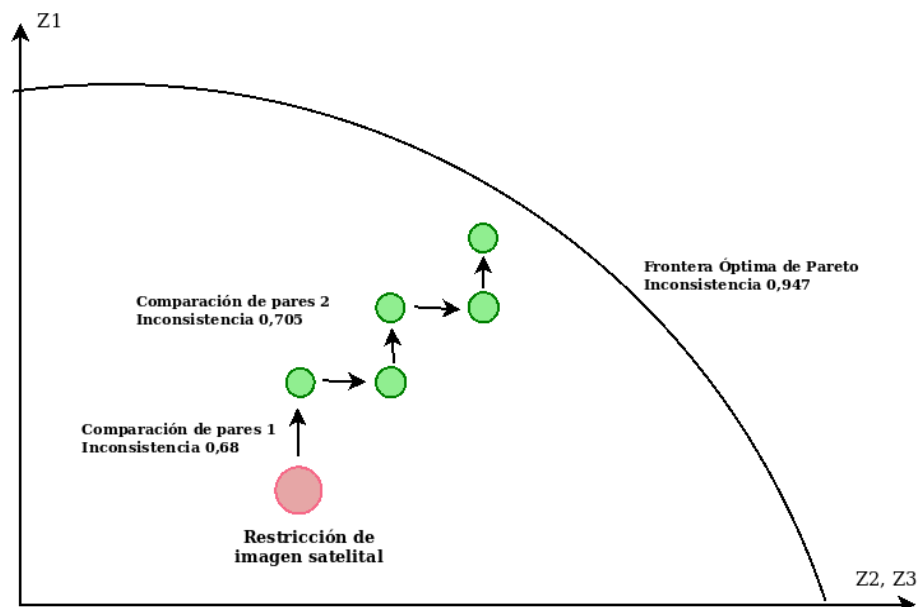


Figura 8.1: Solución Pareto Optimal

En cierto modo la estrategia seguida para la optimización dentro de la tesis puede considerarse semejante a la esgrimida por Eliyahu M. Goldratt (Teoría de las restricciones) en las que solamente gestionamos en función de una sola restricción que es la que genera el cuello de botella (o restricción principal) a la que el resto está subordinada. Esta restricción aparecerá en primer lugar dentro del ranking.

6. ¿Cómo se formulan las restricciones dentro del modelo de optimización multiobjetivo? se presenta la formulación de las funciones objetivo utilizando programación lineal, pero no se explica suficientemente la formulación de las restricciones asociadas, ni sus supuestos, y sus implicaciones en el sector específico

Las restricciones planteadas para el modelo de optimización multiobjetivo, parten de las restricciones existentes para la utilización de residuos agrícolas (estas son las restricciones a las que nos referíamos como “absolutamente necesarias” y su consecuente aplicación en la producción de bioplásticos. En este sentido y de acuerdo a lo expresado anteriormente, se tomó en consideración la disponibilidad del residuo dependiente de la variación estacional y producción de un rubro cultivable en específico, la distancia recorrida para el traslado de la biomasa, dada la necesidad de minimizarla para reducir los costos logísticos y por último, el tiempo de almacenamiento del residuo desde su generación hasta su traslado a la biorrefinería. Para cada restricción, se establecieron valores límites según lo reportado en trabajos afines al realizado.

7. ¿Cuál es el conjunto de soluciones eficientes para la optimalidad de Pareto? (¿son funciones objetivo dispares o están correlacionadas?). Conviene aplicar más extensamente un análisis de sensibilidad sobre los parámetros y

un análisis más minucioso acerca de las implicaciones e impacto de los mismos dentro del modelo

El tema de la explosión combinatoria de soluciones de este tipo de problemas, se ha dejado en otro trabajo doctoral que se encuentra actualmente en desarrollo. Este trabajo realizado por Tania Tobares se explora extensamente sobre el análisis de todas las combinaciones posibles de secuencias de restricciones a aplicar y esboza un análisis de sensibilidad de las soluciones Z_n obtenidas relacionando patrones que tienen en común a partir de técnicas de clusterización.

8. Dado que el principal aporte de la tesis es la metodología que integra análisis multicriterio y sistemas de información geográfica para la toma de decisiones, y en los objetivos específicos se enuncia que esta es fácilmente parametrizable para otros países y residuos agrícolas, vale la pena explicar en qué otros contextos industriales o geográficos podría ser útil la metodología que se propone y qué parametrizaciones, modificaciones o adaptaciones sería necesario hacer para poderla aplicar

La metodología desarrollada es fácilmente replicable en países con actividad agroindustrial, donde se disponga información geográfica concerniente a puntos de generación de residuos y vías de acceso disponibles. Sería necesario determinar cuál o cuáles son los residuos con mayor posibilidad de uso en el país donde se aplique la metodología, además del número de clúster requeridos puesto que mientras mayor es la extensión superficial del país, mayor será el número de biorrefinerías requeridas. La variación en los aspectos señalados, influiría en el modelo de optimización multiobjetivo planteado en cuanto al valor que tomen las variables definidas. Sin embargo, esto no es una limitación del modelo, dado que es posible hacer pequeños cambios en los scripts creados para esta etapa de la

investigación, los cuales además se comparten como anexos en el manuscrito.

Sin embargo, para el caso aquí analizado se ha comprobado que las soluciones encontradas se encuentran en la frontera de Pareto óptima, para los cultivos elegidos. Del mismo modo (imitando a Tobares) la técnica utilizada en esta tesis k-means llega (sin explorar todas las combinaciones posibles) a determinar en que clúster parece ser más probable la aparición de óptimos locales.

9. Conviene que todas las tablas y figuras se ubiquen después y lo más cerca posible al texto en las cuales son citadas. Por ejemplo, la Figura 5.26 es citada en la página 161 y aparece en la página 166

Dado el estilo de los templates diseñados por el Di3 en lenguaje LaTeX para el desarrollo del manuscrito, es posible que las tablas y figuras se sitúen de modo que no se encuentren más de dos en la misma página, o se maximice el aprovechamiento del espacio de las páginas combinando textos y tablas o gráficos, según la diagramación preestablecida.

REFERENCIAS

- Abdul Khalil, H., Saurabh, C. K., Syakir, M., Fazita, M. N., Bhat, A., Banerjee, A., Fizree, H., Rizal, S. & Tahir, P. M. 13 - Barrier properties of biocomposites/hybrid films (M. Jawaid, M. Thariq & N. Saba, Eds.). En: *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (M. Jawaid, M. Thariq & N. Saba, Eds.). Ed. por Jawaid, M., Thariq, M. & Saba, N. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. Woodhead Publishing, 2019, pp. 241-258. ISBN: 978-0-08-102292-4. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00013-8>.
- Abdullah, N., Sulaiman, F., Miskam, M. A. & Taib, R. M. (2014). Characterization of Banana (*Musa spp.*) Pseudo-Stem and Fruit-Bunch-Stem as a Potential Renewable Energy Resource. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 8(8), 815 -819. <https://publications.waset.org/vol/92>
- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Wan Daud, W., Sahu, J. & Noor, I. (2013). Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 76, 1073-1082. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.038>
- Abreu Olivo, E. A., Gutiérrez, A., Quintero, M. L., Molina, L. E., Anido, J. D., Ablan, E., Cartay, R. & Mercado, C. E. (2007). *El cultivo del plátano en venezuela. Desde el campo hasta la mesa*. Fundación Empresas Polar.

- Abril, D., Navarro, E. & Abril, A. (2009). La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Agronomía*, 2(17), 69-79.
- Acosta Reveles, I. L. (2006). Balance del modelo agroexportador en América Latina al comenzar el siglo XXI. *Mundo Agrario*, 7(13), 0. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1515-59942006000200001&lng=es&tlng=es
- Ademosun, A. O., Oboh, G., Olupona, A. J., Oyeleye, S. I., Adewuni, T. M. & Nwanna, E. E. (2016). Comparative Study of Chemical Composition, In Vitro Inhibition of Cholinergic and Monoaminergic Enzymes, and Antioxidant Potentials of Essential Oil from Peels and Seeds of Sweet Orange (*Citrus Sinensis* [L.] Osbeck) Fruits. *Journal of Food Biochemistry*, 40(1), 53-60. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12187>
- Aguado Moralejo, I., Echebarria Miguel, C. & Barrutia Legarreta, J. M. (2009). El desarrollo sostenible a lo largo de la historia del pensamiento económico. *Revista de Economía Mundial*, (21), 87–110. <https://www.redalyc.org/pdf/866/86611886004.pdf>
- Aguilar-Rivera, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12, 189-197. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000200008&nrm=iso
- Akenji, L., Bengtsson, M., Briggs, E., Chiu, A., Daconto, G., Fadeeva, Z., Fotioi, S., Gandhi, R., Mathews, C., Metternicht, G., Mohanty, B., Salem, J., Sang-Arun, J., Srisakulchairak, T., Schandl, H. & Tabucanon, M. (2015). *Sustainable Consumption and Production: A Handbook for Policymakers* (inf. téc.). <https://doi.org/10.13140/2.1.4203.8569>
- Al-Battashi, H., Annamalai, N., Nallusamy, S., Al-Bahry, S., Tripathi, B., Nguyen, Q. & Gupta, V. (2019). Lignocellulosic biomass (LCB): a potential alternative biorefi-

- nery feedstock for polyhydroxyalkanoates production. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s11157-018-09488-4>
- Albashabsheh, N. T. & Stamm, J. L. H. (2019). Optimization of lignocellulosic biomass-to-biofuel supply chains with mobile pelleting. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 122, 545-562. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.12.015>
- Alcivar-Gavilanes, M. G., Carrillo-Anchundia, K. L. & Riera, M. A. (2022). Development of a bioplastic from banana peel. *Ingeniería e Investigación*, 42(3), e92768. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.92768>
- Alimba, C. G. & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>
- Allaire, J. RStudio: Integrated Development Environment for R. En: *The R User Conference, useR!* University of Warwick, 2011, 14.
- Amaris, G., Ávila, H. & Guerrero, T. (2017). Aplicación de modelo ARIMA para el análisis de series de volúmenes anuales en el río Magdalena. *Tecnura*, 21, 88-101. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2017000200007&nrm=iso
- Amaro-Rosales, M. & Robles-Belmont, E. (2013). Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 1(2), 183-195. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21933/J.EDSC.2013.02.043>

- Amores-Monge, V., Goyanes, S., Ribba, L., Lopretti, M., Sandoval-Barrantes, M., Camacho, M., Corrales-Ureña, Y. & Vega-Baudrit, J. R. (2022). Pineapple Agro-Industrial Wastes to Produce Biomedical Applications Post-COVID-19 Pandemic: Biorefinery and the Circular Economy. <https://www.preprints.org/manuscript/202204.0192/v1>
- Andriana, Y. (2014). Assessment of biomass feedstock availability and bio-refinery site selection for cellulosic ethanol and bio-methane production (Case study: Palm oil processing waste as bio-refinery feedstock in east Kalimantan, Indonesia). *Teknologi Indonesia*, 13(37), 136-146.
- Aramendis, R. H., Rodríguez, A. G. & Krieger Merico, L. F. (2018). *Contribuciones a un gran impulso ambiental en América Latina y el Caribe: bioeconomía*. CEPAL.
- Araújo, D. J. C., Machado, A. V. & Vilarinho, M. C. L. G. (2018). Availability and Suitability of Agroindustrial Residues as Feedstock for Cellulose-Based Materials: Brazil Case Study. *Waste and Biomass Valorization*, 10(10), 2863-2878. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0291-0>
- Ardila Ramírez, C., Palacio Londoño, M. & Barrera Zapata, R. (2018). Cáscara de Piña como Adsorbente de Colorantes Típicos de la Industria Textil. *Ciencia en Desarrollo*, 9, 161 -168. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882018000200161&nrm=iso
- Arga, A. (2020). Multi-Objective Optimization. <https://rpubs.com/Argaadya/moea>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*.
- Aristizábal-Alzate, C. E., Alvarado, P. N. & Vargas, A. F. (2020). Biorefinery Concept Applied to Phytochemical Extraction and Bio-Syngas Production using Agro-

- Industrial Waste Biomass: A Review. *Ingeniería e Investigación*, 40, 22 -36. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n2.82539>
- Aslan, A. K., Ali, M. D., Morad, N. A. & Tamunaidu, P. Polyhydroxyalkanoates production from waste biomass. En: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016, 7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/36/1/012040>.
- Asveld, L., van Est, R. & Stermerding, D. (2010). *From biobased 0.0 to biobased 3.0: some propositions* (Rathenau Instituut, Ed.). <https://pure.knaw.nl/ws/files/484687/BBErapportdef.pdf>
- Auras, R., Harte, B. & Selke, S. (2004). An overview of polylactides as packaging materials. *Macromolecular Bioscience*, 4(9), 835-64. <https://doi.org/10.1002/mabi.200400043>
- Awosusi, A. A., Ayeni, A. O., Adeleke, R. & Daramola, M. O. (2017). Biocompositional and thermodecompositional analysis of South African agro-waste corncob and husk towards production of biocommodities. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 12(6), 960-968. <https://doi.org/10.1002/apj.2138>
- Ba, B. H., Prins, C. & Prodhon, C. (2016). Models for optimization and performance evaluation of biomass supply chains: An Operations Research perspective [Optimization Methods in Renewable Energy Systems Design]. *Renewable Energy*, 87, 977-989. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.045>
- Banuri, T. (2013). Sustainable Development is the New Economic Paradigm. *Development*, (56), 208--2017. <https://doi.org/10.1057/dev.2013.38>
- Barnes, S. J. (2019). Understanding plastics pollution: The role of economic development and technological research. *Environmental Pollution*, 249, 812-821. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.108>

- Basak, I. & Saaty, T. (1993). Group decision making using the analytic hierarchy process. *Mathematical and Computer Modelling*, 17(4), 101-109. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90179-3](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90179-3)
- Bastas, A. & Liyanage, K. (2018). Sustainable supply chain quality management: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 181, 726-744. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.110>
- Bell, G., Schuck, Stephen Jungmeier, Gerfried Wellisch, M., Felby, C., Jørgensen, H., Stichnothe, Heinz Clancy, M., De Bari, Isabella Kimura, S., van Ree, R. & Jong, D. (2014). *IEA Bioenergy Task42 Biorefining* (inf. téc.).
- Bello, A, Morales, K, Sánchez, L, Lidueñez, V, Leal, A & Gelves, G. (2020). Computational Implementation of Required Industrial Unit Operations for Bio-Plastic Production From Starch Extracted from Banana Peels by Aerobic Fermentation using *Rizophus Oryzae*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012078>
- Beltrán-Ramírez, F., Orona-Tamayo, D., Cornejo-Corona, I., González-Cervantes, J. L. N., Esparza-Claudio, J. d. J. & Quintana-Rodríguez, E. Agro-Industrial Waste Revalorization: The Growing Biorefinery. En: *Biomass for Bioenergy - Recent Trends and Future Challenges*. 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.83569>.
- Berastegui Barranco, C., Ortega Rodríguez, J. P., Mendoza Fandiño, J. M., González Doria, Y. E. & Gómez Vasquez, R. D. (2017). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz, bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba. *Ingeniare*, 25(4), 643-653. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400643>

- Besi, M. D. & McCormick, K. (2015). Towards a Bioeconomy in Europe: National, Regional and Industrial Strategies. *Sustainability*, 7(8), 1-18. <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v7y2015i8p10461-10478d53711.html>
- Besseling, E., Redondo-Hasselerharm, P., Foekema, E. M. & Koelmans, A. A. (2019). Quantifying ecological risks of aquatic micro- and nanoplastic. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(1), 32-80. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1531688>
- Bhambulkar, A. V. (2011). Municipal solid waste collection routes optimized with Arc GIS network analyst. *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, 1(11), 202 -207. <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=536960>
- Bikse, V., Lusena-Ezera, I., Volkova, T. & Rivza, B. European bioeconomy policy and new opportunities for bio-based business development [19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, 30 June - 6 July, 2019]. En: *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*. 19. International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM (5.3). 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, 30 June - 6 July, 2019. Bulgarian Acad Sci; Acad Sci Czech Republ; Latvian Acad Sci; Polish Acad Sci; Russian Acad Sci; Serbian Acad Sci & Arts; Slovak Acad Sci; Natl Acad Sci Ukraine; Natl Acad Sci Armenia; Sci Council Japan; World Acad Sci; European Acad Sci, Arts & Letters; Ac. 51 Alexander Malinov blvd, Sofia, 1712, Bulgaria: STEF92 Technology, 2019. Cap. 21.Environmental Economics, 317-326. ISBN: 978-619-7408-86-7. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.3/S21.040>.

- Bilo, F., Pandini, S., Sartore, L., Depero, L. E., Gargiulo, G., Bonassi, A., Federici, S. & Bontempi, E. (2018). A sustainable bioplastic obtained from rice straw. *Journal of Cleaner Production*, 200, 357-368. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.252>
- Binod, P., Sindhu, R., Singhanian, R. R., Vikram, S., Devi, L., Nagalakshmi, S., Kurien, N., Sukumaran, R. K. & Pandey, A. (2010). Bioethanol production from rice straw: An overview [Special Issue on Lignocellulosic Bioethanol: Current Status and Perspectives]. *Bioresource Technology*, 101(13), 4767-4774. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.079>
- Bisang, R. & Anlló, G. (2015). Bioeconomics: a window on Latin American development. *Integration and Trade*, 19(39), 27. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163142872>
- Bisangy, Roberto and Regúnaga, Marcelo. (2019). Modelos de negocios bioeconómicos para una nueva matriz productiva. <http://webiiep.econ.uba.ar/uploads/novedades/108/archivos/3.pdf>
- Bivand, R. & Neteler, M. (2000). Open Source geocomputation: using the R data analysis language integrated with GRASS GIS and PostgreSQL data base systems. <http://www.geocomputation.org/2000/GC009/Gc009.htm>
- Boeri, P. A. & Sharry, S. Bioeconomía: un nuevo paradigma para el uso sustentable de la biodiversidad (L. En Burger, C., Sharry, S., Crippa, J., Ferlin D'Ambroso, M. y Lima, Ed.). En: *Liber Amicorum: En Homenaje a la Profesora Teodora Zamudio. Tomo I* (L. En Burger, C., Sharry, S., Crippa, J., Ferlin D'Ambroso, M. y Lima, Ed.). Ed. por En Burger, C., Sharry, S., Crippa, J., Ferlin D'Ambroso, M. y Lima, L. 2018, pp. 241-255. ISBN: 978-987-783-270-9. <https://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/4928>

- Bonaiuti, M. Bioeconomics (G. D'Alisa, F. Demaria & G. Kallis, Eds.). En: En *Degrowth. A Vocabulary for a New Era* (G. D'Alisa, F. Demaria & G. Kallis, Eds.). Ed. por D'Alisa, G., Demaria, F. & Kallis, G. 2014. Cap. 2, pp. 25-28. <https://doi.org/10.4324/9780203796146>.
- Bonartsev, A. P., Bonartseva, G. A., Reshetov, I. V., Kirpichnikov, M. P. & Shaitan, K. V. (2019). Application of polyhydroxyalkanoates in medicine and the biological activity of natural poly(3-hydroxybutyrate). *Acta Naturae*, 2(41). <https://doi.org/10.32607/20758251-2019-11-2-4-16>
- Boschetti, M., Busetto, L., Manfron, G., Laborte, A., Asilo, S., Pazhanivelan, S. & Nelson, A. (2017). PhenoRice: A method for automatic extraction of spatio-temporal information on rice crops using satellite data time series. *Remote Sensing of Environment*, 194, 347-365. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.029>
- Bowling, I. M., Ponce-Ortega, J. M. & El-Halwagi, M. M. (2011). Facility location and supply chain optimization for a biorefinery. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(10), 6276-6286.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C. & Ljung, G. M. (2016). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (5.^a ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Branke, J., Branke, J., Deb, K., Miettinen, K. & Slowiński, R. (2008). *Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches*. Springer.
- Brans, J. P. & De Smet, Y. PROMETHEE methods (F. J. Greco S., Ehrgott M., Ed.). En: En *International Series in Operations Research and Management Science* (F. J. Greco S., Ehrgott M., Ed.). Ed. por Greco S., Ehrgott M., F. J. New York: Springer, 2016. Cap. 6, pp. 187-219. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_6.

- Brans, J.-P. & Mareschal, B. (2005). Promethee Methods. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 163-186). Springer New York. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_5
- Brigham, C. Chapter 3.22 - Biopolymers: Biodegradable Alternatives to Traditional Plastics (B. Török & T. Dransfield, Eds.). En: *Green Chemistry* (B. Török & T. Dransfield, Eds.). Ed. por Török, B. & Dransfield, T. Elsevier, 2018, pp. 753-770. ISBN: 978-0-12-809270-5. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00027-3>.
- Brigham, C. J. & Riedel, S. L. (2019). The potential of polyhydroxyalkanoate production from food wastes. *Applied Food Biotechnology*, 6(1), 7-18. <https://doi.org/10.22037/afb.v6i1.22542>
- Brimberg, J. (1995). The Fermat—Weber location problem revisited. *Mathematical Programming*, 71(1), 71-76. <https://doi.org/10.1007/BF01592245>
- Briones Muñoz, A. & Riera, M. A. (2021). Residuos lignocelulósicos como materia prima de segunda generación en procesos de biorrefinación. *Avances en Química*, 16(3), 81-87. <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/article/view/17664>
- Brito, L. V., Cordeiro-Campos, J. P. & Corrêa-Batista, L. (2021). Compósito biodegradável utilizando bagaço de malte de cerveja e seus processos de fabricação [BR 102019014296-A2]. <http://www.google.it/patents/BR102019014296A2>
- Brizga, J., Hubacek, K. & Feng, K. (2020). The Unintended Side Effects of Bioplastics: Carbon, Land, and Water Footprints. *One Earth*, 3(1), 45-53. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.oneear.2020.06.016>
- Brodin, M., Vallejos, M., Opedal, M. T., Area, M. C. & Chinga-Carrasco, G. (2017). Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review.

- Journal of Cleaner Production*, 162, 646-664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>
- Bugge, M. M., Hansen, T. & Klitkou, A. (2016). What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Bundala, D., Bergenheim, W. & Metz, M. (2019). v.net.distance. <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/v.net.distance.html>
- Bátori, V., Jabbari, M., Åkesson, D., Lennartsson, P. R., Taherzadeh, M. J. & Zamani, A. (2017). Production of Pectin-Cellulose Biofilms: A New Approach for Citrus Waste Recycling. *International Journal of Polymer Science*, (ID 9732329), 1-9. <https://doi.org/10.1155/2017/9732329>
- Cabrero Ortega, M. Y. & García Pérez, A. (2022). *Análisis estadístico de datos espaciales con QGIS y R*. Editorial UNED.
- Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. (2010). *Renewable Energy*, 35(1), 170-173. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.008>
- Camino, S. M., Andrade Diaz, V. & Pesantez Villacis, D. (2016). Posicionamiento y eficiencia del banano, cacao y flores del Ecuador en el mercado mundial. *CIENCIA UNE-MI*, 9(19), 48-53. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss19.2016pp48-53p>
- Carmona-Cabello, M., Garcia, I. L., Leiva-Candia, D. & Dorado, M. P. (2018). Valorization of food waste based on its composition through the concept of biorefinery [Bioresources and Biochemicals / Biofuels and Bioenergy]. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 14, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.06.011>
- Carpintero, O. (2006). *La bioeconomía de Georgescu Roegen* (1.^a ed.). Montesinos.

- Castañó Peláez, H., Reales Alfaro, J. & Zapata Montoya, J. (2013). Simultaneous saccharification and fermentation of cassava stems. *DYNA*, 80(180), 97–104. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25824>
- Castro-Aguirre, E., Iñiguez-Franco, F., Samsudin, H., Fang, X. & Auras, R. (2016). Poly(lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life [PLA biodegradable polymers]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 333-366. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010>
- Catunda-Pinto, C. H. (2016). Process of producing disposable and biodegradable bio-cups and bio-utensils from cashew nut (*anacardium occidentale* l.) [BR102013017538A2]. <https://patents.google.com/patent/BR102013017538A2>
- Cegarra-Sánchez, J. (2012). *Los métodos de investigación*. Ediciones Díaz de Santos.
- CEPAL. (2013). *La economía del cambio climático en el Ecuador 2012*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/35455-la-economia-cambio-climatico-ecuador-2012>
- Chan, C. M., Vandi, L.-J., Pratt, S., Halley, P., Richardson, D., Werker, A. & Laycock, B. (2018). Composites of Wood and Biodegradable Thermoplastics: A Review. *Polymer Reviews*, 58(3), 444-494. <https://doi.org/10.1080/15583724.2017.1380039>
- Chan, J. X., Wong, J. F., Hassan, A. & Zakaria, Z. Bioplastics from agricultural waste (N. Saba, M. Jawaid & M. Thariq, Eds.). En: *En Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications* (N. Saba, M. Jawaid & M. Thariq, Eds.). Ed. por Saba, N., Jawaid, M. & Thariq, M. 2021. Cap. 8, pp. 141-169. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819953-4.00005-7>.
- Chang, C.-L., McAleer, M. & Wang, Y.-A. (2018). Modelling volatility spillovers for bio-ethanol, sugarcane and corn spot and futures prices. *Renewable and Sustainable*

- Energy Reviews*, 81, 1002-1018. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.024>
- Chang, K. (2019). *Geographic information system technology* (y Douglas Richardson, Noel Castree, Michael F. Goodchild, Audrey Kobayashi, Weidong Liu & R. A. Marston, Eds.). 9 John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0152.pub2>
- Changwichan, K., Silalertruksa, T. & Gheewala, S. H. (2018). Eco-efficiency assessment of bioplastics production systems and end-of-life options. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4), 952. <https://doi.org/10.3390/su10040952>
- Chaoui, H. & Eckhoff, S. R. Biomass feedstock storage for quantity and quality preservation. En: *Engineering and science of biomass feedstock production and provision*. Springer, 2014, pp. 165-193. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8014-4_7.
- Chavez-Sifontes, M. (2019). La biomasa-fuente alternativa de combustibles y compuestos químicos. *Anales de Química de la RSEQ*, 115(5), 399-399.
- Chen, G.-Q. & Jiang, X.-R. (2017). Engineering bacteria for enhanced polyhydroxyalkanoates (PHA) biosynthesis. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 2(3), 192-197. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2017.09.001>
- Chen, G.-Q. & Wu, Q. (2005). The application of polyhydroxyalkanoates as tissue engineering materials. *Biomaterials*, 26(33), 6565-6578. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.04.036>
- Chen, J. & Wang, Y. (2012). The potential estimation of biomass in Hubei rural areas based on ARIMA model. *Forestry Economic*, 6, 97-101. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotol-LYJJ201206025.htm

- Chen, S.-F., Mowery, R. A., Scarlata, C. J. & Chambliss, C. K. (2007). Compositional analysis of water-soluble materials in corn stover. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(15), 5912-5918. <https://doi.org/10.1021/jf0700327>
- Chen, S., Zhang, Y., Qing, J., Han, Y., McClements, D. J. & Gao, Y. (2020). Core-shell nanoparticles for co-encapsulation of coenzyme Q10 and piperine: Surface engineering of hydrogel shell around protein core. *Food Hydrocolloids*, 103, 105651. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105651>
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(7), 1412-1421. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.01.015>
- Cherubini, F., Wellisch, M., Willke, T., Skiadas, I., Ree, R. V. & de Jong, E. (2009). Toward a common classification approach for biorefinery systems. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 3(5), 534-546. <https://doi.org/10.1002/bbb.172>
- Ching-Shih, V. & Ming-Chang, A. L. (2015). Package 'nsga2R'. <https://cran.r-project.org/web/packages/nsga2R/nsga2R.pdf>
- Chung, C., Koo, C. K., Sher, A., Fu, J. T. R., Rousset, P. & McClements, D. J. (2019). Modulation of caseinate-stabilized model oil-in-water emulsions with soy lecithin. *Food Research International*, 122, 361-370. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.032>
- Chávez Quisbert, N. (1997). Modelos ARIMA. *Revista Ciencia y Cultura*, 1, 23-30. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-33231997000100005
- Colmillo, C., Jinyun, D., Jiayu, W., Runze, X. & Jiashun, C. (2021). Method and system for measurement of road profile [CN112359072A]. <http://www.google.it/patents/CN112359072A>

- Comaniță, E. D., Ghinea, C., Hlihor, R. M., Simion, I. M., Smaranda, C., Favier, L., Roșca, M., Gostin, I. & Gavrilescu, M. (2015). Challenges and oportunities in green plastics: An assessment using the electre decision-aid method. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(3), 689-702.
- Coral Medina, J. D., Alomia, F. B., Magalhaes, A. I., Cesar de Carvalho, J., Woiciechowsky, A. L. & Soccol, C. R. (2021). Simulation of different biorefinery configuration including environmental, technical and economic assay using sugarcane bagasse. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128162>
- Corona, A., Ambye-Jensen, M., Vega, G. C., Hauschild, M. Z. & Birkved, M. (2018). Techno-environmental assessment of the green biorefinery concept: Combining process simulation and life cycle assessment at an early design stage. *Science of The Total Environment*, 635, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.357>
- Correa Restrepo, F. (2015). Economía del desarrollo sostenible: propuestas y limitaciones de la teoría neoclásica. *Semestre Económico*, 6(12). <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1367>
- Correa-Restrepo, F. (2015). Una revisión analítica sobre el papel de la tierra en la teoría económica de David Ricardo. *Rev. Fac. Cienc. Econ.*, 23(1), 103-114. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v23n1/v23n1a06.pdf>
- Cortez, P. (2014). Multi-Objective Optimization. *Modern Optimization with R* (pp. 99-117). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08263-9_6
- Cortés Hernández, H. F. & Yepes, P. N. M. (2011). *Aprovechamiento integral de la planta del plátano* [Incluye referencias bibliográficas]. Elizcom S.A.S.

- Cosna, I.-G. (2019). Evolution of Bioeconomic Management in the context of Sustainable Development in the Age of Globalization. *Manager Journal*, 29(1), 17-28. <https://ideas.repec.org/a/but/manage/v29y2019i1p17-28.html>
- Crawford, R. J. & Martin, P. J. (2020). *General properties of plastics* (4.^a ed.). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100709-9.00001-7>
- Cuadrado, M., Cuadrado, L. & Ebrero, M. (2017). *Decisión multicriterio discreta*. Editorial Universitaria Ramón Areces. <https://books.google.com.ec/books?id=nu1ADwAAQBAJ>
- Cui, S., Liu, Y., Zhang, Y., He, L. & Wu, X. Algae biomass and radius prediction based on ARMA-BP neural network combination model. En: *ACM International Conference Proceeding Series*. 2020. ISBN: 9781450376785. <https://doi.org/10.1145/3384613.3384641>.
- Curtin, K. M. (2007). Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections. *Cartography and Geographic Information Science*, 34(2), 103-111. <https://doi.org/10.1559/152304007781002163>
- Dahiya, S., Kumar, A. N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O. & Mohan, S. V. (2018). Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy [Bio-conversion of Food Wastes]. *Bioresource Technology*, 248, 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176>
- Dai, H., Liu, Y., Chang, Y. & Chen, S. A design methodology for biomass energy supply chains based on weighted K-means algorithm. En: *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. 2017, 1362-1366. ISBN: 978-1-5386-0948-4. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290115>.

- Daud, Z., Kassim, A. S. B. M., Aripin, A. M., Awang, H. & Hatta, M. Z. M. (2013). Chemical composition and morphological of cocoa pod husks and cassava peels for pulp and paper production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(9), 406-411. <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2013/July/406-411.pdf>
- De, D., Naga Sai, M. S., Aniya, V. & Satyavathi, B. (2021). Strategic biorefinery platform for green valorization of agro-industrial residues: A sustainable approach towards biodegradable plastics. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125184. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125184>
- De Besi, M. & McCormick, K. (2015). Towards a Bioeconomy in Europe: National, Regional and Industrial Strategies. *Sustainability*, 7, 10461-10478. <https://doi.org/10.3390/su70810461>
- De Corato, U., De Bari, I., Viola, E. & Pugliese, M. (2018). Assessing the main opportunities of integrated biorefining from agro-bioenergy co/by-products and agro-industrial residues into high-value added products associated to some emerging markets: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88, 326-346. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.041>
- De La Cruz Medina, J., Vargas Ortiz, M. & Del Angel Coronel, O. (s.f.). *CACAO: Operaciones Poscosecha*. <https://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/es/>
- de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, M., del Ambiente y Agua, M. & de Cementos, U. A. (2020). *Resumen del informe final de la consultoría para la fase I del libro blanco de economía circular* (P. Díaz, K. King, M. Torresano, Y. Jaramillo & J. Calles, Eds.). UNACEM. <https://unacem.com.ec/wp-content/uploads/2020/07/resumen-del-informe-final-de-la-consultoria-para-la-fase-i-del-libro-blanco-de-economia-circular.pdf>

- De Visser, C. d. & Van Ree, R. (2016). *Small-scale Biorefining*. Wageningen University & Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/512997>
- del Ambiente y Agua, M. (2020). Ecuador promueve la bioeconomía como una estrategia para el desarrollo sostenible. Boletín N° 188. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-promueve-la-bioeconomia-como-una-estrategia-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Delivand, M. K., Cammerino, A. R. B., Garofalo, P. & Monteleone, M. (2015). Optimal locations of bioenergy facilities, biomass spatial availability, logistics costs and GHG (greenhouse gas) emissions: a case study on electricity productions in South Italy. *Journal of Cleaner Production*, 99, 129-139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.018>
- Deumaga, M. F. T., Emaga, T. H., Tchokouassom, R., Vanderghem, C., Aguedo, M., Gillet, S., Jacquet, N., Danthine, S., Magali, D. & Richel, A. (2015). Genotype contribution to the chemical composition of banana rachis and implications for thermo/biochemical conversion. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 3(5), 409-416. <https://doi.org/10.1007/s13399-015-0158-6>
- Diep, N. Q., Sakanishi, K., Nakagoshi, N., Fujimoto, S., Minowa, T. & Xuan, D. T. (2012). Biorefinery: Concepts , Current Status, and Development Trends. *International Journal of Biomass & Renewables*, 1(2), 1-8. <http://www.myjurnal.my/public/article-view.php?id=69957>
- Dietrich, K., Dumont, M. J., Del Rio, L. F. & Orsat, V. (2019). Sustainable PHA production in integrated lignocellulose biorefineries. *New Biotechnology*, 49(25), 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.11.004>

- Djukić-Vuković, A., Mladenović, D., Ivanović, J., Pejin, J. & Mojović, L. (2019). Towards sustainability of lactic acid and poly-lactic acid polymers production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 238-252. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.050>
- Dogan, O. (2021). Process mining technology selection with spherical fuzzy AHP and sensitivity analysis. *Expert Systems with Applications*, 178, 114999. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114999>
- Domínguez M.S., C. E. (1981). *Morfología de la planta de yuca*. Ciat. <https://books.google.com.ec/books?id=0EUPqLHodagC>
- Dragone, G., Kerssemakers, A. A., Driessen, J. L., Yamakawa, C. K., Brumano, L. P. & Mussatto, S. I. (2020). Innovation and strategic orientations for the development of advanced biorefineries. *Bioresource Technology*, 302, 122847. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122847>
- D'Souza, R. L. & Unnikrishnan, G. (2018). Bioplastic a step towards sustainability. *International Journal of Current Trends in Science and Technology*, 8(5), 20211-20219.
- Dunan, C. (2018). Simposio Internacional Del Sur al Mundo 2030. Bionegocios sustentables. <https://www.youtube.com/embed/fsOcezI2dAY?rel=0>
- Dávila, M. (1983). *El Plátano*. IICA.
- Díaz, A. (2020). Producción mundial de plástico 1950-2018. <https://es.statista.com/estadisticas/636183/produccion-mundial-de-plastico/#statisticContainer>
- Egelyng, H., Romsdal, A., Hansen, H., Slizyte, R., Carvajal, A., Jouvenot, L., Hebrok, M., Honkapää, K., Wold, J., Seljåsen, R. & Aursand, M. (2018). Cascading Norwegian co-streams for bioeconomic transition. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3864-3873. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.099>

- Elarbi, M., Bechikh, S., Ben Said, L. & Datta, R. (2017). Multi-objective Optimization: Classical and Evolutionary Approaches. En S. Bechikh, R. Datta & A. Gupta (Eds.), *Recent Advances in Evolutionary Multi-objective Optimization* (pp. 1-30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42978-6_1
- Emrouznejad, A. & Ho, W. (2017). *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*. CRC Press. <https://books.google.com.ec/books?id=DmpQDwAAQBAJ>
- Endel, F. & Filzmoser, P. (2012). *IFAC Proceedings Volumes*, 45(2), 618-623. <https://doi.org/10.3182/20120215-3-AT-3016.00110>
- Eriksen, M., Pivnenko, K., Olsson, M. & Astrup, T. (2018). Contamination in plastic recycling: Influence of metals on the quality of reprocessed plastic. *Waste Management*, 79, 595-606. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.007>
- Escobar, N. & Britz, W. (2021). Metrics on the sustainability of region-specific bioplastics production, considering global land use change effects. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105345>
- European Bioplastics. (2018). What are bioplastics? <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>
- European Bioplastics. (2020a). *Bioplastics market development update 2020* (inf. téc.). Berlin. https://docs.european-bioplastics.org/conference/Report_Bioplastics_Market_Data_2020_short_version.pdf
- European Bioplastics. (2020b). Global production capacities of bioplastic in 2020 (by region). https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2020/11/Global_Production_Capacity_2020_by_region_map.jpg

- FAO. (2020a). FAOSTAT: Burning - Crop Residues. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GB>
- FAO. (2020b). Precios al productor. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/PP>
- Farji-Brener, A. G. (2007). Una forma alternativa para la enseñanza del método hipotético-deductivo. *Interciencia*, 32, 716 -720. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001000015&nrm=iso
- Ferreira, A. F. (2017). Biorefinery Concept. En M. Rabçal, A. F. Ferreira, C. A. M. Silva & M. Costa (Eds.), *Biorefineries: Targeting Energy, High Value Products and Waste Valorisation* (pp. 1-20). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48288-0_1
- Fiallos-Cárdenas, M., Ramirez, A. D., Pérez-Martínez, S., Romero Bonilla, H., Ordoñez-Viñan, M., Ruiz-Barzola, O. & Reinoso, M. A. (2021). Bacterial Nanocellulose Derived from Banana Leaf Extract: Yield and Variation Factors. *Resources*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/resources10120121>
- Figueira, J. R., Mousseau, V. & Roy, B. (2016). ELECTRE Methods. En S. Greco, M. Ehrgott & J. R. Figueira (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 155-185). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_5
- Fischer, M. (2006). GIS and Network Analysis. *Spatial Analysis and GeoComputation: Selected Essays* (pp. 43-60). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-35730-0_4
- Florez-Vargas, A. O., Sánchez-Molina, J. & Sánchez-Zuñiga, J. V. (2020). Caracterización de los residuos de la cosecha del plátano harton para un potencial uso industrial.

- Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, 8(3), 13-16. <https://doi.org/10.15649/2346030X.821>
- Food & of the United Nations, A. O. (2014). *Bioenergía y seguridad alimentaria. Evaluación rápida. BEFS RA*. Food; Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/bp843s/bp843s.pdf>
- Food & of the United Nations, A. O. (2015). *Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura*. Food; Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i4260s/i4260s.pdf>
- Forero Núñez, C., Cediell Ulloa, A., Rivera Gil, J., Suaza Montalvo, A. & Sierra Vargas, F. (2012). Preliminary study on the energetic Potential of Palm cuesco and coconut shellin Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 8(14), 19-25. <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/340>
- Galanopoulos, C., Giuliano, A., Barletta, D. & Zondervan, E. An optimization model for a biorefinery system based on process design and logistics (A. A. Kiss, E. Zondervan, R. Lakerveld & L. Özkan, Eds.). En: *En 29th European Symposium on Computer Aided Process Engineering* (A. A. Kiss, E. Zondervan, R. Lakerveld & L. Özkan, Eds.). Ed. por Kiss, A. A., Zondervan, E., Lakerveld, R. & Özkan, L. Vol. 46. Computer Aided Chemical Engineering. Elsevier, 2019, pp. 265-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50045-X>.
- García Tejeda, Y. V. (2008). *Elaboración de películas de almidón oxidado de plátano (Musa paradisiaca L) por extrusión y su caracterización parcial* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional.
- García Villanueva, P. & Garza García, Y. (2016). Sacarificación y fermentación simultánea de olote pretratado. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y*

- Agropecuarias*, 5(9), 53 -67. <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/50>
- Garlotta, D. (2001). A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2), 63-84. <https://doi.org/10.1023/A:1020200822435>
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A. & Koh, S. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications [New Research Frontiers in Sustainability]. *Omega*, 66, 344-357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- Geyer, R. Chapter 2 - Production, use, and fate of synthetic polymers (T. M. Letcher, Ed.). En: *Plastic Waste and Recycling* (T. M. Letcher, Ed.). Ed. por Letcher, T. M. Academic Press, 2020, pp. 13-32. ISBN: 978-0-12-817880-5. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00002-5>.
- Geyer, R., Jambeck, J. R. & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Ghadimi, P., Wang, C. & Lim, M. K. (2019). Sustainable supply chain modeling and analysis: Past debate, present problems and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.005>
- Ghose, D., Naskar, S. & Uddin, S. Q-GIS-MCDA based approach to identify suitable biomass facility location in Sikkim (India). En: *2019 Second International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (ICACCP)*. 2019, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICACCP.2019.8882978>.
- Giampietro, M. (2019). On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth. *Ecological Economics*, 162, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>

- Giroto, F., Alibardi, L. & Cossu, R. (2015). Food waste generation and industrial uses: A review [Urban Mining]. *Waste Management*, 45, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.008>
- Gital Durmaz, Y. & Bilgen, B. (2020). Multi-objective optimization of sustainable biomass supply chain network design. *Applied Energy*, 272, 115259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115259>
- Gnansounou, E. & Alves, C. M. Chapter 8 - Integrated Sustainability Assessment of Biofuels (A. Pandey, C. Larroche, C.-G. Dussap, E. Gnansounou, S. K. Khanal & S. Ricke, Eds.; Second Edition). En: *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (Second Edition)* (A. Pandey, C. Larroche, C.-G. Dussap, E. Gnansounou, S. K. Khanal & S. Ricke, Eds.; Second Edition). Ed. por Pandey, A., Larroche, C., Dussap, C.-G., Gnansounou, E., Khanal, S. K. & Ricke, S. Second Edition. Biomass, Biofuels, Biochemicals. Academic Press, 2019, pp. 197-214. ISBN: 978-0-12-816856-1. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816856-1.00008-7>.
- Gonzales, D. S. & Searcy, S. W. (2017). GIS-based allocation of herbaceous biomass in biorefineries and depots. *Biomass and Bioenergy*, 97, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.12.009>
- González, J. Z. (2013). Extraction of polyhydroxialcanoates (PHA), from oleaginous biomass and use of the solvent obtained for the extraction of polyhydroxialcanoats (PHA), from biomass. [ES2383383B1]. <https://patents.google.com/patent/ES2383383B1>
- González García, Y., Meza Contreras, J. C., González Reynoso, O. & Córdova López, J. A. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos biode-

- gradables. *Rev. Int. Ambie.*, 29(1), 77-115. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007
- Gorgieva, S. & Trček, J. (2019). Bacterial cellulose: Production, modification and perspectives in biomedical applications. *Nanomaterials*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/nano9101352>
- Govil, T., Wang, J., Samanta, D., David, A., Tripathi, A., Rauniyar, S., Salem, D. R. & Sani, R. K. (2020). Lignocellulosic feedstock: A review of a sustainable platform for cleaner production of nature's plastics. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122521>
- Gowdy, J. (2016). Mauro Bonaiuti (ed.): From bioeconomics to degrowth: Georgescu-Roegen's "New Economics" in eight essays. *Journal of Bioeconomics*, 18, 79-85. <https://doi.org/10.1007/s10818-015-9208-1>
- Grande Tovar, C. D. & Orozco Colonia, B. S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1). <https://doi.org/10.21500/22563202.604>
- Gras, J. A. Modelos ARIMA (D. d. s. t. técnicas de Análisis, Ed.). En: En *Diseños de series temporales: técnicas de análisis* (D. d. s. t. técnicas de Análisis, Ed.). Ed. por técnicas de Análisis, D. d. s. t. 2001, pp. 49-80. ISBN: 84-8338-250-4.
- Grassi, V. G. (2018). Reaction: Conventional Polymers—New Tricks Emerging. *Chem*, 4(5), 930. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2018.04.014>
- Grewal, J., Sadaf, A., Yadav, N. & Khare, S. Chapter 5 - Agroindustrial waste based biorefineries for sustainable production of lactic acid (T. Bhaskar, A. Pandey, E. R. Rene & D. C. Tsang, Eds.). En: En *Waste Biorefinery* (T. Bhaskar, A. Pandey, E. R. Rene & D. C. Tsang, Eds.). Ed. por Bhaskar, T., Pandey, A.,

- Rene, E. R. & Tsang, D. C. Elsevier, 2020, pp. 125-153. ISBN: 978-0-12-818228-4.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818228-4.00005-8>.
- Grigoras, G. & Scarlatache, F. (2015). An assessment of the renewable energy potential using a clustering based data mining method. Case study in Romania. *Energy*, 81, 416-429. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.054>
- Group, W. B. (2021). Commodity Markets. <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets#2>
- Gu, F., Guo, J., Zhang, W., Summers, P. A. & Hall, P. (2017). From waste plastics to industrial raw materials: A life cycle assessment of mechanical plastic recycling practice based on a real-world case study. *Science of The Total Environment*, 601-602, 1192-1207. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.278>
- Gómez Montoya, D., Méndez Giraldo, G. A., Méndez Morales, E., Ortiz Chavarro, G. & Turriago Hoyos, (2007). Metodología Basada en Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para Seleccionar Cadenas Productivas que Buscan Soluciones de Automatización a Bajo Costo. *Ingeniería*, 13(1), 15–26. <https://doi.org/10.14483/23448393.2085>
- Gómez-Soto, J., Sánchez-Toro, & Matallana-Pérez, L. (2019). Urban, Agricultural and Livestock Residues in the Context of Biorefineries. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(53), 7-32. <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n53.2019.9705>
- Hanke, J. E. & Wichern, D. W. (2006). *Pronósticos en los negocios*. Pearson educación.
- Haro-Martínez, A. A. & Taddei-Bringas, I. C. (2014). Sustentabilidad y economía: la controversia de la valoración ambiental. *Economía, Sociedad y Territorio*, 14(46), 121–148. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212014000300007

- Harouff, S. E., Grushecky, S. T. & Spong, B. D. West Virginia forest industry transportation network analysis using GIS (D. F. Jacobs & C. H. Michler, Eds.). En: En *Proceedings 16th Central Hardwood Forest Conference* (D. F. Jacobs & C. H. Michler, Eds.). Ed. por Jacobs, D. F. & Michler, C. H. 2008.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G. M. & Danquah, M. K. (2010). Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1037-1047. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.004>
- Hassan, M., Ariffin, H., Mohd-Zahari, M., Salihon, J., Mokhtar, M. & Shirai, Y. (2013). Renewable sugars from oil palm wastes [WO2013043036A1]. <http://www.google.it/patents/WO2013043036A1>
- Hellmann, K. U. & Luedicke, M. K. (2018). The Throwaway Society: a Look in the Back Mirror. *Journal of Consumer Policy*, 41(1), 83-87. <https://doi.org/10.1007/s10603-018-9371-6>
- Heredia-Guerrero, J. A., Heredia, A., Domínguez, E., Cingolani, R., Bayer, I. S., Athanassiou, A. & Benítez, J. J. (2017). Cutin from agro-waste as a raw material for the production of bioplastics. *Journal of experimental botany*, 19(9), 5401-5410. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx272>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. & Baptista-Lucio, M. d. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). Mc Graw Hill.
- Herrera Umaña, M. F. & Osorio Gómez, J. C. (2006). Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso. *Estudios Gerenciales*, 22, 69 -88. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232006000200003&nrm=iso
- Hill, L. (2006). *Georeferencing: The Geographic Associations of Information*. The MIT Press.

- Hodson de Jaramillo, E. (2018). Bioeconomía: el futuro sostenible. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42, 188 -201. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082018000300188&nrm=iso
- Hong, Y. & Wu, Y.-R. (2020). Acidolysis as a biorefinery approach to producing advanced bioenergy from macroalgal biomass: A state of the art review. *Bioresource Technology*, 318, 124080. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124080>
- Husain, R., Assavapokee, T. & Khumawala, B. (2006). Supply Chain Management in the Petroleum Industry: Challenges and Opportunities. *International Journal of Global Logistics & Supply Chain Management*, 1(2), 90-97. https://www.researchgate.net/publication/261912419_Supply_Chain_Management_in_the_Petroleum_Industry_Challenges_and_Opportunities
- Hyndman, R. & Khandakar, Y. (2008). Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, 27(3), 1-22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>
- Ibrahim, M., Sapuan, S., Zainudin, E. & Zuhria, M. (2019). Extraction, Chemical Composition, and Characterization of Potential Lignocellulosic Biomasses and Polymers from Corn Plant Parts. *BioResources*, 14(3), 6485-6500. https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes_14_3_6485_Ibrahim_Extraction_Chemical_Composition_Corn/6979
- IEA Bioenergy. (2021). Facilities. Consultado el 12 de febrero de 2021, desde <https://www.ieabioenergy.com/installations/>
- Imbert, E., Ladu, L., Morone, P. & Quitzow, R. (2017). Comparing policy strategies for a transition to a bioeconomy in Europe: The case of Italy and Germany [Policy

- mixes for energy transitions]. *Energy Research & Social Science*, 33, 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.08.006>
- INEC. (2015). Encuesta Anual de Manufactura y Minería. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-anual-de-manufactura-y-mineria/>
- INEC. (2019). Visualizador de estadísticas empresariales. Directorio de empresas y establecimientos - DIEE. <https://public.tableau.com/app/profile/instituto.nacional.de.estadistica.y.censos.inec./viz/VisualizadordeEstadisticasEmpresariales/Dportada>
- INEC. (2020a). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Metodologia%20ESPAC%202019.pdf
- INEC. (2020b). Producción de la Industria Manufacturera. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/produccion-industria-manufacturera/>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36012424010>
- Instituto Geofísico Militar. (2022). Mapa de Peligro Sísmico. <https://www.igepn.edu.ec/descarga-de-datos>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Janqui Guzman, G. (2018). *Remoción de molibdeno del agua del río Challhuahuacho de Cotabambas-Apurímac con carbon activado de tusa de maíz (zea mays)* (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Altiplano.

- Jeong, J. S. & Ramírez-Gómez, (2017). A Multicriteria GIS-Based Assessment to Optimize Biomass Facility Sites with Parallel Environment—A Case Study in Spain. *Energies*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/en10122095>
- Jian, Z., Lei, L., Xiangyang, H., Jinmou, X. & Yuxing, U. (2016). Bagasse tapioca (flour) poly(lactic acid) biodegradable material and its preparation method and application [CN104017340B]. <http://www.google.it/patents/CN112359072A>
- Jiang, L. & Zhang, J. 7 - Biodegradable and Biobased Polymers (M. Kutz, Ed.; Second Edition). En: *Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition)* (M. Kutz, Ed.; Second Edition). Ed. por Kutz, M. Second Edition. Plastics Design Library. William Andrew Publishing, 2017, pp. 127-143. ISBN: 978-0-323-39040-8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00007-9>.
- Jiménez A., R., San Martín H., F., Huamán U., H., Ara G., M. & Huamán C., A. (2010). Subproductos de papa en la alimentación estratégica de ovinos durante la estación seca en el Valle del Mantaro. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 21, 11 -18. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172010000100002&nrm=iso
- Jin, S. & Chen, H. (2007). Near-infrared analysis of the chemical composition of rice straw. *Industrial Crops and Products*, 26(2), 207-211. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.004>
- John, M. J. & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343-364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>
- Jones, O. D., O'Connor, E. O. & Stake, J. E. (2011). Economics, Behavioral Biology, and Law. *Supreme Court Economic Review*, 19, 103-141. <https://doi.org/10.1086/664564>

- Jung, S., Kim, H., Tsang, Y. F., Lin, K.-Y. A., Park, Y.-K. & Kwon, E. E. (2020). A new biorefinery platform for producing (C2-5) bioalcohols through the biological/chemical hybridization process. *Bioresource Technology*, 311, 123568. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123568>
- Jōgi, K. & Bhat, R. (2020). Valorization of food processing wastes and by-products for bioplastic production. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, 100326. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100326>
- Kabenge, I., Omulo, G., Banadda, N., Seay, J., Zziwa, A., Kiggundu, N. et al. (2018). Characterization of banana peels wastes as potential slow pyrolysis feedstock. *Journal of Sustainable Development*, 11(2), 14.
- Kadipasaoglu, S., Captain, J. & James, M. (2008). Polymer supply chain management. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 4(2), 233-253. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2008.016573>
- Kalia, V., Sonakya, V & Raizada, N. (2000). Anaerobic digestion of banana stem waste. *Bioresource Technology*, 73(2), 191-193. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00172-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00172-8)
- Kalia, V. C., Ray, S., Patel, S. K. S., Singh, M. & Singh, G. P. (2019). The Dawn of Novel Biotechnological Applications of Polyhydroxyalkanoates. En V. C. Kalia (Ed.), *Biotechnological Applications of Polyhydroxyalkanoates* (pp. 1-11). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3759-8_1
- Kaliyan, N. & Morey, R. V. (2010). Densification characteristics of corn cobs. *Fuel Processing Technology*, 91(5), 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.01.001>

- Kamm, B. & Kamm, M. (2004a). Biorefinery - systems. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 18(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-59561-4.00014-0>
- Kamm, B. & Kamm, M. (2004b). Principles of biorefineries. *Appl Microbiol Biotechnol*, 64, 137–145. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1537-7>
- Kanan, S. & Samara, F. (2018). Dioxins and furans: A review from chemical and environmental perspectives. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 17, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2017.12.001>
- Kang, S., Heo, S., Realff, M. J. & Lee, J. H. (2020). Three-stage design of high-resolution microalgae-based biofuel supply chain using geographic information system. *Applied Energy*, 265, 114773. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114773>
- Kanmani, P., Aravind, J., Kamaraj, M., Sureshbabu, P. & Karthikeyan, S. (2017). Environmental applications of chitosan and cellulosic biopolymers: A comprehensive outlook. *Bioresource Technology*, 242, 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.119>
- Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M. & Hankamer, B. (2019). Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 24(3), 237-249. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010>
- Kazemzadeh, N. & Hu, G. (2013). Optimization models for biorefinery supply chain network design under uncertainty. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(5), 053125. <https://doi.org/10.1063/1.4822255>
- Kedzierski, M., Frère, D., Le Maguer, G. & Bruzard, S. (2020). Why is there plastic packaging in the natural environment? Understanding the roots of our individual

- plastic waste management behaviours. *Science of The Total Environment*, 740, 139985. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139985>
- Keegan, D., Kretschmer, B., Elbersen, B. & Panoutsou, C. (2013). Cascading use: a systematic approach to biomass beyond the energy sector. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(2), 193-206. <https://doi.org/10.1002/bbb.1351>
- Kelleher, J. & Tierney, B. (2021). *Ciencia de datos: La serie de conocimientos esenciales de MIT Press*. Ediciones UC. <https://books.google.com.ec/books?id=dkpQEAAAQBAJ>
- Keller, A. (2019). *Multi-Objective Optimization in Theory and Practice II: Metaheuristic Algorithms*. Bentham Science Publishers. <https://books.google.com.ec/books?id=3uyRDwAAQBAJ>
- Kent, J. A. (2003). Synthetic Resins and Plastics. En J. A. Kent (Ed.), *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry* (pp. 662-725). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-23816-6_19
- Khan, A. A., Butt, M. S., Randhawa, M. A., Karim, R., Sultan, M. T. & Ahmed, W. (2014). Extraction and characterization of pectin from grapefruit (Duncan cultivar) and its utilization as gelling agent. *International Food Research Journal*, 21(6), 2195-2199.
- Khodaparast, M., Rajabi, A. M. & Edalat, A. (2018). Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(52), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7215-3>
- Khoo, H. H., Eufrazio-Espinosa, R. M., Koh, L. S., Sharratt, P. N. & Isoni, V. (2019). Sustainability assessment of biorefinery production chains: A combined LCA-supply

- chain approach. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1116-1137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.007>
- Kim, H., Lee, S., Ahn, Y., Lee, J. & Won, W. (2020). Sustainable Production of Bioplastics from Lignocellulosic Biomass: Technoeconomic Analysis and Life-Cycle Assessment. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(33), 12419-12429. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02872>
- Kim, Y. (2015). Method of preparing plant bioplastic pellet and mold product using nonedible material [KR20150092949A]. <http://www.google.it/patents/KR20150092949A>
- Koller, M. (2017). Advances in polyhydroxyalkanoate (PHA) production. *Bioengineering*, 4(4), 88. <https://doi.org/10.3390/bioengineering4040088>
- Koopmans, A. & Koppejan, J. (1998). Agricultural and forest residues - Generation, utilization and availability. <http://www.fao.org/3/AD576E/ad576e00.pdf>
- Kopacek, P. (2019). Trends in Production Automation [19th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability TECIS 2019]. *IFAC-PapersOnLine*, 52(25), 509-512. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.595>
- Kou, X., Yang, R., Zhao, J., Lu, J. & Liu, Y. (2013). Enzymatic Saccharification and L-lactic Acid Fermentation of Corn Stover Pretreated with Liquid Hot Water by *Rhizopus oryzae*. *BioResources*, 8(4), 4899-4911. https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_08_4_4899_Kou_Saccharification_Fermentation_Rhizopus
- Kourmentza, C., Plácido, J., Venetsaneas, N., Burniol-Figols, A., Varrone, C., Gavala, H. N. & Reis, M. A. (2017). Recent advances and challenges towards sustainable

- polyhydroxyalkanoate (PHA) production. *Bioengineering*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/bioengineering4020055>
- Koutinas, A. A., Vlysidis, A., Pleissner, D., Kopsahelis, N., Lopez Garcia, I., Kookos, I. K., Papanikolaou, S., Kwan, T. H. & Lin, C. S. K. (2014). Valorization of industrial waste and by-product streams via fermentation for the production of chemicals and biopolymers. *Chemical Society Reviews*, 43(8), 2587. <https://doi.org/10.1039/c3cs60293a>
- Kovalcik, A., Obruca, S., Fritz, I. & Marova, I. (2019). Polyhydroxyalkanoates: Their importance and future. *BioResources*, 14(2), 2468-2471. <https://doi.org/10.15376/biores.14.2.2468-2471>
- Krajnc, D. & Glavic, P. (2003). Indicators of sustainable production. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 5, 279-288. <https://doi.org/10.1007/s10098-003-0221-z>
- Krishnaswamy, R. K. (2016). US009328239B2. <https://patentimages.storage.googleapis.com/10/b0/e3/41be915dd1a67a/US9328239.pdf>
- Kromus, S., Wachter, B., Koschuh, W., Mandl, M., Krotscheck, C. & Narodoslawsky, M. (2004). The Green Biorefinery Austria - Development of an integrated system for green biomass utilization. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 18(1), 7-12.
- Kronthaler, F. & Zöllner, S. (2021). *Data Analysis with Rstudio: An Easygoing Introduction*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62518-7>
- Krueger, M. C., Harms, H. & Schlosser, D. (2015). Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 8857-8874. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6879-4>

- Kumar, H. Biotechnology: Discoveries and their applications in societal welfare (A. Saxena, Ed.). En: En *Biotechnology business - concept to delivery* (A. Saxena, Ed.). Ed. por Saxena, A. Springer, 2020, pp. 3-44. ISBN: 9783030361303. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36130-3_1.
- Kumar, P. S., Saravanan, A., Jayasree, R. & Jeevanantham, S. 18 - Food industry waste biorefineries (R. P. Kumar, E. Gnansounou, J. K. Raman & G. Baskar, Eds.). En: En *Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts* (R. P. Kumar, E. Gnansounou, J. K. Raman & G. Baskar, Eds.). Ed. por Kumar, R. P., Gnansounou, E., Raman, J. K. & Baskar, G. Academic Press, 2020, pp. 407-426. ISBN: 978-0-12-818996-2. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818996-2.00018-1>.
- Kumar, R. & Shivakumar, S. (2014). Production of L-lactic acid from starch and food waste by amylolytic *Rhizopus oryzae* MTCC 8784. *Int J ChemTech Res*, 6(1), 527-537.
- Kumar Rana, G., Singh, Y., Mishra, S. P. & Rahangdale, H. K. (2018). Potential Use of Banana and Its By-products: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(6), 1827-1832. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.218>
- Lackner, M. (2015). Bioplastics. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (pp. 1-41). American Cancer Society. <https://doi.org/10.1002/0471238961.koe00006>
- Lambert, M.-J., Traoré, P. C. S., Blaes, X., Baret, P. & Defourny, P. (2018). Estimating smallholder crops production at village level from Sentinel-2 time series in Mali's cotton belt. *Remote Sensing of Environment*, 216, 647-657. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.036>

- Latterini, F., Stefanoni, W., Suardi, A., Alfano, V., Bergonzoli, S., Palmieri, N. & Pari, L. (2020). A GIS Approach to Locate a Small Size Biomass Plant Powered by Olive Pruning and to Estimate Supply Chain Costs. *Energies*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/en13133385>
- Lengyel, M. & Zanazzi, L. (2020). *Bioeconomía y desarrollo en la Argentina: oportunidades y decisiones estratégicas*. CIECTI.
- Lesme Jaén, R., Martillo Aseffe, J. A. & Oliva Ruiz, L. O. (2020). Estudio de la gasificación de la tusa del maíz para la generación de electricidad. *Ingeniería Mecánica*, 23. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442020000300008&nrm=iso
- Lewandowski, I., Gaudet, N., Lask, J., Maier, J., Tchouga, B. & Vargas-Carpintero, R. (2018). Introduction. En I. Lewandowski (Ed.), *Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy* (pp. 1-2). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_1
- Li, K., Fu, S., Zhan, H., Zhan, Y. & Lucian A., L. (2010). Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. *BioResources*, 5(2), 576-585. https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_05/BioRes_05_2_0576_Li_FZZL_Anal_Chem_Comp_Morph_Banana_Stem_834.pdf
- Li, W., Tse, H. & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment*, 566-567, 333-349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Li, Y., Zhu, J., Wan, C. & Park, S. (2011). Solid-State Anaerobic Digestion of Corn Stover for Biogas Production. *Transactions of the ASABE*, 54(4), 1415-1421. <https://doi.org/10.13031/2013.39010>

- Lim, M. K., Tseng, M.-L., Tan, K. H. & Bui, T. D. (2017). Knowledge management in sustainable supply chain management: Improving performance through an interpretive structural modelling approach. *Journal of Cleaner Production*, 162, 806-816. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.056>
- Lindorfer, J., Lettner, M., Hesser, F., Fazeni, K., Rosenfield, D., Annevelink, B. & Mandl, M. (2019). *Technical, economic and environmental assessment of biorefinery concepts. Developing a practical approach for characterisation*. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/07/TEE_assessment_report_final_20190704-1.pdf
- Liu, J., Zhou, H., Muriel Mundo, J. L., Tan, Y., Pham, H. & McClements, D. J. (2020). Fabrication and characterization of W/O/W emulsions with crystalline lipid phase. *Journal of Food Engineering*, 273, 109826. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109826>
- Liu, P.-L., Chen, W.-C. & Tsai, C.-H. (2005). An empirical study on the correlation between the knowledge management method and new product development strategy on product performance in Taiwan's industries. *Technovation*, 25(6), 637-644. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2003.11.001>
- Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C. A. & Rodríguez Herrera, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia*, 11, 150 -160. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200013&nrm=iso
- Lovett, J. & De Bie, F. (2016). *Sustainable sourcing of feedstocks for bioplastics : clarifying sustainability aspects around feedstock use for the production of bioplastics*, Corbion

- Group Netherlands B.V. http://www.corbion.com/media/550170/corbion__whitepaper_feedstock_sourcing_11.pdf
- Lubis, M., Harahap, M. B., Ginting, M. H. S., Sartika, M. & Azmi, H. (2018). Production of bioplastic from avocado seed starch reinforced with microcrystalline cellulose from sugar palm fibers. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(2), 381-393. http://jestec.taylors.edu.my/Vol13issue2February2018/13_2_8.pdf
- Luzardo, N. M. M. & Venselaar, J. (2012). Bio-Based Targeted Chemical Engineering Education; Role and Impact of Bio-Based Energy and Resource Development Projects [CHISA 2012]. *Procedia Engineering*, 42, 214-225. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.412>
- López, P. L. (2004). Población muestra y muestreo. *Punto Cero*, 09, 69-74. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012
- López-Silva, C., Rodríguez-Jiménez, J. & Amaya-Guerra, C. (2019). Aprovechamiento de cáscara de papa generada en la cafetería de Ciencias Biológicas de la UANL para la elaboración de harina rica en antioxidantes. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 887-890. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/9/125.pdf>
- Ma, L., Zou, L., McClements, D. J. & Liu, W. (2020). One-step preparation of high internal phase emulsions using natural edible Pickering stabilizers: Gliadin nanoparticles/gum Arabic. *Food Hydrocolloids*, 100, 105381. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105381>
- Mahajan, S., Sharma, M. & Gupta, A. (2020). ARIMA Modelling for Forecasting of Rice Production: A Case Study of India. *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, 40(4), 404-407. <https://doi.org/10.18805/ag.d-5029>

- Maity, S. K. (2015). Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part I. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1427-1445. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.092>
- Manavalan, E. & Jayakrishna, K. (2019). An Analysis on Sustainable Supply Chain for Circular Economy [Sustainable Manufacturing for Global Circular Economy: Proceedings of the 16th Global Conference on Sustainable Manufacturing]. *Procedia Manufacturing*, 33, 477-484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>
- Mandegari, M. A., Farzad, S., van Rensburg, E. & Görgens, J. F. (2017). Multi-criteria analysis of a biorefinery for co-production of lactic acid and ethanol from sugarcane lignocellulose. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 11(6), 971-990. <https://doi.org/10.1002/bbb.1801>
- Mannina, G., Presti, D., Montiel-Jarillo, G., Carrera, J. & Suárez-Ojeda, M. E. (2020). Recovery of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from wastewater: A review. *Bioresource Technology*, 297, 122478. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122478>
- Marafon, A. C., Amaral, A. F. C., Machado, J. C., Carneiro, J. d. C., Bierhals, A. N. & Guimarães, V. d. S. (s.f.).
- Maraveas, C. (2020). Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste. *Polymers*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/polym12051127>
- Marinoni, O. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 30(6), 637-646. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.010>
- Martinkus, N., Latta, G., Brandt, K. & Wolcott, M. (2018). A Multi-Criteria Decision Analysis Approach to Facility Siting in a Wood-Based Depot-and-Biorefinery

- Supply Chain Model. *Frontiers in Energy Research*, 6, 124. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00124>
- Martinkus, N., Rijkhoff, S. A., Hoard, S. A., Shi, W., Smith, P., Gaffney, M. & Wolcott, M. (2017). Biorefinery site selection using a stepwise biogeophysical and social analysis approach. *Biomass and Bioenergy*, 97, 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.12.022>
- Marttunen, M., Lienert, J. & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041>
- Martínez-Abad, A., Ruthes, A. C. & Vilaplana, F. (2016). Enzymatic-assisted extraction and modification of lignocellulosic plant polysaccharides for packaging applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2), 1-15. <https://doi.org/10.1002/app.42523>
- Martínez Bencardio, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13.^a ed.). ECOE Ediciones.
- Marvin, W. A., Schmidt, L. D. & Daoutidis, P. (2013). Biorefinery location and technology selection through supply chain optimization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(9), 3192-3208.
- Marín, F. R., Soler-Rivas, C., Benavente-García, O., Castillo, J. & Pérez-Alvarez, J. A. (2007). By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres. *Food Chemistry*, 100(2), 736-741. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.040>
- Marín Armijos, J., García Batista, D. C. R. M. & Barrezueta-Unda, D. C. S. (2018). Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del

- banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 75-81. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/221>
- Matos, B. D. M., Rocha, V., da Silva, E. J., Moro, F. H., Bottene, A. C., Ribeiro, C. A., dos Santos Dias, D., Antonio, S. G., do Amaral, A. C., Cruz, S. A., de Oliveira Barud, H. G. & da Silva Barud, H. (2019). Evaluation of commercially available polylactic acid (PLA) filaments for 3D printing applications. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137, 555-562. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7967-3>
- Matthaus, B. & Özcan, M. M. (2012). Chemical evaluation of citrus seeds, an agro-industrial waste, as a new potential source of vegetable oils. *Grasas y Aceites*, 63(3), 313-320. <https://doi.org/10.3989/gya.118411>
- Maulida, Kartika, T., Harahap, M. B. & Ginting, M. H. Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer. En: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012068>.
- Mehariya, S., Iovine, A., Casella, P., Musmarra, D., Chianese, S., Marino, T., Figoli, A., Sharma, N. & Molino, A. Chapter 12 - Bio-based and agriculture resources for production of bioproducts (A. Figoli, Y. Li & A. Basile, Eds.). En: *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (A. Figoli, Y. Li & A. Basile, Eds.). Ed. por Figoli, A., Li, Y. & Basile, A. Elsevier, 2020, pp. 263-282. ISBN: 978-0-12-816778-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816778-6.00012-6>.
- Melo-Sabogal, D. V., Torres-Grisales, Y., Serna-Jiménez, J. A. & Torres-Valenzuela, L. S. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*musa paradisiaca* spp) para la obtención de maltodextrina. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y*

- Agroindustrial*, 13, 76 -85. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612015000200009&nrm=iso
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D. & Garcia, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27, 348 -360. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000300348&nrm=iso
- Mendoza Baeza, J. & Rojas Lago, F. (2009). Restauración de servicio multiobjetivo en redes de distribución utilizando NSGA-II. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 17(3), 337-346.
- Michailos, S., Parker, D. & Webb, C. (2016). A multicriteria comparison of utilizing sugar cane bagasse for methanol to gasoline and butanol production. *Biomass and Bioenergy*, 95, 436-448. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.06.019>
- Miller, H. L. (1962). On the Chicago School of Economics. *Journal of Political Economy*, 70(1), 64-69. <https://doi.org/10.1086/258588>
- Mills, N. J., Jenkins, M. & Kukureka, S. (2020). *Plastics: Microstructure and Applications* (4.^a ed.). Elsevier Ltd.
- Ming, B. (2017). Thermoplastic starch composition derives from agricultural waste [TWI581873B]. <https://patents.google.com/patent/TWI581873B>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2016). Geoportal del Agro Ecuatoriano. Catálogo de datos - Metadatos. Red vial. http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/Red_vial_16122015
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021a). Geoportal del Agro Ecuatoriano. Catálogo de datos - Metadatos. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home>

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021b). Sistema de información pública agropecuaria. Superficie y producción - INEC. http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/base-estadistica/modulo_productivo/superficie-produccion.xlsx
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). *Panorama Agroestadístico* (inf. téc.). http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf
- Ministro de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2021). Libro blanco de economía circular de Ecuador. https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf
- Mirjalili, V. & Raschka, S. (2020). *Python Machine Learning*. Marcombo. <https://books.google.com.ec/books?id=5EtOEAAAQBAJ>
- Miura, S., Arimura, T., Itoda, N., Dwiarti, L., Feng, J. B., Bin, C. H. & Okabe, M. (2004). Production of l-lactic acid from corncob. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 97(3), 153-157. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(04\)70184-X](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(04)70184-X)
- Miyazaki, S. (2016). Obtención de termoplásticos biodegradables rígidos o semi-rígidos a partir de *azotobacter chroococcum* ssm32 cepario agral (ex *azotobacter chroococcum* 6b) a partir de residuos de la agroindustria [AR101465A1]. <http://www.google.it/patents/AR101465A1>
- Moniri, M., Moghaddam, A. B., Azizi, S., Rahim, R. A., Ariff, A. B., Saad, W. Z., Navaderi, M. & Mohamad, R. (2017). Production and status of bacterial cellulose in biomedical engineering. *Nanomaterials*, 7(9), 257. <https://doi.org/10.3390/nano7090257>
- Montero, B., Rico, M., Rodríguez-Llamazares, S., Barral, L. & Bouza, R. (2017). Effect of nanocellulose as a filler on biodegradable thermoplastic starch films from tuber,

- cereal and legume. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1094-1104. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.073>
- Morais, A. R. & Bogel-Lukasik, R. (2013). Green chemistry and the biorefinery concept. *Sustainable Chemical Processes*, 1(18). <https://doi.org/10.1186/2043-7129-1-18>
- Morato, T., Vaezi, M. & Kumar, A. (2019). Developing a framework to optimally locate biomass collection points to improve the biomass-based energy facilities locating procedure – A case study for Bolivia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 183-199. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.004>
- Moretto, G., Russo, I., Bolzonella, D., Pavan, P., Majone, M. & Valentino, F. (2020). An urban biorefinery for food waste and biological sludge conversion into polyhydroxyalkanoates and biogas. *Water Research*, 170, 115371. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115371>
- Morone, P. & Imbert, E. (2020). Food waste and social acceptance of a circular bioeconomy: the role of stakeholders. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 23, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.02.006>
- Mouselimis, L., Sanderson, C., Curtin, R., Agrawal, S., Frey, B., Dueck, D. & Spinu, V. (2022). Gaussian Mixture Models, K-Means, Mini-Batch-Kmeans, K-Medoids and Affinity Propagation Clustering. <https://cran.r-project.org/web/packages/ClusterR/ClusterR.pdf>
- Munoz-Marquez, M. (2020). Spanish version of orloca package. Modelos de localizacion en investigacion operativa. <https://cran.r-project.org/web/packages/orloca.es/orloca.es.pdf>
- Muñoz Muñoz, D., Cuatin, M. F. & Pantoja, A. J. (2015). Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior.

- Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 156-163. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/294>
- Muñoz-Tlahuiz, F., Guerrero-Rodríguez, J. d. D., López, P. A., Gil-Muñoz, A., López-Sánchez, H., Ortiz-Torres, E., Hernández-Guzmán, J. A., Taboada-Gaytán, O., Vargas-López, S. & Valadez-Ramírez, M. (2013). Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4, 515-530. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000400009&nrm=iso
- Myung-Jong, P., Young-seon, Y. & Myung-soo, J. (2013). Method and system for measurement of road profile [KR101327480B1]. <http://www.google.it/patents/KR101327480B1>
- Nakashima, G. T., Martins, M. P., Hansted, A. L. S., Yamamoto, H. & Yamaji, F. M. (2017). Sugarcane trash for energy purposes: Storage time and particle size can improve the quality of biomass for fuel? *Industrial Crops and Products*, 108, 641-648. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.017>
- Napper, I. E. & Thompson, R. C. Chapter 22 - Marine Plastic Pollution: Other Than Microplastic (T. M. Letcher & D. A. Vallero, Eds.; Second Edition). En: *Waste (Second Edition)* (T. M. Letcher & D. A. Vallero, Eds.; Second Edition). Ed. por Letcher, T. M. & Vallero, D. A. Second Edition. Academic Press, 2019, pp. 425-442. ISBN: 978-0-12-815060-3. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3.00022-0>.
- Narayan, R. (2011). Carbon footprint of bioplastics using biocarbon content analysis and life-cycle assessment. *MRS Bulletin*, 36(9), 716-721. <https://doi.org/10.1557/mrs.2011.210>

- Nardi, M. G., Sperry, S. E. & Davis, T. D. Grain supply chain management optimization using ARCGIS in Argentina. En: *2007 ESRI User Conference Proceedings*. ESRI Redlands, CA. 2007, 1-23.
- Nazrin, A., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y., Ilyas, R. A., Syafiq, R. & Sherwani, S. F. (2020). Nanocellulose Reinforced Thermoplastic Starch (TPS), Polylactic Acid (PLA), and Polybutylene Succinate (PBS) for Food Packaging Applications. *Frontiers in Chemistry*, 8(213). <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00213>
- Netele, M. (2004). *Advanced Data Bases Part 4: Vector network analysis* (inf. téc.). ITC-irst. Trento. https://grassbook.org/wp-content/uploads/neteler/corso_dit2004/grass04_4_vector_network_neteler.pdf
- Neteler, M., Beaudette, D. E., Cavallini, P., Lami, L & Cepicky, J. GRASS GIS (G. B. Hall & M. G. Leahy, Eds.). En: *Open Source Approaches in Spatial Data Handling* (G. B. Hall & M. G. Leahy, Eds.). Ed. por Hall, G. B. & Leahy, M. G. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. Cap. 9, pp. 171-199. ISBN: 978-3-540-74831-1. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74831-1_9.
- Ngo, T.-D. Natural Fibers for Sustainable Bio-Composites. En: *Natural and Artificial Fiber-Reinforced Composites as Renewable Sources*. 2018, pp. 107-126. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71012>.
- Nicholson, J. W. (2017). *The Chemistry of Polymers* (5.^a ed.). Royal Society of Chemistry.
- Nofar, M., Sacligil, D., Carreau, P. J., Kamal, M. R. & Heuzey, M.-C. (2019). Poly (lactic acid) blends: Processing, properties and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 307-360. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.002>

- Nuria Burgos, A. J., Arantzazu Valdés. (2016). Valorization of Agricultural Wastes for the Production of Protein-Based Biopolymers. *Journal of Renewable Materials*, 4(3), 165-177. <https://doi.org/10.7569/JRM.2016.634108>
- Núñez Camargo, D. W. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, 16, 142 -156. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2012000400011&nrm=iso
- Obi, F., Ugwuishiwu, B. & Nwakaire, J. (2016). Agricultural waste concept, generation, utilization and management. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4), 957-964.
- Obro, J., Hayashi, T. & Mikkelsen, J. D. Enzymatic Modification of Plant Cell Wall Polysaccharides. En: *Annual Plant Reviews: The Gibberellins*. 2018. ISBN: 9781405181723. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0444>.
- Octave, S. & Thomas, D. (2009). Biorefinery: Toward an industrial metabolism. *Biochimie*, 91(6), 659-664. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2009.03.015>
- Olatunji, O. (2015). *Natural polymers: Industry techniques and applications*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26414-1>
- Oliveira, T. S., Rosa, M. F., Lima Cavalcante, F., Pereira, P. H. F., Moates, G. K., Wellner, N., Mazzetto, S. E., Waldron, K. W. & Azeredo, H. M. (2016). Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology [Total Food 2014: Exploitation of agri-food chain wastes and co-products]. *Food Chemistry*, 198, 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.080>
- Onen Cinar, S., Chong, Z. K., Kucuker, M. A., Wieczorek, N., Cengiz, U. & Kuchta, K. (2020). Bioplastic production from microalgae: a review. *International journal of environmental research and public health*, 17(11), 3842.

- ONU. (2018). Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, F. (2018). FAOSTAT [Online; accessed 07 Novembre 2020]. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Palley, T. (2014). Economía y política de Friedman: una crítica desde el viejo keynesiano. *Investigación Económica*, 73(288), 3-37. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16672014000200001
- Panesar, R., Kaur, S. & Panesar, P. S. (2015). Production of microbial pigments utilizing agro-industrial waste: a review [Food Chemistry and Biochemistry • Food Bioprocessing]. *Current Opinion in Food Science*, 1, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.002>
- Pankove, J. I. (1955). Manufacture of transistors [US2703917A]. <https://patents.google.com/patent/US2703917>
- Papić, M. & Garabinović, D. (2019). Pregled primene metoda višekriterijumskog odlučivanja na rešavanje problema u vezi biomase. *Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Procesing*, 32(1), 235-242. <https://doi.org/10.24094/ptk.019.32.1.235>
- Paredes-Rodríguez, A. M., Chud-Pantoja, V. L. & Osorio-Gómez, J. C. (2019). Sistema de control de Inventarios multicriterio difuso para repuestos. *Scientia Et Technica*, 24(4). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84961238007>
- Parker, L. (2019). We made plastic. We depend on it. Now we're drowning in it. <https://www.imphaltimes.com/pdf/2019/April/4AprilPage2.pdf>

- Parker, N., Tittmann, P., Hart, Q., Nelson, R., Skog, K., Schmidt, A., Gray, E. & Jenkins, B. (2010). Development of a biorefinery optimized biofuel supply curve for the Western United States. *biomass and bioenergy*, 34(11), 1597-1607.
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A. & Kulkarni, B. D. (2016). Valorization of banana peel: a biorefinery approach. *Reviews in Chemical Engineering*, 32(6), 651-666. <https://doi.org/10.1515/revce-2015-0063>
- Pato, U., Fortuna Ayu, D., Riftyan, E., Restuhadi, F., Tunggul Pawenang, W., Firdaus, R., Rahma, A., Suryanti Surono, I. & Jaswir, I. (2021). Physicochemical property of oil palm leaves and utilization of cellulose microfiber as probiotic encapsulant. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(7), 2937-2944. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220746>
- Pebriyanti, D., Azwar, E. & Darni, Y. (2021). The Influence of Stannous Octoat Concentration as Catalyst on Poly Lactic Acid Synthesis from Banana Peel Waste (Musa Paradisiaca Linn). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(1), 8-14. <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs/article/view/45764>
- Perea-López, E., Grossmann, I. E., Ydstie, B. E. & Tahmassebi, T. (2001). Dynamic Modeling and Decentralized Control of Supply Chains. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(15), 3369-3383. <https://doi.org/10.1021/ie000573k>
- Pereira, J., Bianchi, M. L., Dos Reis, K. C., Rodrigues Teixeira, A., Queiroz Martins, P. F. & Silva Brum, S. (2011). Biodegradable composite obtained from biopolymers reinforced with residues from the processing of agroindustrial products [BRPI0805076A2]. <https://patents.google.com/patent/BRPI0805076A2>
- Pereira, M. A. F., Cesca, K., Poletto, P. & de Oliveira, D. (2021). New perspectives for banana peel polysaccharides and their conversion to oligosaccharides. *Food*

- Research International*, 149, 110706. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110706>
- Pertuz, C. (2022). *Aprendizaje automático y profundo en python: Una mirada hacia la inteligencia artificial*. Ediciones de la U.
- Peters, M., Timmerhaus, K. & West, R. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill Education.
- Pfaltzgraff, L. A., De bruyn, M., Cooper, E. C., Budarin, V. & Clark, J. H. (2013). Food waste biomass: a resource for high-value chemicals. *Green Chem.*, 15, 307-314. <https://doi.org/10.1039/C2GC36978H>
- Philibert, T., Lee, B. H. & Fabien, N. (2017). Current Status and New Perspectives on Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181, 1314-1337. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2286-2>
- Pliego, O. (2012). *Programación lineal multiobjetivo: Análisis, técnicas y casos de aplicación* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Portuguéz, M. E. M., Durán, M. & Ballesteros, M. R. S. (1992). Obtención de lignina y celulosa de residuos de maíz. *Uniciencia*, 9(1), 45-50.
- Praburaj, L, Design, F & Nadu, T. (2018). Role of agriculture in the economic development of a country. *Shanlax International Journal of Commerce*, 6(3), 1-5.
- Prasad, S., Rao, N. A., Lanka, K. & Manupati, V. K. Prioritization of Drivers for Lean and Green Manufacturing Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach (A. Batako, A. Burduk, K. Karyono, X. Chen & R. Wyczółkowski, Eds.). En: En *Advances in Manufacturing Processes, Intelligent Methods and Systems in Production Engineering* (A. Batako, A. Burduk, K. Karyono, X. Chen & R. Wyczółkowski, Eds.). Ed. por Batako, A., Burduk, A., Karyono, K., Chen, X. &

- Wyczółkowski, R. Cham: Springer International Publishing, 2022, 117-134. ISBN: 978-3-030-90532-3.
- Pratt, S., Vandi, L.-J., Gapes, D., Werker, A., Oehmen, A. & Laycock, B. (2019). Polyhydroxyalkanoate (PHA) Bioplastics from Organic Waste. En J.-R. Bastidas-Oyanedel & J. E. Schmidt (Eds.), *Biorefinery: Integrated Sustainable Processes for Biomass Conversion to Biomaterials, Biofuels, and Fertilizers* (pp. 615-638). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10961-5_26
- Preethi, P. & Balakrishna, G. (2013). Physical and Chemical Properties of Banana Fibre Extracted from Commercial Banana Cultivars Grown in Tamilnadu State. *Agrotechnology*, 11(008). <https://doi.org/0.4172/2168-9881.S11-008>
- Pung, M. Y. (2020). Thermoplastic starch composition obtained from agricultural waste. <https://patents.google.com/patent/JP6660318B2>
- Rajendran, N, Puppala, S., Sneha Raj, M, Ruth Angeeleena, B & Rajam, C. (2012). Seaweeds can be a new source for bioplastics. *J. Pharm. Res*, 5(3), 1476-1479.
- Rambo, M., Schmidt, F. & Ferreira, M. (2015). Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. *Talanta*, 144, 696-703. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.045>
- Ranganathan, S., Dutta, S., Moses, J. & Anandharamakrishnan, C. (2020). Utilization of food waste streams for the production of biopolymers. *Heliyon*, 6(9), e04891. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04891>
- Rao, R. V. (2007). *Decision Making in the Manufacturing Environment: Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*.

- Rasmussen, S. C. (2018). Revisiting the early history of synthetic polymers: Critiques and new insights. *Ambix*, 65(4), 356-372. <https://doi.org/10.1080/00026980.2018.1512775>
- Rathna, R., Varjani, S. & Nakkeeran, E. (2018). Recent developments and prospects of dioxins and furans remediation. *Journal of Environmental Management*, 223, 797-806. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.095>
- Ravier, A. (2016). El pensamiento de Milton Friedman en el marco de la escuela de Chicago. *Estudios Económicos*, 33(66), 121-148. <https://www.redalyc.org/pdf/5723/572363579005.pdf>
- Ravindran, R. & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008>
- Reddy, M. M., Vivekanandhan, S., Misra, M., Bhatia, S. K. & Mohanty, A. K. (2013). Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities [Progress in Bionanocomposites: from green plastics to biomedical applications]. *Progress in Polymer Science*, 38(10), 1653-1689. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.006>
- Rehm, B. H. (2010). Bacterial polymers: Biosynthesis, modifications and applications. *Nature Reviews Microbiology*, 8, 578-592. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2354>
- Reinehr, T. O., Ohara, M. A., de Oliveira Santos, M. P., Barros, J. L. M., Bittencourt, P. R. S., Baraldi, I. J., da Silva, E. A. & Zanatta, E. R. (2021). Study of pyrolysis kinetic of green corn husk. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(4), 3181-3192. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10345-2>

- Rentizelas, A. 6 - Biomass storage (J. B. Holm-Nielsen & E. A. Ehimen, Eds.). En: En *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining* (J. B. Holm-Nielsen & E. A. Ehimen, Eds.). Ed. por Holm-Nielsen, J. B. & Ehimen, E. A. Woodhead Publishing, 2016, pp. 127-146. ISBN: 978-1-78242-366-9. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-366-9.00006-X>.
- ReVelle, C. & Eiselt, H. (2005). Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of Operational Research*, 165(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.11.032>
- Ribó, M., Albiach, R., Pomares, F. & Canet, R. (2017). Alternativas de gestión de la paja de arroz en la Albufera de Valencia. *Vida Rural*, 56-60.
- Richard, E. N., Hilonga, A., Machunda, R. L. & Njau, K. N. (2020). Two-stage banana leaves wastes utilization towards mushroom growth and biogas production. *Biotech*, 10(12), 542. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02525-6>
- Riera, M. A. & Maldonado, S. (2021). Agro-Industrial Waste as an Option for the Sustainable Development of Bioplastic. En N. R. Maddela & L. C. García (Eds.), *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future* (pp. 117-132). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80108-3_7
- Riera, M. A. & Palma, R. R. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química*, 13(3), 69-78.
- Rincón, A. M., Vásquez, A, Padilla, M. & C, F. (2005). Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *Archivos*

- Latinoamericanos de Nutrición*, 55, 305 -310. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000300013&nrm=iso
- Rizo-Mustelier, M., Vuelta-Lorenzo, D. R. & Lorenzo-García, A. M. (2017). Agricultura, desarrollo sostenible, medioambiente, saber campesino y universidad. *Ciencia en su PC*, (2), 106-120. <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181351615008.pdf>
- Roa, M. M. (2021). La producción de plástico en el mundo. <https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>
- Rodriguez-Perez, S., Serrano, A., Pantión, A. A. & Alonso-Fariñas, B. (2018). Challenges of scaling-up PHA production from waste streams. A review. *Journal of Environmental Management*, 205, 215-230. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.083>
- Rodríguez, R., Gauthier-Maradei, P. & Escalante, H. (2017). Fuzzy spatial decision tool to rank suitable sites for allocation of bioenergy plants based on crop residue. *Biomass and Bioenergy*, 100, 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.007>
- Rojas, A. F., Rodríguez-Barona, S. & Montoya, J. (2019). Evaluación de Alternativas de Aprovechamiento Energético y Bioactivo de la Cáscara de Plátano. *Información tecnológica*, 30, 11 -24. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500011&nrm=iso
- Rojas-González, A., Flórez-Montes, C. & López-Rodríguez, D. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 31-52. <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/4789>
- Rojas González, A. F. & Flórez Montes, C. (2019). Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis. *Revista Politécnica*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=607866567004>

- Roldan, L. V., Goyos, L., Amores, L. F. & Ibarra, A. (2015). Potencial de aprovechamiento de la biomasa vegetal como aislamiento en climas extremos del Ecuador. *Enfoque UTE*, 6, 23 -41. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422015000400023&nrm=iso
- Romero, E. (2020). Economía Circular: la hoja de ruta del Ministerio de Producción hacia esta estrategia. <https://www.elementsgroup.com.ec/economia-circular-la-hoja-de-ruta-del-ministerio-de-produccion-hacia-esta-estrategia/>
- Rosendo Ríos, V. (2018). *Investigación de mercados*. ESIC EDITORIAL.
- Rubio, M. C. & Navarro, A. R. (2012). Fermentation of corncob hydrolyzate for xylitol production. *Revista de la Sociedad de Biotecnología y Bioingeniería A.C.*, 16(3), 48-63. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/77260>
- Ruiz-Ramírez, J., Hernández-Rodríguez, G. E. & Zulueta-Rodríguez, R. (2011). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la producción de caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 103 -109. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000100103&nrm=iso
- Ruíz, F. S. (2000). *El cultivo de la caña de azúcar*. EUNED.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/ijssci.2008.017590>
- Saaty, T. L. Deriving the AHP 1-9 scale from first principles. En: *Sixth International Symposium on Analytical Hierarchy Process*. 2001, 397-402. <http://isahp.org/2001Proceedings/Papers/125-P.pdf>
- Saaty, T. L. (2016). The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making. En S. Greco, M. Ehrgott & J. R. Figueira (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the*

- Art Surveys* (pp. 363-419). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_10
- Saaty, T. L. & Wind, Y. (1980). Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 26(7), 641-658. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641>
- Sagastume Gutiérrez, A., Cabello Eras, J. J., Hens, L. & Vandecasteele, C. (2017). The Biomass Based Electricity Generation Potential of the Province of Cienfuegos, Cuba. *Waste and Biomass Valorization*, 8(6), 2075-2085. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9687-x>
- Saha, B. C., Iten, L. B., Cotta, M. A. & Wu, Y. V. (2005). Dilute Acid Pretreatment, Enzymatic Saccharification, and Fermentation of Rice Hulls to Ethanol. *Biotechnology Progress*, 21(3), 816-822. <https://doi.org/10.1021/bp049564n>
- Sahoo, K., Hawkins, G., Yao, X., Samples, K. & Mani, S. (2016). GIS-based biomass assessment and supply logistics system for a sustainable biorefinery: A case study with cotton stalks in the Southeastern US. *Applied Energy*, 182, 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.114>
- Salas-Navarro, K., Meza, J. A., Obredor-Baldovino, T. & Mercado-Caruso, N. (2019). Evaluación de la Cadena de Suministro para Mejorar la Competitividad y Productividad en el Sector Metalmecánico en Barranquilla, Colombia. *Información tecnológica*, 30, 25 -32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200025>
- Salazar, R. A. & Cárdenas, G. J. (2013). La bioeconomía y las biorrefinerías. *Avance agroindustrial*, 34(3), 31-34. <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=av-34-3-9>
- Salvador, R., Puglieri, F. N., Halog, A., de Andrade, F. G., Piekarski, C. M. & De Francisco, A. C. (2021). Key aspects for designing business models for a circular bio-

- economy. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124341>
- Samer, M., Khalefa, Z., Abdelall, T., Moawya, W., Farouk, A., Abdelaziz, S., Soliman, N., Salah, A., Gomaa, M. & Mohamed, M. (2019). Bioplastics production from agricultural crop residues. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21(3), 190-194.
- Sanaei, S., Chambost, V. & Stuart, P. R. (2018). Systematic assessment of triticales-based biorefinery strategies: investment decisions for sustainable biorefinery business models. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 12(Suppl1.), S9-S20. <https://doi.org/10.1002/bbb.1850>
- Santibañez-Aguilar, J. E., Flores-Tlacuahuac, A., Betancourt-Galvan, F., Lozano-García, D. F. & Lozano, F. J. (2018). Facilities location for residual biomass production system using geographic information system under uncertainty. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(3), 3331-3348.
- Santibañez-Aguilar, J. E., González-Campos, J. B., Ponce-Ortega, J. M., Serna-González, M. & El-Halwagi, M. M. Chapter 19 - Supply Chains and Optimization for Biorefineries (F. You, Ed.). En: *Sustainability of Products, Processes and Supply Chains* (F. You, Ed.). Ed. por You, F. Vol. 36. Computer Aided Chemical Engineering. Elsevier, 2015, pp. 475-497. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63472-6.00019-7>.
- Sarasati, B. A. & Dachyar, M. Green Supplier Selection Using Fuzzy Approach of AHP and VIKOR – A Case Study in an Indonesian Pharmaceutical Company. En: *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and*

- Operations Management*. Singapore, 2021, 1527-1537. <http://www.ieomsociety.org/singapore2021/papers/300.pdf>
- Sarma, K. (2017). *Predictive Modeling with SAS Enterprise Miner: Practical Solutions for Business Applications* (3.^a ed.). SAS Institute. <https://books.google.com.ec/books?id=dUIwDwAAQBAJ>
- Sartore, L., Penco, M., Sassi, A., Neresini, M. & Candido, M. (2017). Mezclas biodegradables basadas en hidrolizados de proteínas y copolímeros de etileno funcionalizados [ES2640350T3]. <http://www.google.it/patents/ES2640350T3>
- Sasson, A. & Malpica, C. (2018). Bioeconomy in Latin America. *New Biotechnology, PtA*, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.07.007>
- Secretaría Técnica de Planificación. Sistema Nacional de Información. (2014). Información geográfica. Accesibilidad y vialidad. <https://sni.gob.ec/accesibilidad-y-vialidad>
- Shafqat, A., Tahir, A., Mahmood, A., Tabinda, A. B., Yasar, A. & Pugazhendhi, A. (2020). A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio-plastic: A substitute of conventional plastics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 27, 101540. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101540>
- Shah, N. (2005). Process industry supply chains: Advances and challenges [Selected Papers Presented at the 14th European Symposium on Computer Aided Process Engineering]. *Computers & Chemical Engineering*, 29(6), 1225-1235. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2005.02.023>
- Sharmila, G., Muthukumaran, C., Kumar, N. M., Sivakumar, V. & Thirumarimurugan, M. Chapter 12 - Food waste valorization for biopolymer production (S. Varjani, A. Pandey, E. Gnansounou, S. K. Khanal & S. Raveendran, Eds.). En: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (S. Varjani, A. Pandey,

- E. Gnansounou, S. K. Khanal & S. Raveendran, Eds.). Ed. por Varjani, S., Pandey, A., Gnansounou, E., Khanal, S. K. & Raveendran, S. Elsevier, 2020, pp. 233-249. ISBN: 978-0-444-64321-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00012-4>.
- Shinners, K. J., Binversie, B. N., Muck, R. E. & Weimer, P. J. (2007). Comparison of wet and dry corn stover harvest and storage. *Biomass and Bioenergy*, 31(4), 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.04.007>
- Singhvi, M. S., Zinjarde, S. S. & Gokhale, D. V. (2019). Polylactic acid: synthesis and biomedical applications. *Journal of Applied Microbiology*, 127(6), 1612-1626. <https://doi.org/10.1111/jam.14290>
- Siqueira, S. F., Francisco, C., Queiroz, M. I., de Menezes, C. R., Zepka, L. Q. & Jacob-Lopes, E. (2014). Third generation biodiesel production from microalgae. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33(3), 427-433. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20160333s20150134>
- Snell, K. D. & Peoples, O. P. (2009). PHA bioplastic: A value-added coproduct for biomass biorefineries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(4), 456-467. <https://doi.org/10.1002/bbb.161>
- Solís Bermúdez, J. M., Zambrano Varela, G. A., Ceavillos Cedeño, R. E. & Riera, M. A. (2022). Estudio de residuos biomásicos agrícolas para la instalación de una biorefinería de pequeña escala. *La Granja*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, (531), 435–438. <https://doi.org/10.1038/531435a>

- Stindt, D. & Sahamie, R. (2014). Review of research on closed loop supply chain management in the process industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26, 268 -293. <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9137-4>
- Subagyo, S. & Chafidz, A. (2020). Banana pseudo-stem fiber: Preparation, characteristics, and applications. En A. I. O. Jideani & T. A. Anyasi (Eds.), *Banana Nutrition: Function and Processing Kinetics* (pp. 47-51). IntechOpen. <https://books.google.com.ec/books?id=rjP8DwAAQBAJ>
- Suhag, M. & Kumar, A. (2020). Saccharification and fermentation of pretreated banana leaf waste for ethanol production. *SN Applied Sciences*, 8(2), 1448. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03215-x>
- Sultan, N. F. K. & Johari, W. (2017). The development of banana peel/corn starch bioplastic film: a preliminary study. *Bioremediation Science and Technology Research*, 5(1), 12-17. <https://journal.hibiscuspublisher.com/index.php/BSTR/article/view/352>
- Sunil, J. & Sindhu, D. (2020). Growth Status and ARIMA Model Forecast of Area, Production of Wheat Crop in India. *Journal of Scientific Research and Reports*, 26(5), 117-125. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2020/v26i530266>
- Szczerbowski, D., Pitarelo, A. P., Zandoná Filho, A. & Ramos, L. P. (2014). Sugar-cane biomass for biorefineries: Comparative composition of carbohydrate and non-carbohydrate components of bagasse and straw. *Carbohydrate Polymers*, 114, 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.052>
- Székács, A. (2017). Environmental and Ecological Aspects in the Overall Assessment of Bioeconomy. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 30(1), 153-170. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9651-1>

- Taherzadeh, M. J. & Niklasson, C. (2004). Ethanol from Lignocellulosic Materials: Pre-treatment, Acid and Enzymatic Hydrolyses, and Fermentation. *Lignocellulose Biodegradation* (pp. 49-68). <https://doi.org/10.1021/bk-2004-0889.ch003>
- Tan, J. S., Phapugrangkul, P., Lee, C. K., Lai, Z.-W., Abu Bakar, M. H. & Murugan, P. (2019). Banana frond juice as novel fermentation substrate for bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, (21), 101293. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101293>
- Teigiserova, D. A., Hamelin, L. & Thomsen, M. (2019). Review of high-value food waste and food residues biorefineries with focus on unavoidable wastes from processing. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 413-426. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.003>
- Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S. & Thakur, V. K. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges [Reuse and Recycling / UN SGDs: How can Sustainable Chemistry Contribute? / Green Chemistry in Education]. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.013>
- The World Bank. (2021). Carbon Pricing Dashboard. <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/what-carbon-pricing>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Saal, F. S. & Swan, S. H. (2009a). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153-2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>

- Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J. & Vom Saal, F. S. (2009b). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973-6. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>
- Tiron-Tudor, A., Nistor, C. S. & Ștefănescu, C. A. (2018). The Role of Universities in Consolidating Intellectual Capital and Generating New Knowledge for a Sustainable Bio-Economy. *Amfiteatru Economic*, 20(49), 599 -615. <https://doi.org/10.24818/EA/2018/49/599>
- Torres, M. & Santos-Ordóñez, E. (2020). Ecuador—Modern Biotechnology in Ecuador—Development and Legal Framework. En A. Chaurasia, D. L. Hawksworth & M. Pessoa de Miranda (Eds.), *GMOs: Implications for Biodiversity Conservation and Ecological Processes* (pp. 533-540). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53183-6_29
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-Baile, D., Merizalde-Mora, M. J., Reyes-Yunga, D. F., Viera-Torres, M. & Heredia, M. (2020). Cambio Climático según los académicos ecuatorianos - Percepciones versus hechos. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1), 21 -46. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962020000100021&nrm=iso
- Towler, G. & Sinnott, R. (2012). *Chemical Engineering Design* (2.^a ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61216-2>
- Trigo, E., Regúnaga, M., Acquaroni, M., Jimenez, F. & Peña-Farinaccia, J. (2012). *Bio-refinerías en la República Argentina: análisis del mercado potencial para las principales cadenas de valor*. MINCyT.
- Trigo, E. J., Henry, G., Sanders, J., Schurr, U., Ingelbrecht, I., Revel, C., Santana, C. & Rocha, P. Towards bioeconomy development in Latin America and the Carib-

- bean. En: *Bioeconomy Working Paper*. 2013. https://agritrop.cirad.fr/567934/1/document_567934.pdf
- Trigo, E. J., Henry, G., Sanders, J., Schurr, U., Ingelbretch, I., Revel, C., Santana, C. & Rocha, P. (2014). Hacia un desarrollo de la bioeconomía en América Latina y el Caribe. *Hacia una bioeconomía en América Latina y el Caribe en asociación con Europa*. Pontificia Universidad Javeriana. <https://books.google.com.ec/books?id=xI1QCgAAQBAJ>
- Tryner, J., Willson, B. D. & Marchese, A. J. (2014). The effects of fuel type and stove design on emissions and efficiency of natural-draft semi-gasifier biomass cookstoves. *Energy for Sustainable Development*, 23, 99-109. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.07.009>
- Tsang, Y. F., Kumar, V., Samadar, P., Yang, Y., Lee, J., Ok, Y. S., Song, H., Kim, K.-H., Kwon, E. E. & Jeon, Y. J. (2019). Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, 127, 625-644. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.076>
- Tsouko, E., Maina, S., Ladakis, D., Kookos, I. K. & Koutinas, A. (2020). Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams. *Renewable Energy*, 160, 944-954. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.108>
- Tuazon, D. & Gnansounou, E. Towards an Integrated Sustainability Assessment of Biorefineries (A. Gnansounou, Edgard ; Pandey, Ed.). En: *En Life-Cycle Assessment of Biorefineries* (A. Gnansounou, Edgard ; Pandey, Ed.). Ed. por Gnansounou, Edgard ; Pandey, A. Elsevier, 2017, pp. 259-301. ISBN: 9780444635860. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63585-3.00010-3>.

- Ubando, A. T., Felix, C. B. & Chen, W.-H. (2020). Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 299, 122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>
- Urbina, G., Valderrama, M., Vázquez, I., Cruz, G., Matus, J., Espejel, A., González, I. & González, A. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. Grupo Editorial Patria. <https://books.google.com.ec/books?id=eNLhBAAQBAJ>
- Valverde, J. C., Arias, D., Campos, R., Jiménez, M. F. & Brenes, L. (2021). Forest and agro-industrial residues and bioeconomy: perception of use in the energy market in Costa Rica. *Energy, Ecology and Environment*, 6(3), 232 -243. <https://doi.org/10.1007/s40974-020-00172-4>
- Valverde G., A., Sarria L., B. & Monteagudo Y., J. P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia Et Technica*, 13, 255-260. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903743.pdf>
- Van Beilen, J. B. & Poirier, Y. (2007). Prospects for biopolymer production in plants. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 107, 133-151. https://doi.org/10.1007/10_2007_056
- Van Dam, J. (2017). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Revista Palmas*, 37, 149-156. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11930>
- Vargas Sanchez, A. & Ayllón Calderón, C. B. (2015). Anomalías de mercadp y precios de oferta y demanda en títulos de renta fija. *Investigación & Desarrollo*, 2, 59 -75. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000200005&nrm=iso

- Varnava, C. K. & Patrickios, C. S. (2021). Polymer networks one hundred years after the macromolecular hypothesis: A tutorial review. *Polymer*, 215, 123322. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.123322>
- Vaz, S. (2019). Sugarcane-biorefinery. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 166, 125-136. https://doi.org/10.1007/10_2016_70
- Vecchi, C., Dalcaton, F., Schmidt, F., Falcão De Aragão, G. M., Lutz Ienczak, J., Fiorese, M. L., Costa Rodrigues, R., Deucher, R. & Schmidell Netto, W. (2016). Processo de obtenção de pha a partir de resíduo cítrico, pha obtido a partir de resíduo cítrico, composição polimérica contendo pha, artefato sólido contendo pha, artefato sólido contendo composição polimérica compreendendo pha, uso de resíduo cítrico para a obtenção de pha [BRPI0801845B1]. <https://patents.google.com/patent/BRPI0801845B1>
- Veiga, J. P. S., Valle, T. L., Feltran, J. C. & Bizzo, W. A. (2016). Characterization and productivity of cassava waste and its use as an energy source. *Renewable Energy*, 93, 691-699. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.078>
- Venugopal, R. (2015). Neoliberalism as concept. *Economy and Society*, 44(2), 165-187. <https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013356>
- Verma, R., Vinoda, K., Papireddy, M. & Gowda, A. (2016). Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review [Waste Management for Resource Utilisation]. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 701-708. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.069>
- Vert, M., Doi, Y., Hellwich, K.-H., Hess, M., Hodge, P., Kubisa, P., Rinaudo, M. & Schué, F. (2012). Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012). *Pure and Applied Chemistry*, 84(2), 377-410. <https://doi.org/10.1351/PAC-REC-10-12-04>

- Verzani, J. (2011). *Getting Started with RStudio*. O'Reilly Media, Inc.
- Viteri Vera, M. & Tapia Toral, M. (2018). Economía ecuatoriana: de la producción agrícola al servicio. *Revista Espacios*, 39(32), 30. <http://www.revistaespacios.com/a18v39n32/18393230.html>
- Vlysidis, A., Koutinas, A. & Kookos, I. (2017). Techno-Economic Evaluation of Refining of Food Supply Chain Wastes for the Production of Chemicals and Biopolymers. En P. Morone, F. Papendiek & V. E. Tartiú (Eds.), *Food Waste Reduction and Valorisation: Sustainability Assessment and Policy Analysis* (pp. 147-164). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50088-1_8
- Vu, H. T., Scarlett, C. J. & Vuong, Q. V. (2018). Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. *Journal of Functional Foods*, 40, 238-248. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.006>
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S. & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9.ª ed.). LIMUSA.
- Wei, W. W. (2013). Time Series Analysis. En T. Little (Ed.), *The Oxford Handbook of Quantitative Methods in Psychology: Vol. 2: Statistical Analysis* (pp. 458-485). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199934898.013.0022>
- Wicker, R. J., Kumar, G., Khan, E. & Bhatnagar, A. (2021). Emergent green technologies for cost-effective valorization of microalgal biomass to renewable fuel products under a biorefinery scheme. *Chemical Engineering Journal*, 415, 128932. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128932>
- World Resources Institute AND World Business Council for Sustainable Development. (2013). Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions. <https://>

- ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf
- Woźniak, E., Tyczewska, A. & Twardowski, T. (2021). Bioeconomy development factors in the European Union and Poland. *New Biotechnology*, 60, 2-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.07.004>
- Wu, J. (2012). Cluster Analysis and K-means Clustering: An Introduction. *Advances in K-means Clustering: A Data Mining Thinking* (pp. 1-16). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29807-3_1
- Xiao, Z., Cheng, C., Bao, T., Liu, L., Wang, B., Tao, W., Pei, X., Yang, S.-T. & Wang, M. (2018). Production of butyric acid from acid hydrolysate of corn husk in fermentation by *Clostridium tyrobutyricum*: kinetics and process economic analysis. *Biotechnology for Biofuels*, 11(1), 164. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1165-1>
- Yamashita, F., Moreira, A., Bilk, A., Martínez, A. & Azanha, F. (2020). Biodegradable thermoplastic material based on polylactic acid and agro-industrial waste and its production process [BR102019005255A2]. <http://www.google.it/patents/BR102019005255A2>
- Yan, J., Oyedele, O., Leal, J. H., Donohoe, B. S., Semelsberger, T. A., Li, C., Hoover, A. N., Webb, E., Bose, E. A., Zeng, Y., Williams, C. L., Schaller, K. D., Sun, N., Ray, A. E. & Tanjore, D. (2020). Characterizing Variability in Lignocellulosic Biomass: A Review. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(22), 8059-8085. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06263>
- Yan-Fun, M. (2014). Thermoplastic starch composition derives from agricultural waste [KR20140137424A]. <http://www.google.it/patents/KR20140137424A>

- Yang, J., Ching, Y. C. & Chuah, C. H. (2019). Applications of lignocellulosic fibers and lignin in bioplastics: A review. *Polymers*, 11(5), 751. <https://doi.org/10.3390/polym11050751>
- Yang, M., Evans, S., Vladimirova, D. & Rana, P. (2017). Value uncaptured perspective for sustainable business model innovation. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1794-1804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.102>
- Yilmaz, D., Ayas, A. F. & Oz, M. E. (2020). Method and system for measurement of road profile [WO2020226590A1]. <http://www.google.it/patents/WO2020226590A1>
- Yoon, C., Hanjeong-gu & Young-seon, Y. (2015). Composition for biomass film using food byproduct of wheat bran or soybean hull and biomass film using thereof [KR101525658B1]. <http://www.google.it/patents/KR101525658B1>
- Yoon, K. P. & Kim, W. K. (2017). The Behavioral TOPSIS. 89(100), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.07.045>
- Zavala, C. H., Pretell, V., Verastegui, J. & Ramirez, A. (2021). Estimación del potencial energético del gas pobre a partir de la gasificación de cáscara de cacao y racimos de frutos vacíos de palma aceitera. *Información Tecnológica*, 32(2), 143-150. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200143>
- Zhang, Y., Liu, Q. & Rempel, C. (2018). Processing and characteristics of canola protein-based biodegradable packaging: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(3), 475-485. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1193463>
- Zheng, Y. & Qiu, F. (2020). Bioenergy in the Canadian Prairies: Assessment of accessible biomass from agricultural crop residues and identification of potential biorefinery sites. *Biomass and Bioenergy*, 140, 105669. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105669>

- Zhinda Pacheco, D., Sánchez, P. M. & Bonilla, J. A. (2017). Relación del cambio climático con la producción agrícola en la Provincia del Azuay. *INNOVA Research Journal*, 2(9.1), 55-64. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n9.1.2017.508>
- Önal, E. P., Uzun, B. B. & Pütün, A. E. (2011). Steam pyrolysis of an industrial waste for bio-oil production. *Fuel Processing Technology*, 92(5), 879-885. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.12.006>

Anexos

Anexos A

Matriz de consistencia

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología	Población y Muestra
General: Existencia de residuos agroindustriales no utilizados, y con potencial para ser usados como materia prima para su revalorización.	General: Desarrollar una metodología que combine la toma de decisiones con los SIG que al aplicarla beneficie localidades características agrícolas en la selección de sus desechos agroindustriales, para aprovecharlos en el desarrollo de procesos sostenibles, resilientes e innovadores. Específicos Identificar la ubicación de los desechos agroindustriales generados en las comunidades agrícolas.	General: Es posible desarrollar una metodología que integre el análisis multicriterios y SIG para la toma de decisiones en cuanto a la selección de residuos agroindustriales para la producción de bioplásticos. Específicas Los residuos agroindustriales poseen componentes de interés, útiles en la obtención de bioplásticos.	Independientes: Tipo de: V1: Disponibilidad del residuo. <u>Indicadores:</u> Cantidad de residuos por tipo. V2: Compuestos presentes. <u>Indicadores:</u> - Concentración de azúcares fermentables. - Contenido de almidón. V3: Mano de obra capacitada en el área. <u>Indicadores:</u> -Profesionales	Tipo de: investigación: Investigación de naturaleza mixta con enfoque cualitativo y cuantitativo. Alcance descriptivo, de corte transversal y experimental. Diseño de la investigación: Se tomaron datos desde el año 1960 a 2020. La investigación se desarrolló en 4 etapas: 1) Análisis de la unidad.	Población Todas las comunidades agrícolas de América Latina. Muestra: Se seleccionó un 30 % de los cultivos y agroindustrias, quedando conformada por 98.598 áreas cultivadas y 572 industrias. Se empleó la proporción 40:20:40 de los modelos de aprendizaje automático para segmentar los resultados

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología	Población y Muestra
<i>Específico:</i> La selección de estos residuos requiere la evaluación de aspectos que indiquen su prioridad de uso y faciliten el diseño de la cadena de suministros.	Establecer los criterios de evaluación para la selección adecuada de desechos agroindustriales generados como materia prima en la producción de plásticos biodegradables, a través de la integración de SIG y herramientas de análisis multicriterio. Optimizar el procedimiento de selección de desechos agroindustriales usando el modelo de optimización colaborativa multiobjetivo. Establecer la ingeniería de proyecto para la instalación de un proceso de producción de bioplástico en el Ecuador empleando los resultados obtenidos al integrar SIG y análisis multicriterios.	Es posible priorizar la selección de los residuos con constituyentes afines a la producción de bioplásticos. El desarrollo de una metodología facilita la selección de residuos agroindustriales para usarlos como materia prima en la producción de bioplásticos. El diseño de esquemas de biorrefinación, sirven para estimar la cantidad de bioplásticos producidos y los costos asociados al proceso. Los resultados obtenidos pueden ser optimizados para un mayor rendimiento en el uso de los recursos.	con tercer y cuarto nivel. V4: Estructura legal para el desarrollo de la bioeconomía. <u>Indicadores:</u> - Existencia de leyes y reglamentos. - Fondos para investigación. Beneficios tributarios por inversión en el área - Planes de desarrollo de biorregiones. V5: Infraestructura tecnológica <u>Indicadores:</u> N° de biorrefinerías N° de plantas pilotos instaladas. Dependiente: V1 Producción de bioplásticos <u>Indicadores:</u> Cantidad de bioplástico producido	2) Integración de herramientas. 3) Localización de plantas. 4) Aproximación del modelo.	obtenidos en el AHP. Técnicas: - Series de tiempo. - Georreferenciación. - Análisis multicriterios. - Algoritmo de agrupamiento. - Optimización multiobjetivo. - Simulación de procesos. Herramientas: - ARIMA. - SIG. - Proceso de jerarquía analítica. - K-means. - Optimalidad de Pareto. - Simulador de procesos.

Anexos B

Códigos usados en la investigación

Estimación de la producción agrícola para la caña de azúcar

```
> library(tseries)
> s_cana <- read_excel("~/Documentos/Doctorado/Tesis/Datos/ARIMA/arima.xlsx", sheet = "CanaAz")
> adf.test(s_cana$Prod, alternative = "stationary")
> adf.test(s_cana$Rend, alternative = "stationary")
> library(forecast)
> canats = ts(s_cana$Prod, start = c(1961,1), frequency = 1)
> log_cana=log(canats)
> cana.log.diff <- diff(log_cana)
> df_cana <- cana.log.diff
> adf.test(cana.log.diff)
> cana_arima <- auto.arima(canats, seasonal = FALSE, approximation = TRUE)
> cana_prediccion <- forecast(cana_arima, h=5)
```

Estimación y ubicación geográfica de residuos para el arroz

```

> rstudio
> library(XML)
> library(rgrass7)
> library(rgdal)
> entorno <- gmeta()
> execGRASS("g.list", parameters=list(type="vector"))
> use_sf()
> use_sp()
> crops <- readVECT("Cultivos_T1")
> names(crops)
> Ecu <- readVECT("ECU")
> names(Ecu)
> for_arroz_2021 <- 4.15253923437815
> library(dplyr)
> rice <- crops%>%filter(niv5=="Arroz")
> paja_2021 <- (0.75*for_arroz_2021*rice$area_size*1.33*1)
> rice_cult_2021 <- cbind(rice, paja_2021)
> colnames(rice_cult_2021) = c("cat", "OBJECTID", "fcode", "descr", "DPA_DESPRO", "DPA_DESCAN", "niv1",
+                               "niv2", "niv3", "niv4", "niv5", "cbt", "tmp", "nal", "uso", "tap",
+                               "rie", "spr", "sce", "usce", "txt", "simbologia", "label", "SHAPE_Leng",
+                               "SHAPE_Area", "area_size", "Cant.Residuos", "geom")
> casc_2021 <- (0.9*for_arroz_2021*rice$area_size*0.25*1)
> casc_agro_2021 <- cbind(rice, casc_2021)
> colnames(casc_agro_2021) = c("cat", "OBJECTID", "fcode", "descr", "DPA_DESPRO", "DPA_DESCAN", "niv1",
+                               "niv2", "niv3", "niv4", "niv5", "cbt", "tmp", "nal", "uso", "tap",
+                               "rie", "spr", "sce", "usce", "txt", "simbologia", "label", "SHAPE_Leng",
+                               "SHAPE_Area", "area_size", "Cant.Residuos", "geom")
> library(ggplot2)
> library(rlang)
> library(sf)
> map_cul_rice2021 <- ggplot(data = rice_cult_2021) + geom_sf(aes(fill=Cant.Residuos), color="NA") +
+   geom_sf(data = ECU, fill="NA", color="black") + xlab("Longitud") + ylab("Latitud") +
+   annotate(geom = "text", x = 1140000, y = 10160000, label = "(a)", size = 3)
> map_agro_rice2021 <- ggplot(data = casc_agro_2021) + geom_sf(aes(fill=Cant.Residuos), color="NA") +
+   geom_sf(data = ECU, fill="NA", color="black") + xlab("Longitud") + ylab("Latitud") +
+   annotate(geom = "text", x = 1140000, y = 10160000, label = "(a)", size = 3)

```

Agrupamiento k-means

```

> library(readr)
> kbanano <- read_csv("Documentos/Doctorado/Tesis/Datos/K-Means/kbanano.csv")
> kplatano <- read_csv("Documentos/Doctorado/Tesis/Datos/K-Means/kplatano.csv")
> kmaiz <- read_csv("Documentos/Doctorado/Tesis/Datos/K-Means/kmaiz.csv")
> kpalma <- read_csv("Documentos/Doctorado/Tesis/Datos/K-Means/kpalma.csv")
> kazucar <- read_csv("Documentos/Doctorado/Tesis/Datos/K-Means/kcana.csv")
> kingenios <- read_csv("Documentos/Doctorado/Tesis/Datos/K-Means/kingenio.csv")
> library(tidyverse)
> library(cluster)
> library(factoextra)
> library(NbClust)
> library(tidyr)
> library(ggplot2)
> kwaste = rbind(kbanano, kplatano)
> kwaste = rbind(kwaste, kmaiz)
> #Graficar coordenadas
> ggplot() + geom_point(aes(x = x, y = y), data = kwaste, alpha = 0.5) +
+   labs(x = "Longitud", y = "Latitud")
> #Aplicar Método del Codo o Elbow Method a partir de la optimización de la WCSS
> #(Within Clusters Summed Squares)
>
> k_elbow <- kwaste[, 27:28]
> set.seed(1234)
> wcss <- vector()
> for(i in 1:15){
+   wcss[i] <- sum(kmeans(k_elbow, i)$withinss)
+ }
> ggplot() + geom_point(aes(x = 1:15, y = wcss), color = 'red') +
+   geom_line(aes(x = 1:15, y = wcss), color = 'red') +
+   xlab('Número de Clusters k') +
+   ylab('WCSS') + scale_y_continuous(labels=function(n){format(n, scientific = TRUE)})
> #k=3
> clara_cl3 <- clara(x = k_elbow, k = 3, metric = "euclidean", stand = TRUE,
+   samples = 50, pamLike = TRUE)
> clara_cl3
> fviz_cluster(object = clara_cl3, ellipse.type = "t", geom = "point",

```

```

+           pointsize = 1) + ggtitle("k = 3")
> plot(silhouette(clara_cl3), col = 5:6, main = "")
> fviz_silhouette(clara_cl3)
> #Coeficiente de Silhouette
> skmeans3 <- silhouette(clara_cl3)
> plot(skmeans3, main = "")
> library(parameters)
> res_kmeans <- cluster_analysis(kwaste,
+                               n = 3,
+                               method = "kmeans")
> predict(res_kmeans) # get clusters
> # plots to compare
> p3 <- fviz_cluster(k3, geom = "point", data = k_elbow) + ggtitle("k = 3")
> library(tidyverse)
> library(stats)
> library(ggplot2)
> library(orloca)
> library(leaflet)
> library(leaflet.extras)
> ##Kmeans based on latitude of settlement, k=3
> kmeanslat_3<-kmeans(kwaste$x,3)
> kwaste$groups<-kmeanslat_3$cluster
> kwaste1_3<-kwaste[which(kwaste$groups==1),]
> kwaste2_3<-kwaste[which(kwaste$groups==2),]
> kwaste3_3<-kwaste[which(kwaste$groups==3),]
> loca1_3<-loca.p(x=(kwaste1_3$x),y=(kwaste1_3$y),w=(kwaste1_3$area_size))
> point1_3<-zsummin(loca1_3,max.iter=200)
> loca2_3<-loca.p(x=(kwaste2_3$x),y=(kwaste2_3$y),w=(kwaste2_3$area_size))
> point2_3<-zsummin(loca2_3,max.iter=200)
> loca3_3<-loca.p(x=(kwaste3_3$x),y=(kwaste3_3$y),w=(kwaste3_3$area_size))
> point3_3<-zsummin(loca3_3,max.iter=200)
> points_3<-data.frame(do.call(rbind,list(point1_3,point2_3,point3_3)))
> colnames(points_3)<-c("Lon", "Lat")
> ggplot(aes(x,y,color=groups),data=kwaste)+geom_point()+
+   geom_point(aes(Lon,Lat),color="red",size=8,alpha=.5,data=points_3)

```

Optimización multiobjetivo

```

> for_banano <- 37.4985768586243
> for_maiz_2021 <- 4.0215174278763
> for_plat_2021 <- 5.60446121001207
> #Área para muestra del total cultivada (25%)
> area_banano <-78085.15
> area_maiz <-222040.77
> area_platano <-30308.71
> #Banano (Hojas y Vástago)
> hojas_ban <- (0.75*for_banano*area_banano*0.80*1)
> pseu_ban <- (0.75*for_banano*area_banano*5*1)
> casc_ban <- (0.90*for_banano*area_banano*0.25*1)
> raqu_ban <- (0.90*for_banano*area_banano*1*1)
> ras_maiz <- (0.75*for_maiz_2021*area_maiz*1.96*3)
> casc_maiz <- (0.90*for_maiz_2021*area_maiz*0.22*3)
> maz_maiz <- (0.90*for_maiz_2021*area_maiz*0.33*3)
> #Plátano (Hojas y Vástago)
> hojas_plat <- (0.75*for_plat_2021*area_platano*0.80*1)
> pseu_plat <- (0.75*for_plat_2021*area_platano*5*1)
> casc_plat <- (0.90*for_plat_2021*area_platano*0.25*1)
> raq_plat <- (0.90*for_plat_2021*area_platano*1*1)
> res_ban <- hojas_ban + pseu_ban + casc_ban + raqu_ban
> res_pla <- hojas_plat + pseu_plat + casc_plat + raq_plat
> res_maiz <- ras_maiz + casc_maiz + maz_maiz
> library(tidyverse)
> library(dplyr)
> library(mco)
> library(lubridate)
> library(magrittr)
> # x1: Dij
> # x2: RBij
> # x3: RPij
> # x4: RMij
> # x5: Tij
>
> # Calculado para Tn de residuos, minimizar costos en $ y distancias en km
>

```

```

> D3=649.11*4*12
> D4=1312.7*4*12
> D5=1567.16*4*12
> CT=1.32
> CRB=27*1e3
> CRP=50*1e3
> CRM=48*1e3
> CP=41.15*1e3
> CA=(90.48*1e6)/(365*250)
> FE=0.05/10
> CE=5
> f2=FE*CE/1e3
> #Cantidad de residuos (40%) en Tn
> Res_banana = res_ban
> Res_maiz = res_maiz
> Res_plat = res_pla
> # define the fitness function
> fitness <- function(x){
+   # Calculate f1(x)
+   f1 <- min(x[1]*CT*(x[2]+x[3]+x[4])) + CRB*x[2] + CRP*x[3] + CRM*x[4] +
+     (x[2]+x[3]+x[4])*CP + (x[2]+x[3]+x[4])*x[5]*CA
+
+   # Calculate f2(x)
+   f2 <- min(f2*x[1])*(x[2]+x[3]+x[4])
+
+   return(c(f1,f2))
+ }
> set.seed(123)
> library(nsga2R)
> MPO_optim3 <- nsga2R(fn = fitness, varNo = 5, objDim = 2,
+   generations = 10, popSize = 100, lowerBounds = c(15578.64,1335.917,77.5,438.5833,1),
+   upperBounds = c(31157.28,16031,930,5263,30))
> #k=3
> MPO_result3 <- MPO_optim3$objectives %>%
+   as.data.frame() %>%
+   bind_cols(as.data.frame(MPO_optim3$parameters))%>%
+   mutate_all(.funs = function(x){round(x,3)}) %>%

```

```
+ distinct() %>%
+ rename("f1" = V1...1, "f2" = V2...2, "x_1" = V1...3,
+        "x_2" = V2...4, "x_3" = V3, "x_4" = V4, "x_5" = V5)
> MPO_result3
> MPO_result3[1:3, ]
> MPO_min3 = MPO_result3 %>%
+ filter(f1 %in% c(min(f1), max(f1)))
```

Anexos C

Trabajos que han sido derivados de este proyecto

Artículos indizados

- Gustavo Mera, Patricio Reinozo, Yunet Gómez y **María Antonieta Riera**. Diseño de un biorreactor tipo BATCH para la producción de ácido láctico. Revista Impacto Científico. 17(1), 2022. Aceptado para publicar.
- Alfredo Alexander Navia Penarrieta, Cynthia Roxana Macías Cajape, Ricardo José Baquerizo-Crespo y **María Antonieta Riera**. Simulación del proceso de producción de ácido láctico a partir de residuos alimentarios para la evaluación económica. Revista Avances en Química. 17(2), 2022. Aceptado para publicar.
- **María Antonieta Riera** y Ricardo Palma. Disponibilidad de biomasa para una biorrefinería de pequeña escala. Un caso de estudio basado en SIG. Revista Ingeniería Industrial. Edición especial, pp. 359-383, 2022. https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/5815

ANEXOS C. TRABAJOS QUE HAN SIDO DERIVADOS DE ESTE PROYECTO 313

- Maura Alcívar, Katiuska Carrillo y **María Antonieta Riera**. Development of a bioplastic from banana peel. *Revista Ingeniería e Investigación*, 43(3), e92768, 2022. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/92768/82735>
- Andrea Briones y **María Antonieta Riera**. Residuos lignocelulósicos como materia prima de segunda generación en procesos de biorrefinación. *Revista Avances en Química*, 16(3), pp. 81-87, 2022. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/article/view/17664>
- Héctor Zambrano Castro y **María Antonieta Riera**. Desafío de los polihidroxicanoatos como solución al problema de los plásticos de un solo uso. *Revista Publicaciones en Ciencia y Tecnología*, 15(1), 2021. <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt/article/view/3502>
- Horacio Sánchez, Wilmer Ponce, Beatriz Brito, William Viera, Ricardo Baquerizo, **María Antonieta Riera**. Biofilms production from avocado waste. *Revista Ingeniería y Universidad*, 25, 2021. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/29301>
- **María Antonieta Riera**. La bioeconomía como modelo de negocio en el Ecuador. *Revista Científica Compendium*, 46(46), 2021. http://www.ucla.edu.ve/dac/compendium/revista46/Compendium_46_Julio_2021_1.pdf
- Sofía Briones y **María Antonieta Riera**. Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos. *Revista Avances en Química*, 15(1), pp. 3-11, 2020. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/article/view/16196>

ANEXOS C. TRABAJOS QUE HAN SIDO DERIVADOS DE ESTE PROYECTO 314

- **María Antonieta Riera**, Silvina Maldonado y Ricardo Palma. Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 2018. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924>
- **María Antonieta Riera** y Ricardo Palma. Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Revista Avances en Química*, 13(3), 2018. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/issue/view/1282/showToc>

Capítulos de libros

- **María Antonieta Riera** y Silvina Maldonado. Agro-Industrial Waste as an Option for the Sustainable Development of Bioplastic In: Maddela N.R., García Cruzatty L.C., Chakraborty S. (eds) *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future*. Springer, Cham. Springer, Singapore, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80108-37>
- **María Antonieta Riera** y Ricardo Raúl Palma. Chapter 13: Multicriteria analysis in the selection of agro-industrial waste for the production of biopolymers. In: Maddela N.R., García Cruzatty L.C., Chakraborty S. (eds) *Advances in the Domain of Environmental Biotechnology. Environmental and Microbial Biotechnology*. Springer, Singapore, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8999-7_13

Memorias de Congresos Indizados

- Alex Romero, Miguel Vera, Wilmer Ponce, **María Antonieta Riera**. Producción de ácido láctico a partir del residuo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

ANEXOS C. TRABAJOS QUE HAN SIDO DERIVADOS DE ESTE PROYECTO 315

IV Congreso de Ingeniería Aplicada. IV Convención Científica Internacional de la UTM, Ecuador, 2021.

- Jorge Barreto Pico, Roberto Macías Menéndez, **María Antonieta Riera**. Potencialidades en el aprovechamiento de residuos del procesamiento de arroz y maíz. I Congreso Internacional Transitando hacia una agroindustria sustentable, pp. 196-206, Venezuela, 2021. <http://libreria.unellez.edu.ve/wp-content/uploads/2022/03/MEMORIAS-I-CONGRESO-IAS.pdf>.
- Alcívar Gavilanes Maura Gabriela, Carrillo Anchundia Katiusha Lisette, **María Antonieta Riera**. Desarrollo de un material termoplástico a partir de los residuos del plátano (*Musa paradisiaca*). III Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería Aplicada. IV Convención Científica Internacional de la UTM, pp. 38, Ecuador, 2020. https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/component/content/article/30-memorias-de-eventos-academicos/747-iv-convencion-cientifica-internacional?Itemid=101
- **María Antonieta Riera** y Ricardo Palma. Herramientas de análisis multicriterios para la selección de residuos lignocelulosos orientados a la producción de biopolímeros. XIII Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y afines (COINI), pp. 866-875, Argentina, 2020. <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/5393/COINI%202020%20-%20XIII%20Congreso%20Internacional%20de%20Ingenier%c3%ada%20Industrial.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Briones Muñoz Joselin Sofia y **María Antonieta Riera**. Caracterización de residuos de yuca y de cera de abejas para su aprovechamiento en la obtención de bioplástico. II Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería Aplicada. III Convención

Científica Internacional de la UTM, pp.28, Ecuador, 2019. https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/component/content/article/30-memorias-de-eventos-academicos/742-tercera-convencion-internacional-de-la-universidad-tecnica-de-manabi?Itemid=101

Participación en Eventos

- Cadena de Suministros en Biorrefinerías. Primer Seminario de Ingeniería Química 2021, UTM. Ecuador, 2021.
- Producción de bioplásticos a partir de residuos lignocelulosos. Conferencias Latino-americanas de ALEIQ. Panamá, 2021.

Formación de Talento Humano

- **Tutor.** Joselin Sofía Briones Muñoz. Desarrollo de un material biodegradable a partir de los residuos de la cera de abeja y yuca (*Manihot esculenta*). Tesis de Maestría en Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí. Defensa: Abril 2022.