

**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES
PARA LA GENERACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA**

MARIA ALEJANDRA VEGA DAZA

**Proyecto integral de grado para optar por el título de:
INGENIERO INDUSTRIAL**

Orientador

Nasli Miranda Arandia

Msc. Ingeniería Industrial

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.**

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director del Programa

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Bogotá, D.C. febrero 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García - Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García - Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería Industrial

Dra. Mónica Yineth Suárez Serrano

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo incondicional en este proceso de cumplir con todos mis objetivos y a ser una excelente profesional. Igualmente, agradezco a todos aquellos que contribuyeron con la realización de esta tesis.

Este trabajo va dedicado para todos ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los docentes de la Fundación Universidad de América, quienes muy profesionalmente me compartieron sus conocimientos, además de inculcarme la importancia de ser un profesional ético y con valores. Finalmente, gracias a mi familia por todo el amor, confianza y apoyo que me brindan en cada proyecto de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Árbol del problema	17
1.2. Antecedentes	18
1.3. Pregunta de investigación	21
1.4. Justificación	22
1.5. Objetivo General	23
1.6. Objetivos específicos	23
2. MARCO REFERENCIAL	24
2.1. Marco Conceptual	24
2.1.1. <i>Aprovechamiento de residuos</i>	24
2.1.2. <i>Gestión de residuos</i>	25
2.1.3. <i>Valorización de residuos</i>	25
2.1.4. <i>Agricultura sostenible</i>	25
2.1.5. <i>Economía circular</i>	26
2.1.6. <i>Biofertilizantes</i>	27
2.2. Marco Teórico	28
2.2.1. <i>Desarrollo sostenible</i>	29
2.2.2. <i>Cultivos de maíz</i>	30
2.2.3. <i>Morfología del maíz</i>	33
2.2.4. <i>Nutrición del cultivo de maíz</i>	34
2.2.5. <i>Gestión agronómica</i>	35
2.2.6. <i>Controles en cultivos de maíz</i>	35
2.2.7. <i>Simbiosis industrial</i>	36
2.2.8. <i>Segmentación del mercado de los biofertilizantes</i>	37

2.3. Marco Legal	42
2.3.1. Constitución Política de Colombia	42
2.3.2. Decreto 1505 de 2003	43
2.3.3. Ley 430 de 1998	43
2.3.4. Decreto 2811 de 1974	43
2.3.5. Documento CONPES 3874 de 2016	43
3. DISEÑO METODOLÓGICO	44
3.1. Tipo de investigación	44
3.2. Fuentes y técnicas de información	44
3.3. Fase exploratoria	44
3.4. Fase descriptiva	45
3.5. Fase de diseño o desarrollo	45
4. DESCRIBIR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA Y EL PROCESO DE COMPOSTAJE, PARA LA GENERACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE, A PARTIR DE RESIDUOS PRODUCIDOS EN CULTIVOS DE MAÍZ	47
4.1. Proceso de fermentación anaeróbica de los residuos de maíz	48
4.2. Proceso de compostaje a partir de residuos de maíz	50
5. REALIZAR UN COMPARATIVO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA FRENTE AL PROCESO DE COMPOSTAJE, PARA LA GENERACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE MAÍZ, EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	55
5.1. Comparativo de costos del proceso de fermentación anaeróbica frente al proceso de compostaje	56
5.2. Ingresos	57
6. ANALIZAR LOS BENEFICIOS POTENCIALES ASOCIADOS AL USO BIOFERTILIZANTES A PARTIR DE RESIDUOS DE MAÍZ	58
7. RESULTADOS	60

8. CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Árbol del problema	18
Figura 2. Partes que intervienen en el proceso de producción de bioetanol	19
Figura 3. Principios de la economía circular: las 7R	26
Figura 4. Modelo cíclico de la economía circular	27
Figura 5. Área sembrada, área cosechada y producción/año en el departamento de Cundinamarca	32
Figura 6. Principales empresas del mercado de biofertilizantes en el mundo	38
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de fermentación anaeróbica de los residuos de maíz	50
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de compostaje	52
Figura 9. Mercado de los abonos orgánicos en Colombia	60

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cuenta Satélite de la Agroindustria del Maíz, Sorgo y Soya (CSAMSS)	20
Tabla 2. Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de maíz tradicional según departamento 2013-2014	21
Tabla 3. Información general de los municipios que conforman Cundinamarca	31
Tabla 4. Variabilidad de la temperatura y sus efectos en el cultivo	34
Tabla 5. Línea productiva del maíz en el departamento de Cundinamarca	39
Tabla 6. Requerimientos nutricionales del maíz	47
Tabla 7. Parámetros de la relación carbono – nitrógeno	53
Tabla 8. Parámetro de aireación	53
Tabla 9. Parámetros de humedad óptimos	54
Tabla 10. Parámetros de temperatura óptimos	54
Tabla 11. Costos de producción maíz tecnificado promedio nacional	55
Tabla 12. Comparativo de costos para la implementación de un proceso de fermentación anaeróbica frente a un proceso de compostaje	56

RESUMEN

Debido a la problemática específicamente en Colombia, acerca de la cantidad de residuos agroindustriales que se producen a diario y los cuales, si no tienen una adecuada logística, afectan seriamente el ambiente, esto implica daños en los ecosistemas conllevando a la mala calidad de vida de quienes se encuentran alrededor. Se realizó un estudio que tiene como propósito identificar procesos relacionados con la economía circular para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales especialmente en los cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca.

Para el desarrollo de esta propuesta, se analizaron dos diferentes procesos, con el fin de poder determinar y proponer la alternativa más viable económicamente para la obtención de biofertilizantes, a partir de residuos generados en cultivos de maíz. Por lo anterior se identificaron factores, herramientas, métodos, etc., que ayudaron a determinar el proceso más favorable para el aprovechamiento de los residuos generados, a través de la obtención de biofertilizantes en los cultivos de maíz.

En Colombia la agroindustria es muy amplia, es por eso que se cuenta con una gran oportunidad de ofrecer soluciones en diferentes procesos que pueden llevar a un país a ser más sostenible ambientalmente. La propuesta se plantea con el fin no solo de beneficiar los sectores de la economía a partir de la adecuada gestión y control de los residuos agroindustriales, específicamente los generados en los cultivos de maíz, sino también para determinar el potencial que estos tienen para la generación de biofertilizantes, se realizó un análisis detallado de dos procesos que han sido exitosos y se han implementado no solo en Colombia sino también en diferentes partes del mundo, mediante este análisis se determinó el proceso para la generación de biofertilizantes que más le favorece a los cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca, para el adecuado aprovechamiento de los suelos y de los residuos que se generan.

Palabras clave: Aprovechamiento de residuos, gestión de residuos, valorización de residuos, agricultura sostenible, economía circular, biofertilizantes.

INTRODUCCIÓN

La preocupación por la sostenibilidad ambiental y la necesidad de encontrar alternativas bioamigables para el manejo de residuos agroindustriales ha llevado a explorar soluciones innovadoras en diversas partes del mundo. En el departamento de Cundinamarca, conocido por su diversidad agrícola [1], se presenta una gran oportunidad para abordar esta problemática, mediante la implementación de una propuesta para el aprovechamiento de residuos agroindustriales con el objetivo de generar biofertilizantes.

Los residuos agroindustriales, resultantes de la actividad agrícola y procesos industriales asociados, representan tanto un desafío ambiental como una valiosa fuente de recursos sin aprovechar [2]. La inadecuada gestión de estos recursos puede tener impactos negativos en el ambiente, afectando la salud de los ecosistemas locales [3]. Por lo anterior, la propuesta de generar un biofertilizante surge como una estrategia integral para convertir estos residuos en un producto beneficioso para la agricultura, contribuyendo así al buen estado del suelo, la productividad agrícola y la mitigación de impactos ambientales [4].

Esta investigación pretende destacar la importancia y viabilidad de implementar una propuesta de aprovechamiento de residuos agroindustriales para la generación de biofertilizantes en el departamento de Cundinamarca. A partir de esta iniciativa, no solo se busca transformar desechos en recursos valiosos, sino también fomentar prácticas agrícolas sostenibles que beneficien a la región y promuevan el equilibrio entre la producción agrícola y la conservación del medio ambiente.

La agroindustria desempeña un papel importante en la economía de Colombia [5], siendo el cultivo de maíz una de las actividades más relevantes; Colombia es el país con mayor volumen de importaciones en Suramérica y el séptimo en el mundo [6]. Sin embargo, este proceso conlleva la generación de residuos que, de no ser gestionados adecuadamente, pueden tener impactos negativos en el ambiente [7]. La

presente propuesta se centra en el aprovechamiento sostenible de los residuos agroindustriales, especialmente aquellos derivados de los cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca, para la generación de biofertilizantes.

Los residuos agroindustriales son un reto significativo debido al volumen en que se generan, y su composición; pero también ofrecen una valiosa oportunidad para la implementación de prácticas más sostenibles. La gestión adecuada de estos residuos no solo contribuirá a la reducción de la contaminación ambiental, sino que también puede generar beneficios económicos y sociales [8].

El maíz, como cultivo predominante en el departamento de Cundinamarca [9], genera una cantidad significativa de residuos. En este documento se analizó la viabilidad económica, ambiental y social para la transformación de estos residuos en biofertilizantes, contribuyendo así al aprovechamiento de los recursos, la reducción de la dependencia de fertilizantes químicos y otras ventajas.

Finalmente, se plantea una propuesta con base en la generación de biofertilizantes, para la gestión sostenible de los residuos agroindustriales en el sector del maíz en Colombia, principalmente en el departamento de Cundinamarca. Este estudio no solo contribuye al conocimiento académico, sino que también ofrece una solución práctica que puede ser implementada por actores clave en el sector, impulsando una economía más sostenible y responsable.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años los desechos agroindustriales han aumentado significativamente en el mundo, y así mismo la falta de su aprovechamiento [10].

Los principales cultivos que actualmente generan desechos de los cuales se genera biomasa en Colombia, son: banano, plátano, café, maíz y caña de azúcar. Estas agroindustrias generan impacto negativo en el ambiente, debido al uso de químicos para su tratamiento; además de pertenecer a un mercado internacional, lo cual exige tener estricto control de calidad del producto final, esto conlleva a un alto porcentaje de productos no exportados, a los cuales no se les tiene ningún tipo de tratamiento, causando un efecto desfavorable en el ambiente [11].

El desaprovechamiento de los residuos agroindustriales se debe a la falta de conciencia sobre el valor que estos tienen, con esta investigación también se busca que la sociedad comprenda las oportunidades que ofrecen estos residuos como fuente de energía, y así los consideren como desechos importantes. Otro de los puntos importantes que se trató en la presente investigación, es la falta de infraestructura y tecnologías adecuadas para el manejo y aprovechamiento de residuos agroindustriales, lo cual dificulta una gestión eficiente de los residuos, en la mayoría de los casos esto puede implicar una inversión para la implementación de nuevos procesos, si esa inversión no es rentable para las empresas o agricultores, probablemente opten por desechar los residuos en vez de aprovecharlos.

La falta de regulaciones o la existencia de regulaciones que limitan o dificultan el aprovechamiento de residuos agroindustriales pueden ser obstáculos, ya que si no hay un requisito legal que exija el uso adecuado de dichos residuos, las empresas o agricultores optan por deshacerse de los mismos de manera más sencilla y económica.

En Colombia, Cundinamarca es uno de los principales departamentos productores de maíz. Con un total de 11.950 hectáreas sembradas, y una producción

de 28.980 toneladas [12], de la cual cerca del 50% pertenece al grano, y el restante pertenece a residuos [13].

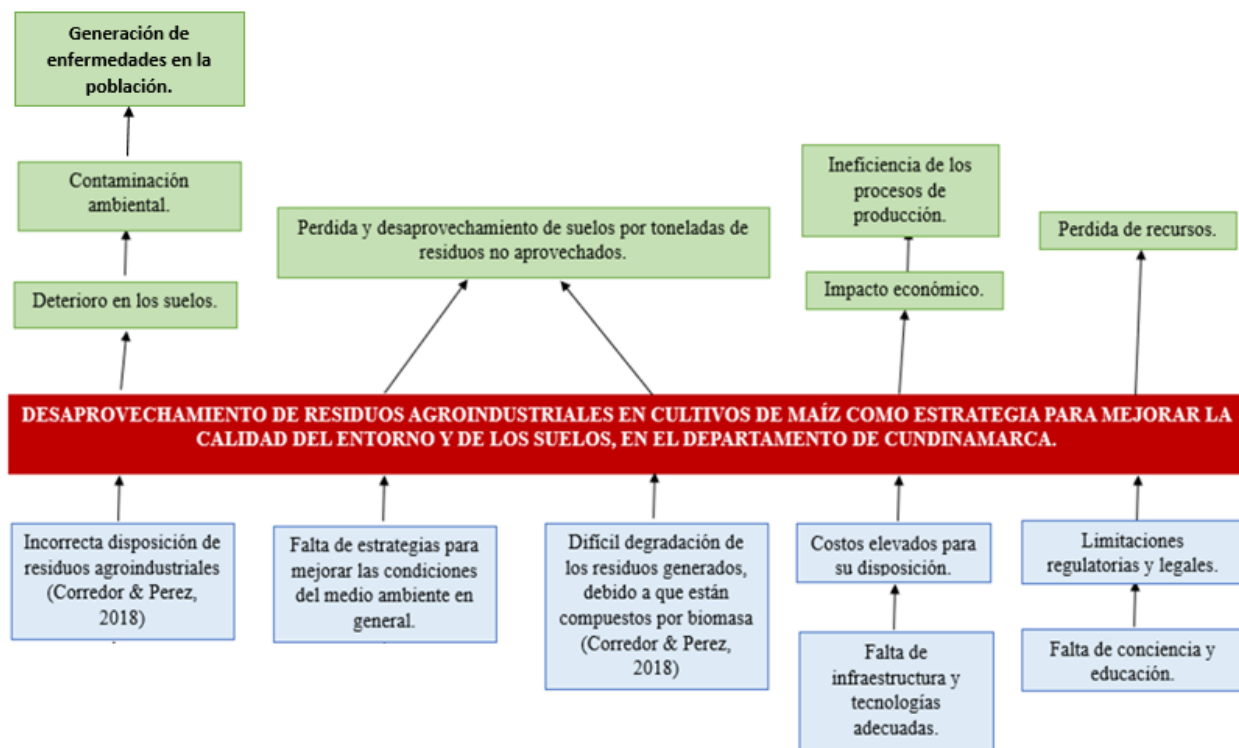
Es importante entender que la falta de aprovechamiento de estos residuos agroindustriales tiene implicaciones negativas en el medio ambiente, la economía y la sociedad. Por lo anterior es necesario implementar acciones clave para empezar a generar una cultura de aprovechamiento sostenible.

1.1. Árbol del problema

Esta técnica es utilizada para identificar el problema central de una situación que se busca analizar; por lo anterior se hizo uso de esta herramienta (árbol del problema), allí se puede observar de manera resumida algunas de las diferentes causas que conllevan al desaprovechamiento de los agro-residuos generados en el departamento de Cundinamarca, además de las consecuencias producidas por la falta de control o aprovechamiento (Figura 1).

Figura 1.

Árbol del problema



Nota. Esta figura representa el árbol del problema diseñado para el presente análisis, está compuesto por una problemática central (recuadro rojo), unas causas (parte inferior) y unos efectos (parte superior).

1.2. Antecedentes

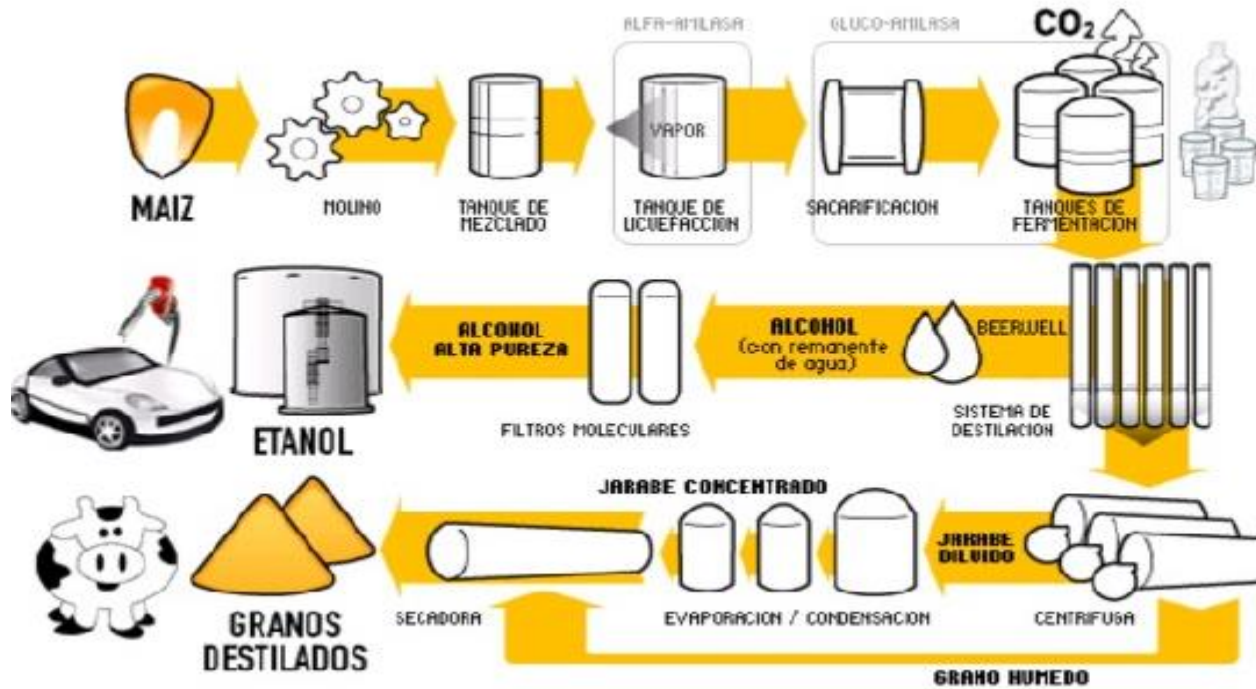
Entre las investigaciones relacionadas al aprovechamiento sostenible de residuos del sector agroindustrial, se pueden encontrar algunos estudios que han enfatizado conceptos que sirven como apoyo para evidenciar estudios que se han realizado acerca del tema.

El maíz es una fuente importante de materia prima para la producción de bioetanol. Se han llevado a cabo investigaciones para desarrollar procesos eficientes de fermentación y producción de bioetanol a partir de residuos de cultivos de maíz, como el de instalar una biorefinería productora de bioetanol, utilizando como materia prima el rastrojo de maíz [14]. Estos estudios han buscado optimizar los parámetros de

fermentación, mejorar la eficiencia de los procesos y evaluar la viabilidad económica y ambiental de la producción de bioetanol a partir de estos residuos.

Figura 2.

Partes que intervienen en el proceso de producción de bioetanol



Nota. La figura representa cómo se genera el bioetanol a partir de maíz y de su desecho sólido procesado. Tomado de: "Plantas de Bioetanol a partir de maíz transgénico". [En línea]. Disponible en: <https://reduas.com.ar/plantas-de-bioetanol-a-partir-de-maiz-transgenico/>

Los residuos de cultivos de maíz, como los tallos y las hojas, son ricos en materia orgánica y pueden ser utilizados para la producción de biogás a través de la biodigestión anaeróbica. Se han realizado estudios para evaluar la viabilidad y eficiencia de la producción de biogás a partir de residuos, así como para optimizar las condiciones de digestión y maximizar la producción de biogás. Entre los residuos generados por el maíz, la paja constituye un sustrato importante para la producción de biogás [15]. Sin embargo, su composición lignocelulosa dificulta la degradación en condiciones anaerobias. Según estudio realizado por González, da Silva, Oliva & Reyes, se evaluó la influencia de adición de mineral como micronutriente sobre la mono digestión de la paja de maíz; en el cual se concluyó, que la inestabilidad del proceso de

digestión puede ser debido a la deficiencia de macro y micronutrientes. La eficiencia en la fermentación de la paja de maíz es posible con la adición de elementos trazas esenciales [16].

Tabla 1.

Cuenta Satélite de la Agroindustria del Maíz, Sorgo y Soya (CSAMSS)

Año	Participación (%) VA de los cultivos de maíz, sorgo y soya, en el VA de cultivos agrícolas ¹	Participación (%) VA de la agroindustria del maíz, sorgo y soya, en el VA de las actividades de cultivos agrícolas ¹ y la elaboración de productos de molinería ²	Participación (%) VA de la agroindustria del maíz, sorgo y soya, en el VA nacional
2018	1,5	5,7	0,3
2019	1,9	5,6	0,3
2020 ^p	1,3	5,1	0,3
2021 ^p	1,5	5,5	0,4
2022 ^p	1,8	5,9	0,4

Nota. Esta tabla muestra la participación porcentual del valor agregado de la agroindustria del maíz, sorgo y soya. Tomado de: “Cuenta satélite de la agroindustria”. DANE. [En línea]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-piloto-de-la-agroindustria#cuenta-satelite-de-la-agroindustria-del-maiz-sorgo-y-soya-csamss>

Los residuos de maíz también pueden utilizarse como compostaje para obtener un abono orgánico rico en nutrientes para el suelo. Según investigaciones realizadas, se han evaluado diferentes técnicas de compostaje de residuos de maíz, optimización de los parámetros de descomposición y evaluación de la calidad del compost resultante. El compostaje es una práctica denominada como sostenible y utilizada en todos los sistemas asociados a la agricultura, según estudios realizados por Salcedo, Viramontes, Torres, Romero & Muñoz, se dedujo que el contenido de micronutrientes demuestra una alta homogeneidad en cuanto al tiempo de composteo por lo que se considera que el proceso mejora la viabilidad de los mismos para los cultivos, además considerando los aportes nutritivos que genera, se puede mitigar la aplicación de componentes químicos adicionales [17].

Tabla 2.

Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de maíz tradicional según departamento 2013-2014

Departamento	Área Sembrada (ha)				Área Cosechada (ha)*				Producción (t)*				Rendimiento (t/ha)		
	2013		2014		2013		2014		2013		2014		2013	2014	Variación
			Variación (%)	Participación (%)			Variación (%)	Participación (%)			Variación (%)	Participación (%)			
TOTAL	461.796	429.652	-7,0	100,0	403.401	404.441	0,3	100,0	606.401	606.278	0,0	100,0	1,50	1,50	-0,3
Bolívar	92.950	90.186	-3,0	21,0	86.605	85.414	-1,4	21,1	136.615	131.603	-3,7	21,7	1,58	1,54	-2,3
Córdoba	41.674	43.846	5,2	10,2	35.464	41.806	17,9	10,3	67.836	75.951	12,0	12,5	1,91	1,82	-5,0
Magdalena	37.705	33.683	-10,7	7,8	27.758	31.609	13,9	7,8	31.286	37.649	20,3	6,2	1,13	1,19	5,7
Cesar	35.294	33.500	-5,1	7,8	33.057	25.381	-23,2	6,3	49.378	33.318	-32,5	5,5	1,49	1,31	-12,1
Antioquia	34.003	32.292	-5,0	7,5	32.542	31.214	-4,1	7,7	48.817	49.203	0,8	8,1	1,50	1,58	5,1
Cundinamarca	22.113	20.456	-7,5	4,8	20.257	18.257	-9,9	4,5	30.515	28.008	-8,2	4,6	1,51	1,53	1,8
Tolima	19.289	19.903	3,2	4,6	16.081	18.493	15,0	4,6	32.861	34.657	5,5	5,7	2,04	1,87	-8,3
Arauca	18.295	16.883	-7,7	3,9	18.621	15.308	-17,8	3,8	24.229	20.144	-16,9	3,3	1,30	1,32	1,1
Huila	14.269	16.584	16,2	3,9	13.494	15.509	14,9	3,8	19.485	22.541	15,7	3,7	1,44	1,45	0,7
Chocó	16.819	14.031	-16,6	3,3	15.518	14.286	-7,9	3,5	18.623	16.633	-10,7	2,7	1,20	1,16	-3,0
Nariño	13.841	12.636	-8,7	2,9	13.355	12.414	-7,1	3,1	14.577	14.872	2,0	2,5	1,09	1,20	9,8
Boyacá	13.787	11.403	-17,3	2,7	12.563	10.525	-16,2	2,6	18.389	16.222	-11,8	2,7	1,46	1,54	5,3
La Guajira	15.580	11.133	-28,5	2,6	11.429	11.786	3,1	2,9	19.628	22.175	13,0	3,7	1,72	1,88	9,6
Santander	9.493	10.260	8,1	2,4	8.176	8.998	10,1	2,2	14.741	16.175	9,7	2,7	1,80	1,80	-0,3
Meta	8.834	8.886	0,6	2,1	7.882	8.733	10,8	2,2	12.496	14.370	15,0	2,4	1,59	1,65	3,8
Guaviare	6.724	7.764	15,5	1,8	3.314	6.882	107,7	1,7	4.911	10.323	110,2	1,7	1,48	1,50	1,2
Caquetá	11.708	7.286	-37,8	1,7	4.405	12.503	183,8	3,1	4.395	12.808	191,4	2,1	1,00	1,02	2,7
Norte de Santander	6.805	6.877	1,1	1,6	7.035	6.749	-4,1	1,7	9.287	8.287	-10,8	1,4	1,32	1,23	-7,0
Atlántico	9.856	6.550	-33,5	1,5	6.756	5.671	-16,1	1,4	6.715	5.825	-13,2	1,0	0,99	1,03	3,4
Sucre	7.422	5.636	-24,1	1,3	5.948	4.927	-17,2	1,2	9.889	7.801	-21,1	1,3	1,66	1,58	-4,8
Cauca	9.578	4.776	-50,1	1,1	8.278	5.534	-33,2	1,4	9.708	6.543	-32,6	1,1	1,17	1,18	0,8
Putumayo	3.693	3.554	-3,8	0,8	4.104	3.113	-24,2	0,8	4.108	4.009	-2,4	0,7	1,00	1,29	28,7
Casanare	3.465	3.430	-1,0	0,8	2.976	3.034	1,9	0,8	5.157	5.514	6,9	0,9	1,73	1,82	4,9
Valle del Cauca	3.352	3.038	-9,4	0,7	3.333	3.025	-9,2	0,7	6.425	5.919	-7,9	1,0	1,93	1,96	1,5
Vichada	2.019	2.240	10,9	0,5	2.009	328	-83,7	0,1	2.495	466	-81,3	0,1	1,24	1,42	14,4
Caldas	1.237	1.081	-12,6	0,3	745	1.314	76,5	0,3	1.259	2.580	104,8	0,4	1,69	1,96	16,1
Risaralda	703	830	18,1	0,2	535	684	27,8	0,2	1.084	1.476	36,2	0,2	2,03	2,16	6,6
Quindío	548	336	-38,8	0,1	533	417	-21,7	0,1	672	478	-28,8	0,1	1,26	1,15	-9,1
Vaupés	321	278	-13,4	0,1	198	195	-1,3	0,0	168	186	10,4	0,0	0,85	0,95	11,9
Guainía	242	165	-32,0	0,0	258	164	-36,3	0,0	396	289	-27,1	0,0	1,53	1,76	14,5
Amazonas	175	130	-25,7	0,0	170	167	-1,8	0,0	255	251	-1,8	0,0	1,50	1,50	-
San Andrés y Providencia	3	2	-33,3	0,0	1	2	37,1	0,0	1	2	42,9	0,0	0,90	0,94	4,2

Nota. Esta tabla indica que el área cosechada y la producción de un año, provienen de las siembras del segundo semestre del año anterior y de las siembras del primer semestre del año actual. Tomado de: "Cultivo". [En línea]. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/documents/cultivos.pdf>

1.3. Pregunta de investigación

¿Cuál es la viabilidad ambiental y económica del aprovechamiento de residuos agroindustriales generados en los cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca, para la producción de biofertilizantes, y cuáles son sus beneficios?

1.4. Justificación

Esta investigación se centró en resolver una problemática específicamente ambiental, mediante el estudio para la generación de biofertilizantes a partir de residuos agroindustriales como los son los del maíz en el departamento de Cundinamarca. Además de reducir el impacto ambiental (negativo), las aplicaciones de este tipo de biofertilizantes son de costos más bajos frente a los fertilizantes comúnmente utilizados en el mercado siendo estos últimos más contaminantes.

Según estudios realizados por la Universidad Nacional de Colombia, el uso de estos biofertilizantes es un reto de sustentabilidad, ya que también se busca preservar los suelos y la materia orgánica. Actualmente los biofertilizantes están jugando un papel importante en el sector agropecuario, ya que debido a la preservación de los suelos se logra un crecimiento adecuado de todo tipo de plantas [18].

En los últimos años la demanda de alimentos va en crecimiento, y la necesidad de una agricultura sostenible ha impulsado la búsqueda de alternativas para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Por lo anterior, los residuos agroindustriales se han convertido en una fuente valiosa de materia orgánica que puede ser utilizada para desarrollar biofertilizantes.

El maíz es uno de los cultivos más importantes y que más se generan en Colombia [19], durante la cosecha de maíz, se generan grandes cantidades de residuos, como los tallos y las hojas, que representan una valiosa oportunidad para su aprovechamiento como materia prima en la producción de biofertilizantes.

Con esta investigación se propone una estrategia que sea eficiente y sostenible para la generación de un biofertilizante a partir de residuos de maíz producidos en el departamento de Cundinamarca, con el fin de aprovechar los beneficios presentes en estos residuos y obtener un producto que pueda ser utilizado como una alternativa ecológica y económicamente viable a diferencia de los fertilizantes químicos.

La generación de este biofertilizante a partir de residuos de maíz no solo contribuye a reducir la cantidad de residuos agrícolas que se descartan, sino que

también permite mejorar la calidad del suelo, aumentar la productividad de los cultivos y fomentar una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

1.5. Objetivo General

Analizar el potencial de los residuos de maíz como materia prima para la generación de biofertilizantes en el departamento de Cundinamarca.

1.6. Objetivos Específicos

- Describir el proceso de fermentación anaeróbica y el proceso de compostaje, para la generación de un biofertilizante, a partir de residuos producidos en cultivos de maíz.
- Realizar un comparativo de la viabilidad económica del proceso de fermentación anaeróbica frente al proceso de compostaje, para la generación de un biofertilizante a partir de residuos de maíz, en el departamento de Cundinamarca.
- Analizar los beneficios potenciales asociados al uso de biofertilizantes, a partir de residuos producidos en cultivos de maíz.

2. MARCO REFERENCIAL

En el siguiente marco referencial se abordan diferentes aspectos relacionados con la generación de biofertilizantes a partir de residuos producidos en cultivos de maíz. Se revisaron investigaciones anteriores sobre la caracterización de los residuos de maíz, la cual permitió identificar los componentes clave presentes en dichos residuos y su potencial efecto positivo en los suelos.

Además, se analizaron dos procesos utilizados para la generación de biofertilizantes a partir de residuos agroindustriales, la fermentación anaeróbica y el compostaje. También se analizaron estudios que han evaluado la efectividad de los biofertilizantes a partir de residuos de maíz en el crecimiento y desarrollo de diferentes cultivos. Estas investigaciones brindaron información sobre el potencial de los biofertilizantes para mejorar la productividad agrícola y sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes químicos convencionales.

Por último, se abordaron aspectos económicos y ambientales relacionados con la generación y uso de biofertilizantes. Además, se analizaron investigaciones que han evaluado el impacto ambiental de los biofertilizantes en comparación con los fertilizantes químicos.

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Aprovechamiento de residuos

Hace referencia a la utilización de materiales o subproductos que son generados como resultado de diversas actividades, con el fin de obtener beneficios económicos, ambientales o sociales. El aprovechamiento de residuos puede implicar diferentes enfoques, como la reutilización, el reciclaje, la valorización energética o la transformación de los residuos en nuevos productos o materias primas. Consiste en darle un nuevo uso o valor a los materiales que se generan como desechos, con el

objetivo de reducir la cantidad de residuos que se descartan y aprovechar los recursos contenidos en ellos de manera eficiente y sostenible.

2.1.2. Gestión de residuos

Se refiere al conjunto de acciones y estrategias implementadas para controlar de manera eficiente y responsable los residuos generados por diversas actividades humanas. Este proceso abarca desde la recolección y transporte de los residuos hasta su tratamiento, disposición final y seguimiento para minimizar los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Busca minimizar los impactos negativos de los residuos en la salud y el medio ambiente a través de acciones como la recolección, transporte, clasificación, tratamiento y disposición final de los mismos.

2.1.3. Valorización de residuos

Se refiere al proceso mediante el cual los residuos son tratados de manera que se les otorgue un valor económico, energético o ambiental, en lugar de considerarlos simplemente desechos sin utilidad. La valorización de residuos implica diferentes enfoques, como el reciclaje, la recuperación de energía, el compostaje y la transformación de residuos en productos de valor añadido. Estos enfoques pueden realizarse de forma individual o combinada, dependiendo del tipo de residuo y de las tecnologías disponibles.

2.1.4. Agricultura sostenible

La agricultura sostenible es un enfoque de producción agrícola que busca satisfacer las necesidades actuales; se basa en principios que buscan maximizar la eficiencia de los recursos naturales, minimizar los impactos ambientales negativos, promover la equidad social y económica, y mantener la viabilidad a largo plazo de las actividades agrícolas.

2.1.5. Economía circular

Es un enfoque económico y de desarrollo sostenible que se basa en la maximización del valor de los recursos existentes, la minimización de los residuos y la reducción de la dependencia de los recursos naturales limitados. En contraste con el modelo tradicional de extraer, fabricar, usar y desechar, la economía circular busca mantener los producto, materiales y recursos en circulación durante el mayor tiempo posible a través de estrategias como el reciclaje y la reutilización. La economía circular tiene como objetivo principal reducir la extracción de recursos naturales, disminuir la generación de residuos y minimizar los impactos ambientales asociados con la reducción y el consumo. Además, busca impulsar la innovación, la creación de empleo y la generación de valor económico a través de la implementación de nuevos modelos de negocio y la promoción de la colaboración entre diferentes actores de la cadena de valor.

Figura 3.

Principios de la economía circular: las 7R

PRINCIPIO	DESCRIPCION
Rediseñar	Consta de pensar y diseñar procesos de fabricación que consuman lo menos posible materias primas vírgenes con el fin de alargar la vida útil de los materiales y generar menos residuos.
Reducir	Es fundamental cambiar los hábitos de consumo (modelo económico lineal actual). Reduciendo esto se evita la generación de residuos, el gasto de materias primas y por lo tanto se reduce el impacto al medio ambiente.
Reutilizar	Dándole otra utilidad a los residuos aprovechables se logra extender la vida útil de estos.
Reparar	Cambiar la mentalidad de que cuando algo se estropea se desecha, la mayoría de las cosas se pueden reparar o incluso utilizar en otra actividad, con esto se evita el uso de nuevas materias primas, ahorra energía y no se genera residuos al medio ambiente.
Renovar	El modelo de economía circular también trata de la innovación, por lo tanto, es posible actualizar objetos antiguos para que puedan volver a ser útiles.
Reciclar	Promover las mejores prácticas en la gestión de residuos y utilizar lo que sea posible para generar un nuevo tipo de materia prima para la fabricación de nuevos productos.
Recuperar	Dar nuevos usos a los productos que se piensan desechar.

Nota. Este cuadro describe cada principio con el fin de entenderlos mejor y así poderlos aplicar.

Figura 4.

Modelo cíclico de la economía circular



Nota. La figura representa el ciclo de la economía circular y los actores que influyen en el modelo. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancolombia.com/empresas/capital-inteligente/tendencias/sostenibilidad/economia-circular-modelo-necesario-empresas-y-planeta>

2.1.6. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son fertilizantes orgánicos elaborados a partir de desechos vegetales, hongos, bacterias y microorganismos que le aportan a los cultivos los nutrientes necesarios para su desarrollo. Además, sus nutrientes tienen la capacidad de mejorar las condiciones del suelo, contribuyendo a alcanzar un entorno óptimo para

el crecimiento de los cultivos. Estos productos son los más adecuados para realizar una agricultura sustentable ya que, al tratarse de fertilizantes que solo utilizan sustancias orgánicas, no perjudican al medio ambiente.

Algunas de las ventajas que tiene el uso de biofertilizantes, son: una producción a menor costo, protección del ambiente, aumento de la fertilidad y biodiversidad del suelo. [39]

2.2. Marco Teórico

El maíz es considerado uno de los cereales más importantes del mundo, aporta elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales. Además, es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen diferentes productos como: almidón, aceite, bebidas y últimamente, combustible.

La planta del maíz se reproduce por polinización cruzada, las estructuras donde se desarrolla el grano, se organiza en un número de hileras que está entre 12 y 16 hileras, generando de 300 a 1000 granos, que pesan entre 190 y 300 gr por cada 1000 granos; este peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente el 42% del pozo en seco de la planta [20].

El desarrollo de la planta consta de dos etapas; la vegetativa, en donde se generan y diferencian los distintos tejidos hasta que aparecen las estructuras florales [20]. La etapa de reproducción, inicia con la fertilización de las estructuras femeninas que se diferenciarán en espigas y granos, allí se incrementa el peso de las hojas y otras partes de la flor, y por consiguiente el peso de los granos aumenta [21].

Algunas de las aplicaciones de los residuos de la planta de maíz, son, como alimento para animales, como base para extraer diversos productos químicos de las panojas, además sirven como elementos para mejorar los suelos.

El maíz es uno de los cultivos más relevantes en el sector agroalimentario en Colombia, es el tercer cultivo con mayor superficie de siembra después del café y el arroz. La producción de maíz en el país consta de dos sistemas, el sistema tecnificado que se caracteriza por monocultivos de más de 5 hectáreas (ha) con disponibilidad de agua para riego en algunos casos y uso de tecnologías basadas en la mecanización, para la preparación del suelo, uso de semillas de mejor calidad, fertilizantes y plaguicidas químicos [22]. En Colombia, este sistema representa el 48% del área destinada para la producción de maíz, con una producción de 1.2 metro cuadrado y un rendimiento promedio de 5.4 toneladas por hectárea, dependiendo sus características principales de cultivo [23]. Por otra parte, el sistema de producción tradicional se caracteriza por áreas de siembra menores a las 5 hectáreas, en donde el cultivo se basa en el uso de una amplia diversidad de variedades nativas y no utilización de híbridos, debido a las dificultades económicas para su acceso. Igualmente, las tecnologías para la siembra se basan en el arado con azadón y chuzo [22]. A pesar de contar con el 52% del área destinada para la producción de maíz, se produce menos que en el sistema tecnificado, alcanzando una producción de 0.5 metros cuadrados, y un rendimiento promedio de sólo 2 toneladas por hectárea [23].

En Cundinamarca, el maíz es uno de los cultivos con mayor área sembrada que corresponde a 32.985 ha, y un área cosechada de 31.836 ha, lo que equivale a 173.550 ton/año [24].

Una de las investigaciones que impulsó el desarrollo de este proyecto, fue la generación de un fertilizante a partir de un residuo de la producción de maíz, desarrollado por investigadores de la Universidad Nacional del Litoral [25]. Según la investigación el producto permite disminuir costos, agregar valor a un efluente que suele ser un problema para los productores y reducir el uso de productos químicos que generalmente son una amenaza para el ambiente.

2.2.1. Desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible es un derecho que debe llevarse a cabo con el fin de beneficiar equitativamente las necesidades ambientales y también establecer el desarrollo a las futuras generaciones. Se trata de tomar acción, de cambiar políticas y prácticas en todos los niveles, desde el ámbito individual hasta el internacional [26].

2.2.2. Cultivos de maíz

Colombia siembra alrededor de 390 mil hectáreas de maíz. Esta siembra está distribuida en 21 departamentos del país. El 45% del área sembrada pertenece a los cultivos de maíz blanco, y el 55% del área restante pertenece a cultivos de maíz amarillo, a su vez estas plantaciones se dividen entre tecnificadas (62% con un promedio de producción de 5.8 Ton/Ha), y tradicionales (38% con producciones promedio de 2.2 Ton/Ha). Colombia produce aproximadamente 1.6 millones de toneladas de maíz de las cuales aproximadamente el 50% es generado por pequeños productores y se estima que al menos 200 mil familias dependen directamente del cultivo de maíz [27].

Para entrar en detalle, se analizó información encontrada, específicamente del departamento de Cundinamarca.

Tabla 3.*Información general de los municipios que conforman Cundinamarca*

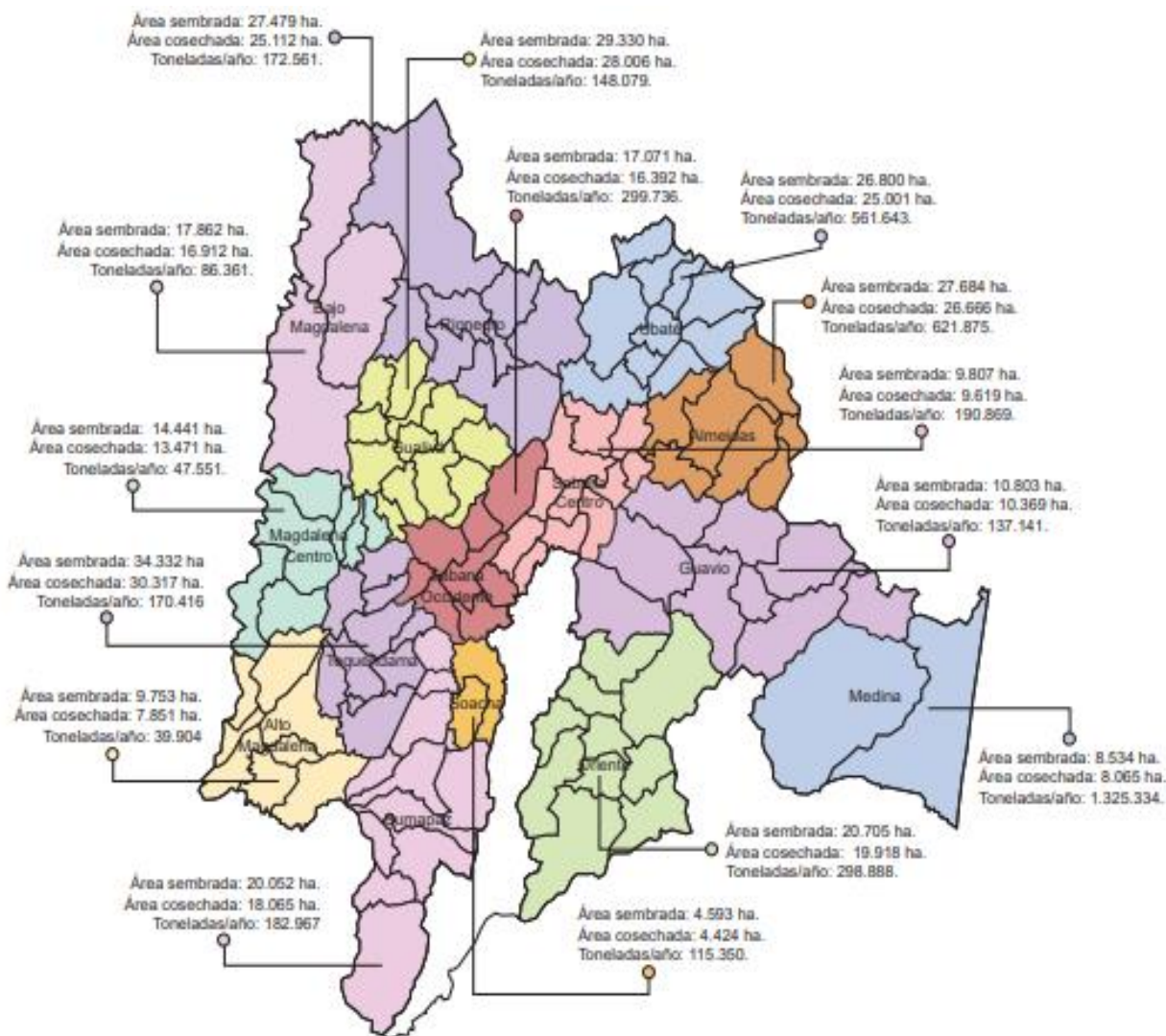
Provincia	Capital Provincia	Municipios	Extensión Km ²
Almeidas	Chocontá	(7) - Chocontá, Machetá, Manta, Sesquillé, Suesca, Tibirita y Villapinzón.	1.240
Alto Magdalena	Girardot	(8) - Agua de Dios, Girardot, Guataquí, Jerusalén, Nariño, Nilo, Ricaurte y Tocaima.	1.187
Bajo Magdalena	Guaduas	(3) - Caparrapí, Guaduas y Puerto Salgar.	1.944
Gualivá	Villeta	(12) - Albán, La Peña, La Vega, Nimaima, Nocaima, Quebradanegra, San Francisco, Sasaima, Supatá, Útica, Vergara y Villeta.	1.292
Guavio	Gachetá	(8) - Gachalá, Gachetá, Gama, Guasca, Guatavita, Junín, La Calera y Ubalá.	2.628
Magdalena Centro	San Juan de Río seco	(7) - Beltrán, Bituima, Chaguani, Guayabal de Siquima, Pulí, San Juan de Río seco y Vianí.	1.071
Medina	Medina	(2) - Medina y Paratebueno.	2.085
Oriente	Cáqueza	(10) - Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fómeque, Fosca, Guayabetal, Gutiérrez, Quetame, Ubaque y Une.	2.141
Rionegro	Pacho	(8) - El Peñón, La Palma, Pacho, Paima, San Cayetano, Topaipí, Villagómez y Yacopí.	2.382
Sabana Centro	Zipaquirá	(11) - Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Gachancipá, Nemocón, Sópó, Tabío, Tenjo, Tocancipá y Zipaquirá.	1.026
Sabana Occidente	Facatativá	(8) - Bojacá, El Rosal, Facatativá, Funza, Madrid, Mosquera, Subachoque y Zipacón.	914
Soacha	Soacha	(2) - Sibaté y Soacha.	307
Sumapaz	Fusagasugá	(10) - Arbeláez, Cabrera, Fusagasugá, Granada, Pandí, Pasca, San Bernardo, Silvania, Tibacuy y Venecia.	1.808
Tequendama	La Mesa	(10) - Anapoima, Anolaima, Apulo, Cachipay, El Colegio, La Mesa, Quipile, San Antonio de Tequendama, Tena y Viotá.	1.168
Ubaté	Ubaté	(10) - Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque, Simijaca, Susa, Sutatausa, Tausa y Villa de San Diego de Ubaté.	1.408

Nota. En la tabla se muestra cómo están conformados los municipios y su extensión en el territorio. Tomado de: “Plan Departamental de Extensión Agropecuaria 2020”. DANE e IGAC. (2018). [En línea]. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/CUNDINAMARCA.pdf#search=ma%C3%ADz%20en%20Cundinamarca>

En la figura 5, se puede analizar el área sembrada, el área cosechada y la producción en toneladas por año, de todo el departamento de Cundinamarca.

Figura 5.

Área sembrada, área cosechada y producción/año en el departamento de Cundinamarca.



Nota. En la figura se observa detalladamente el área sembrada, el área cosechada y la producción por año, en cada uno de los municipios que componen el departamento de Cundinamarca. Tomado de: “Plan Departamental de Extensión Agropecuaria 2020”. [En línea]. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/CUNDINAMARCA.pdf#search=ma%C3%ADz%20en%20Cundinamarca>

Según el Plan Departamental de Extensión Agropecuaria, se determinó que el 10% del departamento de Cundinamarca, cuenta con zonas dedicadas al cultivo de maíz, teniendo un total de 231.875 hectáreas aprovechables para el cultivo de maíz [24].

2.2.3. Morfología del maíz

La raíz es el primero de los componentes que brota cuando la semilla germina. En la planta madura, las raíces pueden tener una profundidad hasta de 1.8 m y una superficie de 2 m de diámetro. Existen los siguientes tres tipos de raíces:

- Raíz primaria: Es la que suministra los nutrientes a la plántula. Se origina en la radícula luego de la germinación y tiene una duración de 2 a 3 semanas.
- Raíces adventicias: Estas se originan, después de las raíces primarias, de los nudos que se encuentran debajo de la superficie del suelo y pueden alcanzar hasta 2 m de profundidad.
- Raíces de soporte: Se originan en los nudos, cerca de la superficie del suelo. Son las que proporcionan una mayor estabilidad a la planta y disminuyen problemas como el acame [28].

El maíz tropical tiene un solo tallo principal, está compuesto por tres capas: una epidermis exterior protectora, impermeable y transparente, una pared de haces vasculares por donde circulan las sustancias alimenticias y una medula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares [28].

La planta de maíz posee entre 15 y 30 hojas, de 4 a 10 cm de ancho por 35 a 50 cm de largo. Crecen en la parte superior de los nudos, abrazando al tallo mediante estructuras llamadas vainas. La cara superior de la hoja es pilosa, adaptada para la absorción de energía solar, mientras que la cara inferior, tiene numerosas estomas que permiten el proceso respiratorio [28].

La mazorca es la inflorescencia femenina y está constituida por un tronco cubierto por filas de granos, allí es donde se almacenan las reservas nutritivas; están cubiertas por las brácteas que tienen como función la protección del grano. Cada planta puede tener entre 1 a 3 mazorcas dependiendo de la variedad, la población y las condiciones climáticas [28].

Tabla 4.

Variabilidad de la temperatura y sus efectos en el cultivo

Temperatura	Resultado
menores de 13°C	Crecimiento lento.
mayores de 29°C	Se dificulta la absorción de agua.
mayores de 38°C	Es difícil mantener la humedad adecuada en el suelo.
menor de 10°C	La semilla no germina.
mayores de 15°C	La germinación es rápida y las plántulas emergen entre los 5 y 10 días después de la siembra

Nota. En la tabla se observa la relación que tiene la variabilidad de la temperatura con sus efectos en el cultivo. Tomado de: "Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia". Fenalce. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19418/45021_60774.pdf?sequence=1&isAllowed=y

2.2.4. Nutrición del cultivo de maíz

En general, los nutrientes más importantes para la producción de maíz son el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio. Es importante tener en cuenta que el pH del suelo determina fuertemente la disponibilidad de nutrientes. Diferentes investigaciones han demostrado que las máximas producciones de maíz se obtienen en el rango de pH comprendido entre 5.6 y 7.5; por debajo de 5.6 la producción es fuertemente afectada y maíces sembrados en suelo con pH iguales o inferiores a 4.0 muy difícilmente sobrevivirán [29].

El nitrógeno es el elemento más limitante en la producción de maíz y, por lo tanto, su buen manejo determinará incrementos significativos en la productividad [29].

La determinación de la dosis de fósforo a aplicar dependerá principalmente del nivel de disponibilidad y secundariamente de otros factores, como potencial de rendimiento, método y época de aplicación y cultivos de rotación, entre otros. La necesidad de disponibilidad del fósforo durante los estados iniciales del cultivo,

determinan que el momento de aplicación de los fertilizantes fosfatados deba hacerse al momento de la siembra, aplicándolo en bandas, y preferiblemente por debajo y al costado de la línea de siembra [29].

El potasio en la fisiología de las plantas actúa a nivel del proceso de la fotosíntesis, una buena nutrición potásica aumenta la resistencia a condiciones adversas como sequías o presencia de enfermedades. En investigaciones realizadas, se ha demostrado que, al mantener una adecuada cantidad de potasio en la planta, está soportará mejor los posibles daños ocasionados por sequía, altas temperaturas, enfermedades, insectos, etc. [29].

En los últimos años se han presentado numerosas evidencias que demuestran aumentos de rendimiento por el uso de azufre como fertilizante, se encuentran más frecuentemente en lotes con alto potencial de rendimiento y que presentan respuestas importantes a nitrógeno y fósforo [29].

El magnesio que requiere un cultivo para su óptima producción es de un 0.15% a un 0.35% del peso seco de las partes vegetativas [29].

2.2.5. Gestión agronómica

Para tener un cultivo de maíz potencialmente productivo es indispensable realizar un adecuado manejo agronómico, lo cual implica, conocer todos los requerimientos de la planta, las características y necesidades de la siembra [30].

La siembra es uno de los procesos más importantes en el mantenimiento de un cultivo, especialmente en el caso del maíz, exige la máxima atención para lograr mantener una población ideal de plantas, que permita, con otras prácticas de cultivo, obtener la mayor producción [30].

2.2.6. Controles en cultivos de maíz

El maíz es un cultivo susceptible a ser atacado por muchas especies animales como insectos, pájaros, roedores, entre otros. Pero los que más afectan al cultivo son los insectos, a continuación, se mencionan los diferentes controles que se llevan a cabo en los cultivos para el control de dicha especie:

- Control físico: Uso de prácticas que actúan como barreras, como la recolección, destrucción manual y uso de trampas.
- Control cultural: Son prácticas agronómicas que buscan crear ambientes contraproducentes para las plagas sin que se requieran gastos adicionales.
- Control biológico: Uso de agentes naturales introducidos como los insectos parásitos y predadores, hongos y bacterias.
- Control químico: Insecticidas, pero el uso excesivo de estos puede conllevar a problemas de contaminación y deterioro del medio ambiente.
- Control etológico: Utilizar productos que alteren el comportamiento y las preferencias de los insectos plagas.
- Control genético: Se aplica tanto en los insectos como en las plantas, actualmente mediante la hibridación o radiación (insectos), y la ingeniería genética (plantas).
- Control legal: Cuarentenas, vedas de cultivos, medidas de control y destrucción de socas.
- Manejo integrado de plagas: Uso de diversos sistemas de control que reducen las poblaciones sin causar daños económicos, evitando la contaminación del medio ambiente. [30]

2.2.7. Simbiosis Industrial

Es un modelo de gestión ambiental que apunta al cierre de ciclos materiales a partir del desarrollo de proyectos colaborativos entre dos o más empresas, donde los residuos de una empresa se aprovechan como materia prima de otra, con el fin de disminuir el impacto ambiental y obtener beneficios económicos significativos [31].

En la simbiosis industrial se tienen en cuenta aspectos económicos, ambientales y sociales, para lograr la sostenibilidad y sus diferentes objetivos.

De los modelos de simbiosis industrial más reconocidos se encuentra desarrollado en Handelo, Suecia, se basa en la combinación de un clúster de simbiosis industrial de energías renovables junto con el centro logístico de Red Natura 2000. En el clúster de energía renovable están asociados la planta combinada de calor y energía de E. ON con una planta de biogás y una planta de etanol:

- La planta de E. ON tiene una mezcla de combustibles de 95% de recursos renovables.
- La planta de biogás produce biogás a partir de lodos derivados de la planta de tratamiento de aguas residuales de Norrköping. Después de la fermentación, el biogás se convierte en combustible para vehículos.
- La planta de etanol utiliza materias primas como: trigo, cebada y un 29% de biogás producido por la planta de biogás para la producción anual de 210 millones de litros de bioetanol y 195000 toneladas de gránulos proteicos para la alimentación ganadera, y la parte restante del sedimento se convierte en materia prima para otra planta de biogás. [32]

2.2.8. Segmentación del mercado de los biofertilizantes

El mercado más significativo en el 2014 fue el de tratamiento de semillas, con un 65% del mercado, valorado aproximadamente en 556 millones de dólares. Para el mismo año, la aplicación de biofertilizantes en el suelo, representó alrededor de un 30% del mercado, valorado aproximadamente en 256 millones de dólares, esto debido principalmente al aumento de la agricultura orgánica. [40]

Los biofertilizantes se clasifican en dos presentaciones (sólidas y líquidas), sin embargo, los biofertilizantes líquidos son los más utilizados, debido a su vida útil

(mayor a 2 años), además tienen mejores límites de tolerancia y la forma de aplicación es más sencilla. [40]

Figura 6.

Principales empresas del mercado de biofertilizantes en el mundo



Nota. En la figura se pueden observar las empresas que lideran el mercado de biofertilizantes en el mundo. Tomado de: “El mercado de los biofertilizantes”. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37084/Ver_Documento_37084.pdf?sequence=6

En la siguiente tabla se pueden analizar diferentes factores de gran importancia como lo son: el rendimiento, la producción y el total de fincas que producen cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca.

Tabla 5.*Línea productiva del maíz en el departamento de Cundinamarca.*

Provincia	Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (t)	Fincas productoras
Oriente	Gutiérrez	2.000	1.995	19	37.905	700
Sabana Centro	Tenjo	920	900	15,3	13.740	35
Ubaté	Simijaca	1.010	982	8,75	13.605	860
Sumapaz	Cabrera	810	780	8	6.240	400
Sabana Occidente	Bojacá	290	285	12	3.420	23
Sabana Occidente	Funza	506	480	7	3.360	44
Sabana Occidente	El Rosal	302	302	9	2.718	200
Guavio	Gachalá	750	750	3	2.250	397
Tequendama	Viotá	750	750	3	2.250	400
Sumapaz	Granada	220	220	10	2.200	160
Alto Magdalena	Jerusalén	1.387,6	1.305,5	1,5	1.958	541
Tequendama	Quipile	700	640	3	1.920	700
Rionegro	Yacopí	449	437	4	1.748	480
Almeidas	Tibirita	584	584	2	1.712	85
Sumapaz	Silvania	300	200	7	1.400	300
Sabana Centro	Sopó	75	75	15	1.125	4
Alto Magdalena	Guataquí	762	737	1,5	1.106	270
Guavio	Junín	1.100	1.100	1	1.100	1.300
Oriente	Ubaque	158	150	7	1.050	317
Sabana Centro	Chía	95	95	10	950	600
Sabana Centro	Tabio	60	60	15	900	58
Bajo Magdalena	Guaduas	595	585	1,5	895	416
Oriente	Cáqueza	265	265	3	795	622
Ubaté	Ubaté	72	68	11	772	68
Almeidas	Villapinzón	43	38	17	644	95
Gualivá	La Peña	215	195	3	585	245
Medina	Medina	90	77	7,3	569	162
Rionegro	La Palma	360	340	1,5	510	420

Provincia	Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (t)	Fincas productoras
Ubaté	Fúquene	64	64	6,3	444	89
Soacha	Sibaté	60	51	8,4	428,4	24
Guavio	La Calera	35	35	12	420	95
Guavio	Ubalá	146	146	5,65	416	325
Alto Magdalena	Nariño	340	340	1,15	390	187
Sabana Centro	Zipaquirá	40	40	9	360	27
Gualivá	Villeta	365	343	1	343	740
Rionegro	Villagómez	60	60	5	300	120
Sumapaz	Venecia	40	39	7,5	292	40
Gualivá	Vergara	35	35	8	280	100
Ubaté	Susa	20	20	14	280	40
Rionegro	Pacho	290	268	1,1	279,6	320
Sabana Occidente	Zipacón	42	33	8	264	15
Tequendama	Apulo	140	130	2	260	130
Magdalena Centro	Guayabal de Siquima	38	38	6	228	18
Tequendama	La Mesa	36	36	6	216	90
Guavio	Gacheta	180	160	1,3	208	400
Magdalena Centro	San Juan de Rioseco	170	170	1,2	204	140
Sumapaz	Fusagasugá	30	30	6,5	190	35
Magdalena Centro	Beltrán	130	130	1,25	170	27
Bajo Magdalena	Puerto Salgar	80	67	2,5	167,5	14
Sumapaz	Tibacuy	52	52	3	156	47
Almeidas	Manta	15	15	10	150	50
Rionegro	El Peñón	70	70	2	140	80
Rionegro	Paimé	57	57	2,25	128	925
Alto Magdalena	Girardot	47	47	2,65	125	30
Tequendama	Tena	20	18,5	6,5	121	117
Gualivá	Albán	20,5	16,9	7	118,3	127
Rionegro	Topaipí	56	40	2,8	112	114
Gualivá	Supatá	30	28	3,75	107,5	115
Guavio	Gama	110	100	1,1	106	730
Magdalena Centro	Pulí	55	50	2	100	50
Sumapaz	Pandí	12	11	8,25	90,5	31
Rionegro	Topaipí	56	40	2,8	112	114

Provincia	Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (t)	Fincas productoras
Gualivá	Supatá	30	28	3,75	107,5	115
Guavío	Gama	110	100	1,1	106	730
Magdalena Centro	Pulí	55	50	2	100	50
Sumapaz	Pandi	12	11	8,25	90,5	31
Sabana Centro	Tocancipá	10	9	10	90	18
Tequendama	Cachipay	40	40	2	80	38
Ubaté	Carmen de Carupa	15	15	5	75	18
Alto Magdalena	Tocaima	36	24	3	72	48
Magdalena Centro	Bituima	16	14	5	70	90
Tequendama	Anapoima	60	60	1,1	65	80
Tequendama	El Colegio	32	32	2	64	45
Gualivá	Quebradanegra	48	40	1,5	60	38
Ubaté	Guachetá	10	10	6	60	5
Tequendama	Anolaima	27	26	2	52	125
Rionegro	San Cayetano	26	25,5	2	51	56
Sumapaz	San Bernardo	7	7	7	49	15
Oriente	Choachí	30	30	1,5	45	85
Alto Magdalena	Agua de Dios	30,9	28,9	1,4	42,35	18
Magdalena Centro	Vianí	18	18	2,25	40,5	70
Gualivá	Sasaima	18	15	2,75	40	30
Gualivá	Útica	34	34	1	34	14
Alto Magdalena	Nilo	13	13	2,5	32,5	12
Oriente	Fómeque	18	16	2	32	50
Gualivá	Nimaima	7	6,5	4	26	100
Gualivá	San Francisco	14	14	1,5	21	80
Gualivá	La Vega	15	12	1,5	18	90
Sabana Centro	Gachancipá	1,5	1,5	10	15	4
Magdalena Centro	Chaguaní	22	17	0,75	12,6	84
Gualivá	Nocaima	4,6	4,4	2,5	11,2	75
Bajo Magdalena	Caparrapí	11	11	1	11	350
Total		18.318,1	17.659,7	5,2	116.190,95	16.932

Nota. En la tabla se observa la línea productiva del maíz, en cada uno de los municipios que conforman el departamento de Cundinamarca. Tomado de: “Plan Departamental de Extensión Agropecuaria 2020”. [En línea]. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/CUNDINAMA/RCA.pdf#search=ma%C3%ADz%20en%20Cundinamarca>

2.3. Marco Legal

En el siguiente apartado se menciona la normatividad existente actualmente en Colombia, relacionada con el tema y/o temas tratados en el presente estudio, esto con el fin de actuar correctamente a lo que dice la legislación colombiana.

2.3.1. Constitución política de Colombia

En la constitución política de Colombia se contempla los diferentes derechos y deberes que tienen todas las personas que se encuentran en el territorio nacional, esto incluyendo todo lo relacionado con el medio ambiente, a continuación, se mencionan los artículos que se tienen en cuenta:

Artículo 8. Es obligación del estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación [33].

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines [34].

Artículo 80. El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados [35].

Artículo 95. La calidad de colombiano enaltece a todos los miembros de la comunidad nacional. Todos están en el deber de engrandecerla y dignificarla. El ejercicio de los derechos y libertades reconocidos en esta constitución implica responsabilidades. Toda

persona está obligada a cumplir la constitución y las leyes. Son deberes de la persona y del ciudadano:

Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano [36].

2.3.2. Decreto 1505 de 2003

Este decreto se refiere al debido manejo integral de los residuos sólidos, donde los materiales recuperados se reintegran en un ciclo tanto económico como productivo de forma eficiente.

2.3.3. Ley 430 de 1998

En esta ley, se dictan la prohibición de normas en materia ambiental, referente a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

2.3.4. Decreto 2811 de 1974

Este decreto se refiere a evitar o prohibir el uso de elementos ambientales y recursos naturales renovables que puedan producir deterioro ambiental en países no vecinos o en cualquier espacio que haga parte del ambiente.

2.3.5. Documento CONPES 3874 de 2016

Este documento busca implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para de esta forma contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

La propuesta del proyecto, ofrece una alternativa sostenible con respecto a los residuos generados en los cultivos de maíz, en el departamento de Cundinamarca, debido a lo mencionado anteriormente, se escogió una metodología con el fin de organizar e identificar las actividades y herramientas que fueron necesarias tener en cuenta para el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados.

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo cualitativa con un alcance descriptivo.

3.2. Fuentes y técnicas de información

Este proyecto de investigación utilizó información suministrada por fuentes secundarias (tesis, sitios web, artículos científicos, libros, monografías, entre algunos otros). Para obtener información de fuentes confiables, se utilizaron bases de datos de la Universidad de América, como Sciencedirect; también bases de datos como Google académico.

3.3. Fase exploratoria

En esta fase se identificaron los recursos que fueron necesarios para la obtención de toda la información existente acerca del proceso de fermentación anaeróbica y del proceso de compostaje, para la generación de biofertilizantes, que se llevan a cabo con los residuos agroindustriales, específicamente en cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca.

Para esta fase se realizaron las siguientes actividades:

- Se Investigó información de fuentes secundarias, tales como: artículos científicos, tesis, sitios web, libros, monografías, revistas, entre otros, sobre la generación de biofertilizantes a partir de residuos agroindustriales.
- Se identificaron estudios que se han realizado, con relación a los residuos agroindustriales generados en los cultivos de maíz y la producción de biofertilizantes a partir de ellos.
- Se investigó acerca del proceso de fermentación anaeróbica y del proceso de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos generados en los cultivos de maíz, y se identificaron los beneficios que conlleva la implementación de cada uno de los procesos mencionados.

3.4. Fase descriptiva

Esta fase se realizó a partir de la información recolectada anteriormente. Se describe principalmente cómo se realiza cada proceso y por qué es favorable generar un biofertilizante a partir de residuos agroindustriales, específicamente los producidos en cultivos de maíz.

Para esta fase se realizaron las siguientes actividades:

- Se analizó la información de fuentes secundarias, para determinar cuál es el proceso más adecuado a implementar en el departamento de Cundinamarca.
- Se realizó un comparativo de los costos que conlleva implementar un proceso de fermentación anaeróbica, frente a un proceso de compostaje, en Colombia.
- Se identificaron y analizaron los beneficios asociados al implementar biofertilizantes en cultivos, a partir de residuos generados en la siembra de maíz, en el departamento de Cundinamarca.

3.5. Fase de diseño o desarrollo

Para lograr concluir la propuesta, se llevó a cabo esta fase, en la cual se incorporó todo lo desarrollado en la fase exploratoria y en la fase descriptiva, con el fin de diseñar la propuesta de generación de biofertilizantes para el aprovechamiento de residuos agroindustriales específicamente en cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca, cumpliendo con los objetivos planteados.

Para esta fase se realizaron las siguientes actividades:

- Se describe detalladamente el proceso que se propone implementar, para la generación de un biofertilizante, a partir de residuos producidos en cultivos de maíz, en el departamento de Cundinamarca.
- Se describe, como la implementación de la propuesta impacta positivamente, la parte financiera tanto de los campesinos, como de las industrias.
- Se describe, como la implementación de la propuesta aporta de manera positiva al desarrollo sostenible en Colombia, principalmente al departamento de Cundinamarca.

4. DESCRIBIR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA Y EL PROCESO DE COMPOSTAJE, PARA LA GENERACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE, A PARTIR DE RESIDUOS PRODUCIDOS EN CULTIVOS DE MAÍZ

En este apartado se realizó una descripción del proceso de fermentación anaeróbica y del proceso de compostaje, para la obtención de un biofertilizante a partir de residuos producidos en cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca.

A continuación, se muestra en la tabla los requerimientos nutricionales que se necesitan en promedio en los cultivos de maíz, para la obtención de un biofertilizante óptimo:

Tabla 6.

Requerimientos nutricionales del maíz

Elemento		Requerimiento kg/ton grano
Nitrógeno	N	22
Fósforo	P	4
Potasio	K	19
Calcio	Ca	3
Magnesio	Mg	3
Azufre	S	4
Boro	B	20
Cloro	Cl	444
Cobre	Cu	13
Hierro	Fe	125
Manganeso	Mn	189
Molibdeno	Mo	1
Zinc	Zn	53

Nota. En la tabla se observan los requerimientos nutricionales que debe tener el maíz para su adecuado cultivo, cabe resaltar que estos valores observados pueden variar un poco. Tomado de: “Producción de biofertilizante a partir de residuos orgánicos y su aplicación en cultivo de maíz”. Revista Ingeniantes. [En línea]. Disponible en: <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes7no2vol2/3.%20Producci%C3%B3n%20de%20biofertilizante%20en%20cultivo%20de%20ma%C3%ADz.pdf>

4.1. Proceso de fermentación anaeróbica de los residuos de maíz

El proceso de fermentación de residuos de maíz puede referirse a diferentes aplicaciones, como la producción de biogás, la obtención de productos fermentados o

la fabricación de productos químicos. A continuación, se describe un proceso general para la producción de biogás a partir de residuos de maíz mediante la fermentación anaeróbica:

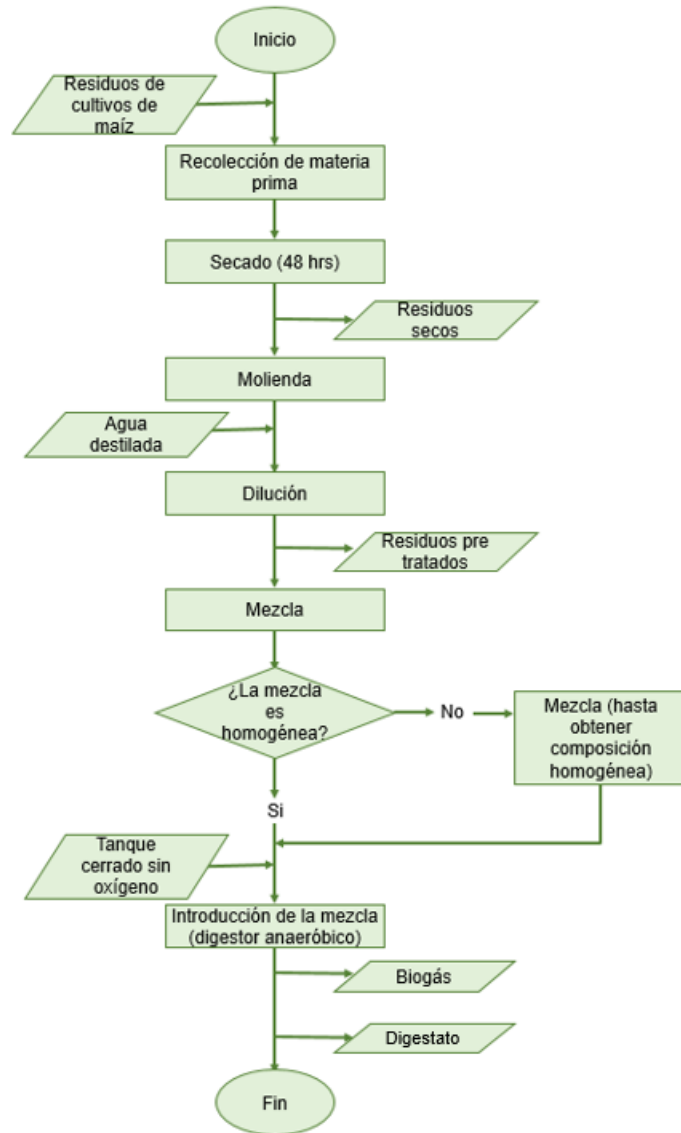
- Recolección de residuos de maíz: Se recogen los residuos de maíz, como tallos, hojas y otros restos de cosecha. En Cundinamarca, se cosecha alrededor de 31.836 ha [24], de la cual casi el 50% pertenece al grano, el otro restante corresponde a los residuos como caña, hoja, tallos, panojas, entre otros. En promedio en un cultivo de maíz, se generan de 16 a 35 toneladas por hectárea cosechada, de residuos. La proporción depende de factores como el tipo de maíz (amarillo: entre 16 a 25 toneladas por hectárea, o blanco: 20 a 35 toneladas por hectárea), y el nivel de fertilización del cultivo [13].
- Pretratamiento: Los residuos de maíz pueden someterse a un pretratamiento para facilitar la descomposición durante la fermentación, ese pretratamiento consiste en un secado al aire libre, durante 48 hrs, cuando el residuo este completamente seco, se pasa a un proceso de molienda, con el fin de reducir el tamaño de la partícula, y así aumentar la hidrólisis en el material [14], se agrega agua destilada y se realiza la dilución.
- Mezcla y homogenización: Los residuos pre tratados se mezclan para obtener una composición homogénea, asegurando que la mezcla sea adecuada para la fermentación.
- Fermentación anaeróbica: La mezcla se introduce en un digestor anaeróbico, un tanque cerrado sin oxígeno (el tamaño puede variar, dependiendo de la cantidad de residuos que se generen). En este ambiente anaeróbico, las bacterias descomponen la materia orgánica en el maíz y otros materiales orgánicos en metano y dióxido de carbono. Este proceso se conoce como digestión anaeróbica y es el principio básico para la producción de biogás.
- Generación de Biogás: El biogás producido durante la fermentación es una mezcla de metano y dióxido de carbono, con el metano siendo el componente principal. Este biogás puede utilizarse como fuente de energía para la generación de electricidad y calor.

- Digestato: Después de la fermentación, queda un subproducto conocido como digestato, que es una mezcla de materiales orgánicos descompuestos. Este digestato se puede utilizar como biofertilizante, ya que contiene nutrientes beneficiosos para las plantas.
- Control del proceso: Durante todo el proceso, se monitorean y controlan parámetros como la temperatura que puede llevarse a cabo en un amplio rango de 5 a 65 ° C, en la cual aparecen dos zonas que corresponden a grupos diferentes de bacterias: bacterias mesofílicas, que se desarrollan entre los 5 y los 40 ° C, y las bacterias termofílicas, que se desarrollan entre los 40 y 65 ° C. Normalmente se opera en el rango mesofílico, la velocidad de producción de metano se duplica aproximadamente cada 15 ° C, encontrando un óptimo funcionamiento alrededor de los 35 ° C. También se debe mantener un equilibrio ácido – base, que corresponde a un pH entre 6,6 a 7,6. [26]

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de fermentación anaeróbica de los residuos de maíz.

Figura 7.

Diagrama de flujo del proceso de fermentación anaeróbica de los residuos de maíz.



Nota. El diagrama representa la secuencia del proceso de fermentación anaeróbica con residuos generados en los cultivos de maíz, el digestato es el que se utiliza como biofertilizante.

4.2. Proceso de compostaje a partir de residuos de maíz

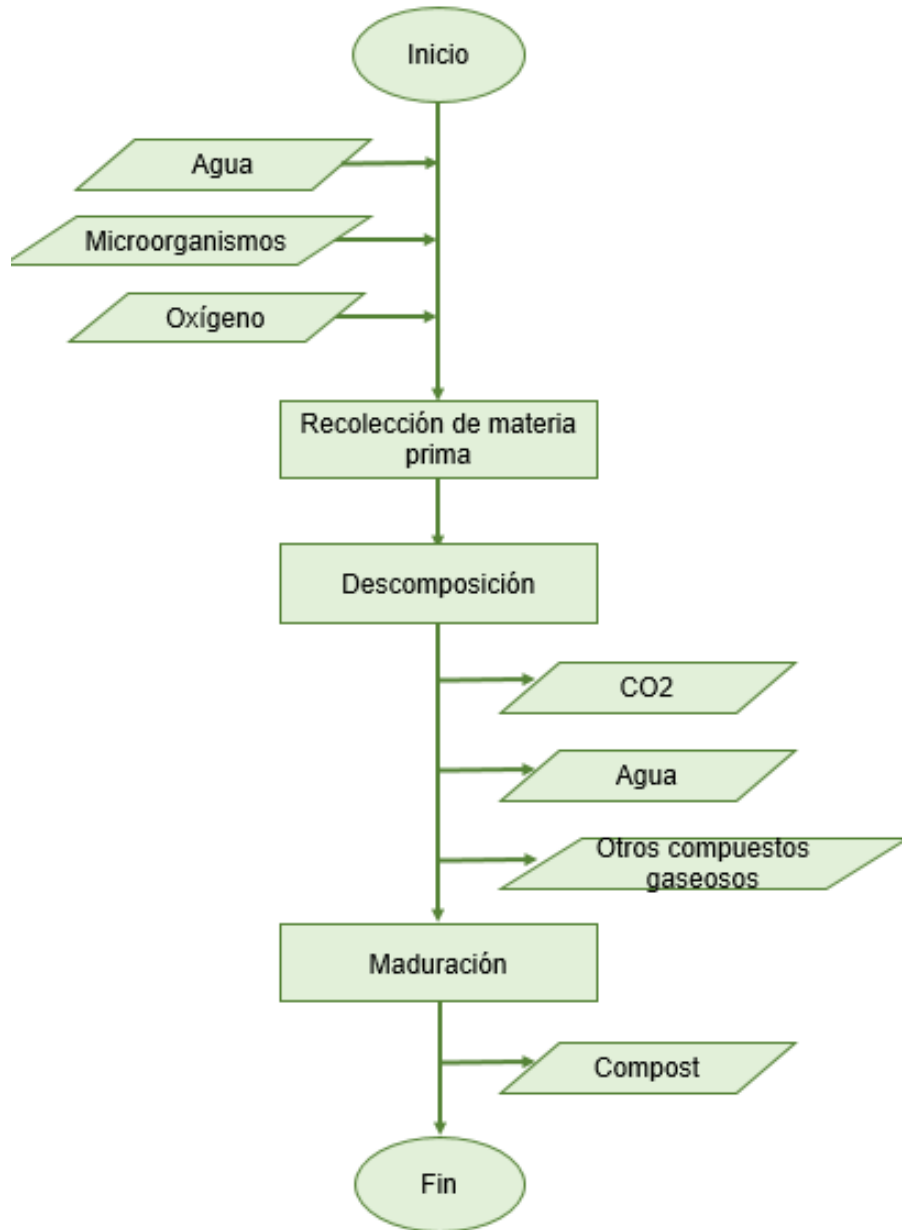
El proceso de compostaje, ocurre en condiciones aeróbicas, es decir, donde hay presencia de oxígeno [38].

El proceso de compostaje se divide en cuatro fases dependiendo su temperatura: mesófila, que ocurre durante las primeras 24 a 48 horas, la temperatura gradualmente se eleva a 40-50 grados centígrados, los azúcares y otras sustancias fácilmente biodegradables son destruidos. Fase termófila, es cuando permanecen temperaturas de 55 a 70 grados centígrados, son destruidas sustancias celulósicas menos biodegradables. La fase de enfriamiento, ocurre cuando la temperatura empieza a descender, y posteriormente la fase de maduración es cuando la temperatura del compost se estabiliza con la del ambiente [39], de lo cual se obtiene un producto final estable, el cual puede ser aplicado al suelo beneficiosamente.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de compostaje.

Figura 8.

Diagrama de flujo del proceso de compostaje



Nota. El diagrama representa el proceso de compostaje, debido a la acción de microorganismos, se consume oxígeno y se produce dióxido de carbono, agua y calor. Este sistema debe cumplir un requerimiento de aireación, que se obtiene por volteo de la pila, esto con el fin de mantener la temperatura adecuada.

A continuación, se muestran 4 tablas, en las que se observan los diferentes parámetros que se requieren para el óptimo desarrollo del compost:

Tabla 7.

Parámetros de la relación carbono – nitrógeno

C:N	Causas Asociadas		Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
15:1 – 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de Nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Nota. En la tabla se observa la relación carbono nitrógeno, donde la relación >35:1 es exceso de carbono, se debe aplicar material rico en nitrógeno y <15:1 es exceso de nitrógeno se debe adicionar material con mayor contenido de carbono. Siendo el rango ideal 15:1 – 35:1. Tomado de: "MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>

Tabla 8.*Parámetro de aireación*

Porcentaje de aireación	Problema		Soluciones
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación .
5% - 15% Rango ideal			
>15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)

Nota. En la tabla se puede observar el porcentaje de aireación que se requiere para mantener condiciones óptimas y facilitar la acción de microorganismos. Tomado de: "MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>

Tabla 9.*Parámetros de humedad óptimos*

Porcentaje de humedad	Problema		Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)
45% - 60% Rango ideal			
>60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

Nota. En la tabla se puede analizar los parámetros óptimos de la humedad. Tomado de: "MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>

Tabla 10.*Parámetros de temperatura óptimos*

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N.	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente > 70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofilicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

Nota. En la tabla se pueden observar los parámetros óptimos de temperatura y su relación con los diferentes factores. Tomado de: "MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>

5. REALIZAR UN COMPARATIVO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA FRENTE AL PROCESO DE COMPOSTAJE, PARA LA GENERACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE MAÍZ, EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

En Latinoamérica, este mercado fue valorado en 160 a 220 millones de dólares; Colombia tuvo un importante desarrollo en el mercado de biofertilizantes, en sectores como el arrocero, en el cual se tuvo un incremento significativo debido a la producción de alta calidad. Con base en información del ICA, en 2016 se vendieron en Colombia aproximadamente 1.279 toneladas de productos, entre sólidos y líquidos. Con base en la información anterior, y junto al precio estimado de un biofertilizante en el mercado, que está entre 20.000 y 66.000 pesos colombianos, se estimó que el mercado pudo alcanzar hasta los 88.000 millones para el año 2016 [41].

Según el número de registros de venta de productos ante el ICA, en el listado de bioinsumos, se encuentran un total de 395 productos registrados [42].

A continuación, se muestra una tabla con los costos de producción de maíz promedio nacional del año 2021:

Tabla 11.

Costos de producción maíz tecnificado promedio nacional

COSTOS DE PRODUCCIÓN MAÍZ TECNIFICADO PROMEDIO NACIONAL			
	ACTIVIDAD	VALOR	PART. (%)
LABORES	PREPARACIONES	\$ 660.000	12,4%
	APLICACIONES	\$ 277.000	5,2%
	RECOLECCIÓN	\$ 350.000	6,5%
	INSUMOS	\$ 3.294.615	61,6%
	OTROS	\$ 762.494	14,3%
	COSTOS TOTALES	\$ 5.344.109	

Nota. Dentro de los insumos con más peso dentro de los costos de producción están los fertilizantes que se requieren para llevar a cabo la actividad, ya que para el año 2021 se tenía un costo de \$1.664.300 por hectárea. Tomado de: FENALCE.

5.1. Comparativo de costos del proceso de fermentación anaeróbica frente al proceso de compostaje

Tabla 12.

Comparativo de costos para la implementación de un proceso de fermentación anaeróbica frente a un proceso de compostaje

COMPARATIVO DE COSTOS		
	Fermentación anaeróbica	Compostaje
Costo de la MP	\$ 462.050	\$ 403.615
Costo de la MO	\$ 236.128	\$ 538.607
Presupuesto estimado de herramientas necesarias para la instalación	\$ 347.554	\$ 483.925
Costo Total del proyecto	\$ 1.045.732	\$ 1.426.147

Nota. Elaboración propia, con datos tomados de: “Análisis de viabilidad de la implementación de biodigestores como alternativa energética” (2019). [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1934ec96-4a83-48e1-8b71-d733c34fe5f7/content>. Y tomado de: “PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST: VIABILIDAD PARA TRES UBICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y SUS ALREDEDORES”. [En línea]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7109/tesis149.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Al realizar un análisis de los costos, se puede obtener una visión más clara de la viabilidad económica de cada uno de los procesos mencionados, para la generación de un biofertilizante a partir de residuos de maíz en el departamento de Cundinamarca, cabe resaltar que estos factores pueden variar según las condiciones específicas del mercado y la región.

Es importante resaltar que con base en datos de Finagro, el año 2020, fue el año en el cual más se desembolsó para la línea de crédito (Línea Finagro) dirigida a la producción de maíz. Hasta diciembre 2020 se aprobaron 3.008 créditos por un valor de 147 mil millones de pesos [12].

5.2. Ingresos

- Precio de venta: Es importante definir un precio de venta competitivo que permita cubrir los costos y generar beneficios, además de considerar la calidad del producto, su eficacia como biofertilizante y otros factores que puedan influir en el valor percibido por los clientes.

6. ANALIZAR LOS BENEFICIOS POTENCIALES ASOCIADOS AL USO DE BIOFERTILIZANTES, A PARTIR DE RESIDUOS PRODUCIDOS EN CULTIVOS DE MAÍZ

A continuación, se mencionan algunos de los beneficios potenciales asociados al uso de biofertilizantes a partir de residuos de maíz:

- Representan menores riesgos para el ambiente, y permiten un mejor desarrollo de la planta ya que pueden mitigar los efectos de organismos nocivos en el suelo, además de que favorecen la resistencia de las plantas a factores ambientales [41].
- Los biofertilizantes generados a partir de residuos de maíz pueden contener nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son fundamentales para el crecimiento de las plantas. El uso de estos biofertilizantes puede mejorar la fertilidad del suelo.
- Son indispensables para la agricultura ecológica, ya que ayudan a mejorar la producción agrícola y a conseguir grandes cosechas sin dañar el ambiente y el suelo, a este último le permite la fijación de carbono, mejorando la capacidad de absorber agua [43].
- La utilización de residuos de maíz para la producción de biofertilizantes puede contribuir a la gestión sostenible de los residuos agrícolas. Esto reduce la dependencia de fertilizantes químicos convencionales, que a menudo tienen impactos ambientales negativos, como la contaminación del agua y del suelo.
- Consumen menos energía para su producción que los tradicionales, por lo que aportan a una gestión sostenible de los recursos [43].

Con base en una visita realizada, a un cultivo de maíz ubicado en Villeta, Cundinamarca, y en el cual no se lleva una gestión adecuada de los residuos de maíz, se pudo determinar, que la propuesta que se plantea en esta investigación es una alternativa sostenible y puede implementarse en los cultivos que se encuentran en el departamento de Cundinamarca. Cabe resaltar que, para llegar a dicha conclusión, se tuvieron en cuenta costos, infraestructura y presupuesto del lugar que se visitó.

El aumento de la demanda de productos orgánicos actualmente, es un factor importante que impulsa el crecimiento del mercado de biofertilizantes, además de la necesidad de mejorar las prácticas agrícolas, con el fin de optimizar la fertilidad del suelo. Los dos procesos que se presentan en esta investigación, son viables, por un lado, el proceso de fermentación anaeróbica, está más automatizado y tiene una vida útil mayor. Por otro lado, el proceso de compostaje requiere de un control más exhaustivo, para conservar un producto de calidad y requiere de mayor mano de obra.

Por lo anterior, se propone la implementación de la metodología de simbiosis industrial entre pequeños y grandes productores.

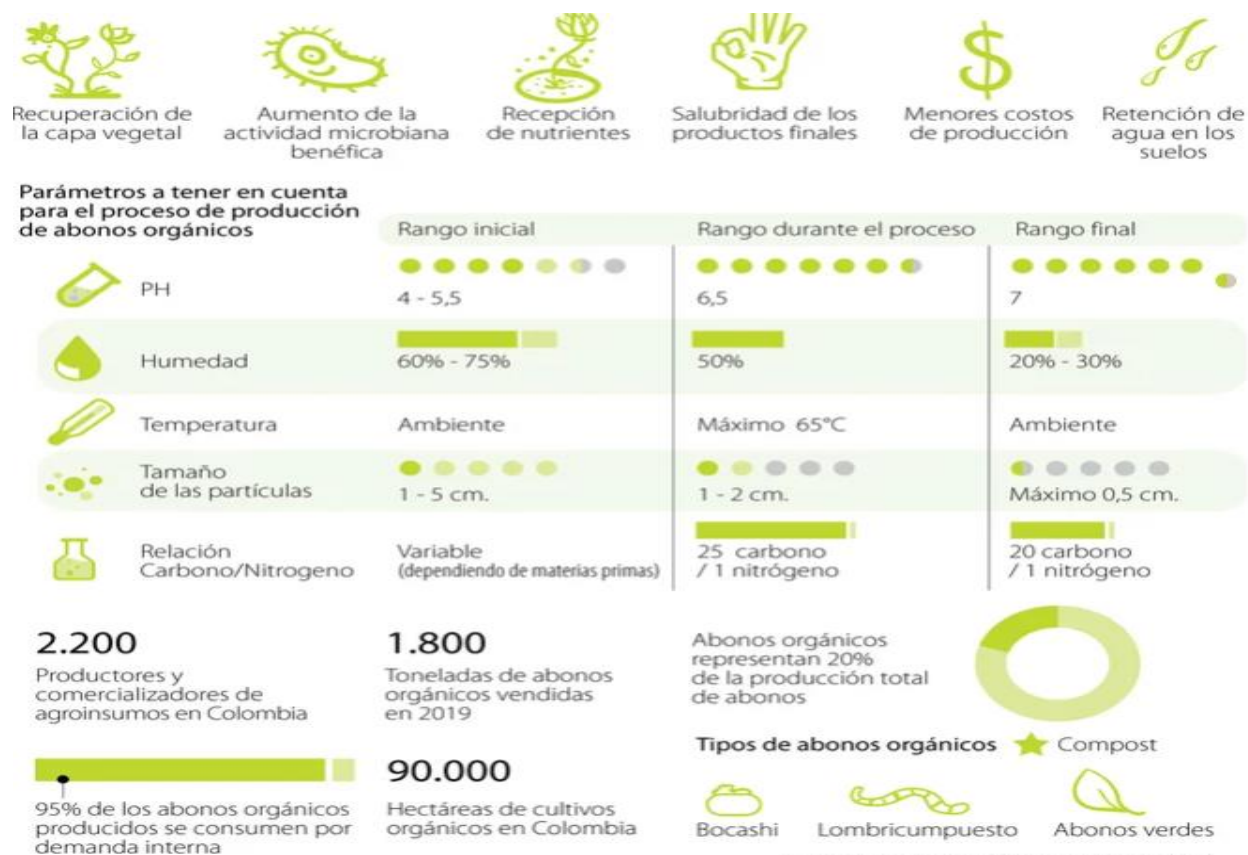
7. RESULTADOS

El mercado de biofertilizantes ha tenido una tasa de crecimiento entre el 10% y el 13% en promedio en los últimos años [41], y aunque es un mercado pequeño en Colombia, representa una alternativa importante frente al uso de fertilizantes químicos, esto debido a que ha aumentado la demanda de productos orgánicos, no solo por parte de los pequeños agricultores, sino también de las grandes industrias.

La disponibilidad de los nutrientes en el suelo seguirá siendo un reto en el desarrollo de los biofertilizantes para mejorar la actividad biológica de los microorganismos, específicamente en actividades como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la movilización de potasio. [41]

Figura 9.

Mercado de los abonos orgánicos en Colombia



Nota. La figura muestra algunos de los beneficios de los abonos orgánicos. Tomado de: “Abonos orgánicos representan 20% de la producción de fertilizantes a nivel nacional”. AGRONEGOCIOS. [En línea]. Disponible en: <https://www.agronegocios.co/agricultura/abonos-organicos-representan-20-de-la-produccion-de-fertilizantes-a-nivel-nacional-3154970>

La descripción que se realizó de los dos procesos para la generación de biofertilizantes a partir de residuos agroindustriales, principalmente los producidos en los cultivos de maíz, en el departamento de Cundinamarca, permitió ratificar el potencial y gran uso que ofrecen los biofertilizantes.

La propuesta que se plantea en este documento, para la generación de un biofertilizante a partir de residuos producidos en cultivos de maíz en el departamento de Cundinamarca, presenta una solución sostenible y beneficiosa para la agricultura, mejorando la fertilidad de los suelos y aumentando la productividad agrícola. El

aprovechamiento de estos residuos, no solo ayuda a reducir la cantidad de desechos agrícolas, sino que también promueve la economía circular y la gestión sostenible de recursos.

Al mejorar la salud del suelo a través del uso de biofertilizantes, se espera que los agricultores experimenten una mejora en la calidad y rendimiento de sus cultivos. Este enfoque no solo beneficia a los agricultores, también tiene impactos positivos en la seguridad alimentaria y en la preservación del medio ambiente, al reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

Es importante destacar que, para llevar a cabo esta propuesta, se pretende proponer a los productores y/o agricultores, una estandarización de precios de comercialización, para que logren establecer sus ingresos fijos con este mercado, beneficiando a todas las partes interesadas. Mediante el método de simbiosis industrial, se propone implementar una cadena junto con otras empresas y/o pequeños agricultores, para la reducción de costos y aprovechamiento de diferentes recursos, por lo anterior, se identifican los principales actores (agricultores locales y empresas de procesamiento agroindustrial), los agricultores entregan los residuos generados en cultivos de maíz, a los centros de recolección, allí las empresas de procesamiento agroindustrial realizan el proceso de fermentación anaeróbica, llevando a cabo el respectivo pretratamiento de los residuos para maximizar su eficiencia en la producción de biofertilizantes. Se establece una red de distribución que involucra a las agroindustrias y a los agricultores, promoviendo la comercialización a nivel local, regional y nacional.

8. CONCLUSIONES

El análisis del potencial que tienen los residuos de cultivos de maíz, como materia prima para la generación de biofertilizantes en el departamento de Cundinamarca, demuestra perspectivas prometedoras y benéficas, lo cual motiva a continuar con esta investigación, profundizando aspectos que puedan ser de importancia para la generación y uso de estos biofertilizantes.

Debido a la abundancia de residuos de maíz que se generan en el departamento de Cundinamarca y que no están siendo aprovechables, junto con su valioso contenido nutricional, se pueden identificar como residuos de gran importancia, y que desempeñan un papel valioso en el desarrollo sostenible de la agricultura en la región.

La implementación de un proceso de fermentación anaeróbica, ofrece la ventaja adicional de la producción de biogás, un subproducto valioso que puede ser aprovechado para la obtención de energía. Por otro lado, el proceso de compostaje demuestra su capacidad para generar un producto estabilizado y enriquecido. Ambos procesos ofrecen un producto que además de mejorar la estructura del suelo, beneficia la fertilidad del mismo, la retención de agua y el desarrollo de una microbiota beneficiosa.

La elección entre fermentación anaeróbica y compostaje, depende de diversos factores, incluyendo las necesidades específicas del suelo, la disponibilidad de recursos y la infraestructura. Sin embargo, ambos procesos son viables para la implementación de un biofertilizante a partir de residuos de cultivo de maíz.

El análisis de los costos de cada uno de los procesos mencionados, revela la importancia de implementar sistemas eficientes y económicamente viables; estrategias basadas en la simbiosis industrial, donde se involucren acuerdos colaborativos con agricultores de la región, implementación de tecnologías eficientes, y aprovechamiento de subproductos para otros fines, todo esto, puede contribuir a la reducción de costos.

A partir de esta investigación, se identificó la necesidad de continuar estudiando los diferentes procesos para la generación de biofertilizantes, considerado aspectos como la implementación, la viabilidad económica y la adaptabilidad a diferentes condiciones de los suelos presentes en la diversidad agrícola de Cundinamarca, y si es posible, en otras regiones del país.

Por último, como propuesta de aprovechamiento de residuos producidos en cultivos de maíz, para la generación de un biofertilizante en el departamento de Cundinamarca, se plantea: mediante el método de simbiosis industrial, implementar una cadena entre pequeños y grandes agricultores que se encuentran en el departamento de Cundinamarca, donde los pequeños agricultores distribuyan los residuos generados en sus cultivos, a las grandes agroindustrias, y estas sean las encargadas de llevar a cabo el proceso de fermentación anaeróbica, ya que estas tienen mayor accesibilidad a todo lo que se requiere para este proceso. Así, se reducen costos y se aprovechan diferentes recursos, mitigando así el desperdicio y la contaminación del ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rocha, L. (2023). “La agricultura de Cundinamarca rompe fronteras”. *Universidad ECCI*. [En línea]. Disponible en: https://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/7f3b0324-af5e-40b9-b88a-22440c9e9b87/Cartilla+ajustada+La+agricultura+de+Cundinamarca.pdf?MOD=AJP ERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-7f3b0324-af5e-40b9-b88a-22440c9e9b87-oD.Ham7
- [2] Vargas, Y., Pérez, L. (2018). “Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente”. *Revista Facultad de Ciencias Básicas, Vol. 14 (1) 2018, 59-72. Universidad Militar Nueva granada*. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108>
- [3] Galvis, J. (2016). “Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución”. *Universidad Católica de Pereira*. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/gestionyregion/article/view/149/146>
- [4] Procuraduría Federal del Consumidor. (2021). “Biofertilizantes”. *Gobierno de México*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es#:~:text=Los%20biofertilizantes%20son%20fertilizantes%20org%C3%A1nicos,microbiol%C3%B3gicos%20m%C3%A1s%20%C3%B3ptimo%20y%20natural>.
- [5] Solunion. (2023). “El sector Agroindustrial en Colombia: avances y desafíos en 2023”. [En línea]. Disponible en: <https://www.solunion.co/blog/el-sector-agroindustrial-en-colombia-avances-y-desafios-en-2023/#:~:text=El%20sector%20agroindustrial%20juega%20un,al%20crecimiento%20econ%C3%B3mico%20del%20pa%C3%ADs>.

- [6] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). “Maíz para Colombia Visión 2030”. *Fenalce*. [En línea]. Disponible en: <https://fenalce.co/wp-content/uploads/2021/10/Maiz-para-Colombia.pdf>
- [7] CIAT & CIMMYT. (2019). “Maíz para Colombia Visión 2030”. *Fenalce*. [En línea]. Disponible en: <https://fenalce.co/wp-content/uploads/2021/10/Maiz-para-Colombia.pdf>
- [8] Romero, M. (2022). “Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular”. *Instituto Tecnológico Metropolitano*. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3442/344271354013/html/>
- [9] González, A. (2023). “Cundinamarca, el gigante del maíz en Colombia”. *PortalNews.co*. [En línea]. Disponible en: <https://portalnews.co/cundinamarca/cundinamarca-el-gigante-del-maiz-en-colombia>
- [10] Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R., & Ch, L. C. (2017). “Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento”. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 9(S1), 122-132.
- [11] Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). “Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente”. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72.
- [12] Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (2021). “Maíz”. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. [En línea]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20ma%C3%ADz.pdf>
- [13] Pasturas de América. “Residuos del cultivo de maíz”. [En línea]. Disponible en: <http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz/>

- [14] Sun, Y., & Cheng, J. (2002). "Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production". *Bioresource Technology*. [En línea]. Disponible en:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- [15] Finlay, D. A. S. (2010). "Estudio exploratorio para la producción de bioetanol y co-productos de biorefinería, a partir de rastrojos de maíz". *Repositorio uchile*. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/xmlui/bitstream/handle/2250/103733/schneuer_df.pdf?sequence=3
- [16] Sun, L., Müller, B., Schnürer, A. (2013). "Biogas production from wheat straw: community structure of cellulose-degrading bacteria". *Energy, Sustainability and Society*, 3:15.
- [17] González-Suárez, A., da Silva, A., Oliva-Merencio, D., & Pereda-Reyes, I. "Producción de biogás a partir de la monodigestión de la paja de maíz–Efecto de adición de mineral natural".
- [18] Salcedo, M. D. R. J., Viramontes, U. F., Torres, S. P. M., Romero, L. L. L., & Muñoz, A. (2017). "Elementos menores en composta producida a partir de estiércol de engorda y rastrojo de maíz". *Agrofaz*, 17(2).
- [19] Torres Romero, M. C. "Configuración de conocimientos campesinos en procesos de transición agroecológica en la Región Andina, Colombia" (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- [20] Tovar, C. D. G., & Colonia, B. S. O. (2013). "Producción y procesamiento del maíz en Colombia". *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110.
- [21] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1993). "El maíz en la nutrición humana" (*Colección FAO: Alimentación y nutrición*, N°25).

- [22] Tanaka, A. y Yamaguchi, I. (1972). "Producción de materia seca, componentes del rendimiento de grano de la planta de maíz".
- [23] Quintero, L. (1999). "La producción y comercialización de granos y algodón en Colombia". *Bolsa Nacional Agropecuaria. Le'Print Club Express*. Bogotá, Colombia.
- [24] Datos FENALCE, 2016.
- [25] Gobernación de Cundinamarca. (2020). "Plan Departamental de Extensión Agropecuaria". [En línea]. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/CUNDINAMARCA.pdf#search=ma%C3%ADz%20en%20Cundinamarca>
- [26] Luna, N. (2019). "Fertilizante natural con desechos de maíz". Tomado de: <https://www.unsam.edu.ar/tss/fertilizante-natural-con-desechos-del-maiz/>
- [27] UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación). (2012). "Educación para el desarrollo sostenible". [En línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/>
- [28] Agro Bayer Colombia. (2022). "Solución para maíz". [En línea]. Disponible en: <https://www.agro.bayer.co/es-co/cultivos/maiz.html>
- [29] Ospina, J., Julio, C. "Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia: Fisiología de la planta de maíz". *Fenalce*. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19418/45021_60774.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [30] García, J., Coral, D., Molina, C. “Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia: Nutrición del cultivo de maíz”. *Fenalce*. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19418/45021_60774.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [31] Molina, C., Delgado, H., Vanegas, H., Lemos, G., Polanía, F. & Otero, P. “Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia: Manejo Agronómico”. *Fenalce*. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19418/45021_60774.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [32] CAR. “Simbiosis Industrial”. *Universidad de los Andes*. [En línea]. Disponible en: <http://www.redescar.org/rutas-de-cambio/simbiosis-industrial>
- [33] Hernández, F. “Estudio sobre las posibilidades de la simbiosis industrial para promover proyectos de economía circular en la comunidad valenciana”. *Cátedra de Transformación del Modelo Económico*. [En línea]. Disponible en: <https://www.xarxamodeleconomic.uji.es/wp-content/uploads/2021/12/ESTUDIO-POSIBILIDADES-SIMBIOSIS-INDUSTRIAL-EN-CV.pdf>
- [34] ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE, “CONSTITUCIÓN POLITICA DE COLOMBIA DE 1991”. Secretario general, *asamblea nacional constituyente 1991*.
- [35] EL CONGRESO DE COLOMBIA, “PROYECTO DE LEY N° 298 DE 2020”, *Senado de la república*.
- [36] LA ALCLADESA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C., “DECRETO 317 DE 2021”, *Alcaldía mayor de Bogotá, D.C., 2021*.
- [37] EL MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, “RESOLUCIÓN N° 1407DE 2018”

- [38] Román, P., Martínez, M. & Pantoja, A. (2013). "MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR". *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>.
- [39] Romero, J., Sánchez, J., Rodríguez, M. & Gutiérrez, M. "Producción de vermicompost a base de rastrojo de maíz y estiércol de bovino lechero". *AP AGRO PRODUCTIVIDAD*. [En línea]. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/Agroproductividad/2015/vol8/no3/9.pdf>
- [40] Virgen, G. & Molina, E. (2013). "Los biofertilizantes en la agricultura". *Intagri*. [En línea]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/biofertilizantes-en-agricultura>
- [41] Leon, D., Alarcón, E & Gómez, M. "El mercado de los biofertilizantes". *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA*. [En línea]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37084/Ver_Documento_37084.pdf?sequence=6
- [42] Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2023). "PRODUCTOS DE BIOINSUMOS REGISTRADOS". [En línea]. Disponible en: https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/fertilizantes-y-bio-insumos-agricolas/listado-de-bioinsumos/2023/6-bd_productos-bioinsumos_19-de-abril-de-2023-1.aspx
- [43] Procuraduría Federal del Consumidor. (2021). "Biofertilizantes". *Gobierno de México*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es#:~:text=Ayudan%20en%20el%20proceso%20natural,el%20suelo%20de%20tu%20huerto.&text=Los%20biofertilizantes%20son%20fertilizantes%20org%C3%A1nicos,microbiol%C3%B3gico%20m%C3%A1s%20%C3%B3ptimo%20y%20natural.>