

Estrategias de producción más limpia para el cultivo de papa en el municipio de Chocontá, Colombia¹

Daniela García Moreno², Angie Tatiana Ortega-Ramírez³

Resumen

Introducción. El municipio de Chocontá es conocido por ser el mayor productor de papa de Colombia, sin embargo, estas ventajas se han visto opacadas por el uso de fertilizantes químicos, enfermedades de cultivos, acumulación de residuos y cambio climático, los cuales agravan la calidad del suelo y alteración en las propiedades fisicoquímicas del cultivo. **Objetivo.** Seleccionar la estrategia de producción más limpia del recurso suelo para el cultivo de papa a partir de la valorización de residuos. **Materiales y métodos.** Se efectuó la revisión bibliográfica de las estrategias de producción más limpia para cultivos agrícolas. Se realizó la matriz de caracterización y selección de la estrategia más eficaz para la valorización de residuos y la disminución de la contaminación en el recurso suelo.

Resultados. Se realizó la caracterización de las estrategias de producción más limpia para el mejoramiento del recurso suelo y cultivos agrícolas a partir de la valorización de residuos mediante el compostaje como estrategia de producción más limpia. **Conclusiones.** El cultivo de papa se ve afectado por la contaminación ambiental generada por el cambio climático, acumulación de metales pesados, fertilizantes químicos, entre otros, por lo cual es necesaria la caracterización de estrategias de producción más limpia para el aprovechamiento de residuos orgánicos en el mejoramiento de la calidad del cultivo y el suelo para la actividad agrícola de la región.

Palabras clave: Chocontá, cultivo de papa, producción limpia, suelo, valorización de residuos.

- 1 Artículo de reflexión derivado del proyecto de investigación de la Maestría en Gestión Ambiental para la Competitividad, de la Universidad de América, Colombia, ejecutado entre el 20 de septiembre de 2023 y el 5 de diciembre del 2023 con el grupo de investigación Gestión, Ambiente y Sostenibilidad (GIGAS); proyecto financiado por la Universidad de América.
- 2 Ingeniera química de la Universidad de América, Bogotá, Colombia. Correo: daniela.garcia3@estudiantes.uamerica.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3446-1046>.
- 3 Doctora en Sostenibilidad, magíster en Gestión Ambiental para la Competitividad de la Fundación Universidad de América, especialista en Gerencia de Proyectos, ingeniera química, ingeniera de petróleos, Bogotá, Colombia. Correo: angie.ortega@profesores.uamerica.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6364-8432>.

Autor para Correspondencia: daniela.garcia3@estudiantes.uamerica.edu.co
Recibido: 06/12/2023 Aceptado: 10/07/2024

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Cleaner production strategies for potato cultivation in the Municipality of Chocontá, Colombia

Abstract

Introduction. The Municipality of Chocontá is known for being the largest producer of papa in Colombia. However, these advantages have been overshadowed by the use of chemical fertilizers, crop diseases, waste accumulation and climate change, which aggravate soil quality and alterations in the physicochemical properties of the crop. **Objective.** Select the cleanest production strategy for soil resources for potato cultivation based on waste recovery. **Materials and methods.** A bibliographic review of cleaner production strategies for agricultural crops was carried out. The characterization and selection matrix of the most effective strategy for the recovery of waste and the reduction of contamination in the soil resource was carried out. **Results.** The characterization of cleaner production strategies was carried out for the improvement of soil resources and agricultural crops from the valorization of waste through composting as a cleaner production strategy. **Conclusions.** Potato cultivation is affected by environmental pollution generated by climate change, accumulation of heavy metals, chemical fertilizers, among others, which is why it is necessary to characterize cleaner production strategies for the use of organic waste in the improvement of the quality of the crop and the soil for agricultural activity in the region.

Keywords: Chocontá, potato cultivation, clean production, soil, waste recovery.

Estratégias de produção mais limpa para o cultivo de batata no município de Chocontá, Colômbia

Resumo

Introdução. O Município de Chocontá é conhecido por ser o maior produtor de batata da Colômbia. No entanto, estas vantagens têm sido ofuscadas pelo uso de fertilizantes químicos, doenças nas culturas, acumulação de resíduos e alterações climáticas, que agravam a qualidade do solo e alteram as propriedades físico-químicas da cultura. **Objetivo.** Selecionar a estratégia de produção mais limpa de recursos do solo para o cultivo da batata com base na recuperação de resíduos. **Materiais e métodos.** Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre estratégias de produção mais limpa para culturas agrícolas. Foi realizada a matriz de caracterização e seleção da estratégia mais eficaz para a recuperação de resíduos e a redução da contaminação do recurso solo. **Resultados.** Foi realizada a caracterização de estratégias de produção mais limpa para a melhoria dos recursos do solo e das culturas agrícolas a partir da valorização dos resíduos através da compostagem como estratégia de produção mais limpa. **Conclusões.** O cultivo da batata é afetado pela poluição ambiental gerada pelas mudanças climáticas, acúmulo de metais pesados, fertilizantes químicos, entre outros, por isso é necessário caracterizar estratégias de produção mais limpa para o aproveitamento de resíduos orgânicos na melhoria da qualidade do cultivo. cultura e o solo para a atividade agrícola na região.

Palavras-chave: Chocontá, cultivo de batata, produção limpa, solo, recuperação de resíduos.

Introducción

El municipio de Chocontá es conocido por ser el principal productor de papa en Colombia con un total de 850 hectáreas con un rendimiento de entre 15 y 20 toneladas por hectárea, equivalente a aproximadamente a entre 120 a 160 cargas de arroba. Su ubicación geográfica es propicia para el cultivo, su latitud está entre los 2.000 y los 3.500 msnm y la temperatura oscila entre los 12 °C y 18 °C.

Sin embargo, esta actividad agropecuaria de gran interés comercial en Colombia se ve afectada por diferentes problemas sociales y ambientales que amenazan con la producción y su calidad. En primer lugar, se encuentra la enfermedad de la gota, producida por el hongo *Phytophthora infestans*, gusano blanco, chiza, pulguitas y palomas guatemaltecas a causa de malas prácticas de manufactura y contaminación ambiental, con la afectación de las propiedades del cultivo de papa (Camacho Ángel y Robles Cruz, 2009). En segundo lugar, se encuentran los contaminantes presentes en el suelo, el recurso natural con mayor importancia para la producción de papa. Dentro de estos contaminantes se encuentran las plaguicidas, sustancias sumamente tóxicas con el poder de alterar de manera irreversible las propiedades físicas de los organismos a causa del asentamiento de estos productos en el suelo, al impedir su proceso natural de fertilización, quedándose en el cultivo con riesgo de graves problemas en la salud de quienes lo consumen (García Romero y Gómez Rey, 2019).

De igual modo, se toma en cuenta el contexto económico de la región, el 95 % de la producción de papa se destina para el consumo fresco y el 5 % restante para el procesamiento industrial, al utilizar para su producción sistemas tradicionales y tecnificados. Sin embargo, solamente el 25 % del producto destinado para el mercado contiene valor agregado en cuanto a precio, calidad y disposición final, lo que trae consigo una amenaza para los productores a causa del conflicto social y político que vive a la población pues alrededor de 15.000 paperos del país dejarían de producir dicho alimento. Así mismo, el aumento de precios de insumos agropecuarios que significó un alza de un 170 %; estas condiciones plantean la necesidad de diseñar nuevas estrategias sostenibles en las que el cultivo y la calidad del producto no se vean afectados por la escasez de semilla y la acumulación de papa congelada que se importa y que en muchas ocasiones se deteriora por los circuitos cortos de comercialización, industrialización y financiación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019; Zapata, 2022).

De este modo, la valorización de residuos orgánicos es utilizado como materia prima para la formulación de diferentes estrategias de producción más limpia como es el caso de abono orgánicos, compostajes o potenciadores de suelos, que tienen como finalidad la recuperación y el aumento de eficiencia y calidad de las propiedades fisicoquímicas del suelo que han sido afectadas por problemas sociales, económicos y ambientales, un punto de referencia para el crecimiento y desarrollo sostenible de la región con

el aprovechamiento no solo los residuos orgánicos que en muchas ocasiones se acumulan sin un tratamiento previo sino también, la minimización del impacto ambiental que ocasiona deterioro al recurso suelo.

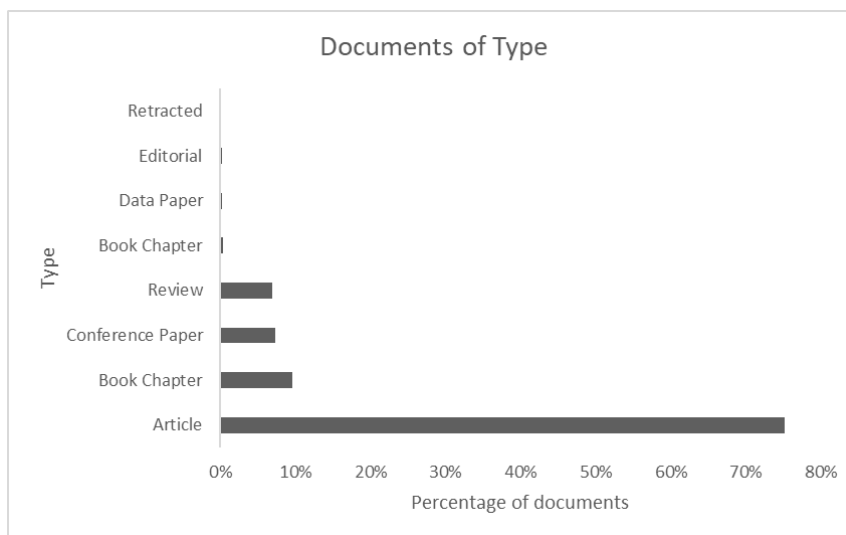
Por tal razón, en esta investigación se realizó la revisión de las estrategias de producción más limpia evaluadas a partir de una matriz para seleccionar la alternativa que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto al tener en cuenta la valorización de residuos y la potencialización de las propiedades fisicoquímicas del cultivo sin alterar el recurso suelo.

Materiales y métodos

Análisis bibliométrico

Se realizó un análisis bibliométrico de la producción más limpia del cultivo de papa en el municipio de Chocontá para la valorización de residuos al utilizar la herramienta Scopus para la consolidación de la información secundaria. La ecuación de búsqueda que se utilizó fue: (“organic waste” OR “waste recovery”) AND soil AND crops) con un total de 929 documentos procesados (Scopus, 2023) proveniente de artículos con un 75,2 % (699 documentos), capítulos de libros con un 9,6 % (89 documentos), conferencias con un 7,3 % (68 documentos), revisiones con un 6,9 % (64 documentos), libros con un 0,4 % (4 documentos), papel de datos y editoriales con un 0,2 % cada uno (dos documentos cada uno) (Scopus, 2023), estos resultados se pueden ver en la **figura 1**.

Figura 1.
Documentos por tipo de análisis bibliométrico



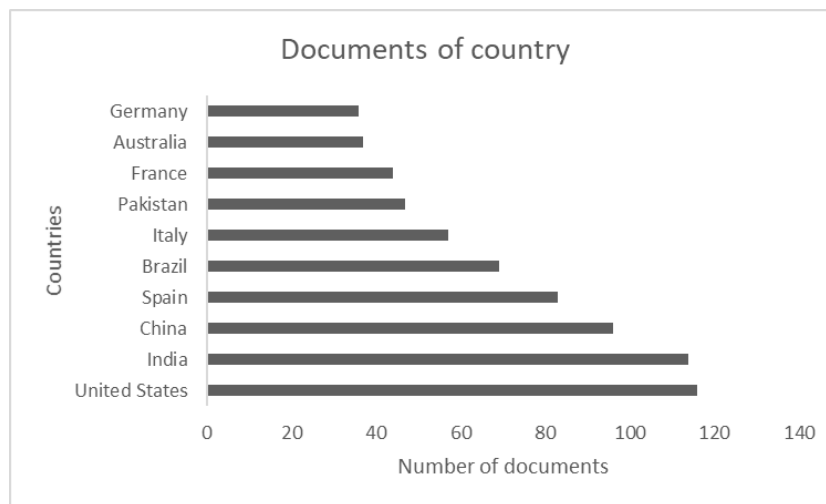
Nota. Elaboración de los autores.

Entre los países con más interés en la investigación de la valorización de residuos como estrategia de producción más limpia para el recurso suelo en aplicación a los cultivos, se encontró que Estados Unidos e India lideran la investigación con un total de 116 y 114 documentos respectivamente, seguidos de China y España con un total de

96 y 83 documentos, Brasil e Italia con un total de 69 y 57 documentos y Pakistán, Francia, Australia y Alemania con un total de 57 a 36 documentos (**figura 2**) (Scopus, 2023). Lo que demuestra que existe un gran interés en el aprovechamiento de residuos orgánicos para potencializar la calidad y las propiedades de los cultivos en cada región.

Figura 2.

Documentos por país o territorio análisis bibliométrico



Nota. Elaboración de los autores.

El análisis bibliométrico representó un punto de partida para la identificación de las estrategias de producción más limpia para el recurso suelo que se han llevado a cabo a nivel mundial, en los cuales se destacan documentos de divulgación científica con áreas de interés en ciencias ambientales, agricultura y ciencias biológicas mediante residuos orgánicos de los hogares, agricultura y ganadería para la puesta en marcha de estas estrategias. De igual modo se destacan países como China, Alemania

y Australia, pioneros en producción más limpia, los cuales fueron el foco de estudio como antecedentes para esta investigación. Se identificó una gran relación de los antecedentes seleccionados en el análisis con el área de estudio en donde se buscó la potencialización de la valorización de residuos para la producción y crecimiento del cultivo de papa para la minimización de las alteraciones en el ecosistema y del recurso suelo.

Fase de la investigación

La investigación se llevó a cabo en dos fases: i) caracterización de las estrategias de producción más limpia; ii) la evaluación de cada una de las estrategias evaluadas con base en la facilidad de acceso de las materias primas, costo del proceso, duración del proceso, efectividad del proceso, beneficios a largo plazo y sostenibilidad del proceso.

Caracterización estrategias de producción más limpia

Las estrategias de producción más limpia que se estudiaron en esta investigación se identificaron a través de una matriz de caracterización en donde se consignaron los parámetros en el proceso, materia prima utilizada, resultados obtenidos de la investigación, tiempo de proceso y lugar de estudio. Las estrategias evaluadas fueron seleccionadas por la importancia en el uso de los residuos orgánicos para la transformación del recurso suelo y el cultivo. A continuación, se evidencia un ejemplo de la matriz de caracterización que se llevó a cabo (**tabla 1**).

Tabla 1.

Ejemplo matriz de caracterización estrategias de producción más limpia

Estrategia de producción más limpia	Parámetros	Valor	Materia prima utilizada	Resultados	Tiempo del proceso	Lugar de estudio	Fuente
Compostaje	Temperatura pH humedad	(Descripción de valores de parámetros)	(Materia orgánico, microorganismos utilizados)	(Resultados estrategia)	(duración días, meses)	(lugar, país)	
Remediación							
Uso de microorganismos							
Fertilización orgánica con el uso de nitrógeno y biocarbón							

Nota. Elaboración de los autores.

Resultados y discusión

El municipio de Chocontá se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca con una cercanía de aproximadamente 75 km de Bogotá, la capital de Colombia. Hace parte de la sabana norte limita con Suesca, Sesquilé, Guatavita, Manta, Tibirita, Villapinzón y Machetá, con la conformación de la provincia de los Almeydas (Alcaldía Municipal de Chocontá, 2018).

Entre las estrategias de producción más limpia que se han implementado en el cultivo de papa para la potencialización del recurso suelo se encuentra: el compostaje, remediación, uso de microorganismos y fertilización orgánica combinada con el uso de nitrógeno y biocarbón, técnicas efectivas y eficaces con la vinculación del aprovechamiento y la valorización de residuos orgánicos y la disminución de contaminantes químicos en el crecimiento y desarrollo de cultivos agrícolas.

Compostaje

La utilización de compostaje para convertir residuos orgánicos en alimentos, fertilizantes y abonos orgánicos es un concepto de economía circular y producción más limpia que ha atraído la atención a nivel mundial en su ejecución para tratar problemas ambientales en la valorización de residuos y potencialización de las propiedades del recurso suelo para un mejor rendimiento del cultivo. Entre los beneficios que trae el uso de compostaje en los cultivos es el impulso de la sostenibilidad en la producción agrícola, optimización de bioconversión para la reducción de pérdidas de nutrientes

y emisiones de gases de efecto invernadero, sustitución de fertilizantes convencionales, mejora en la productividad y calidad de la cadena de suministro de cultivos agrícolas, aumento en las características nutricionales y bioactivas en el mejoramiento de la salud humana, entre otros. Sin embargo, uno de los problemas radica en la madurez del compostaje ya que, al aumentar los años, su rendimiento puede bajar (El Moussaoui *et al.*, 2023; Beesigamukama *et al.*, 2023; Ortega Ramírez y Sánchez Rodríguez, 2021; Ortega Ramírez *et al.*, 2019; Ortega-Ramírez *et al.*, 2021).

Remediación

De igual modo, se encuentra la remediación, una técnica sostenible que involucra la utilización de materias primas orgánicas como biomasa de trigo como materia orgánica de alta densidad (HDOM), cascarilla de arroz, pozos de café, residuo de fresas, desechos bioorgánicos de la palma aceitera, etc., que resultan eficaces en los cultivos agrícolas al aumentar la densidad de la paja para su aplicación en zonas áridas, aumento en la estructura del suelo y tasa de germinación de las semillas, potencialización de nutrientes en el suelo y en el cultivo, aumento en la absorción de potasio, potencialización al enterrar sustancialmente residuos en el subsuelo para la disminución de contaminación en el medio ambiente, diversificación en la agricultura en términos sociales y ambientales, desinfección del suelo a enfermedades o patógenos presentes en los cultivos, entre otros beneficios. Sin embargo, su viabilidad y eficacia es afectada por las condiciones ambientales, las dosis suministradas en el cultivo e interacciones con

otras estrategias de producción más limpia como es el uso del biocarbón o el nitrógeno, los cuales pueden ayudar a potencializar la remediación en suelos contaminados y el desarrollo de cultivos agrícolas, necesaria la investigación de campos adicionales para corroborar el efecto de la remediación en la salud humana y en la seguridad alimentaria (Fan *et al.*, 2023; Lorenzo *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2022; Lamidi y Dada, 2023; Márquez-Caro *et al.*, 2022).

Uso de microorganismos

Se evidencia de igual manera la importancia de los microorganismos en las actividades agrícolas, se mezclan la actividad microbiana con residuos sólidos orgánicos como mecanismo de estrategia para la potencialización del suelo y el desarrollo eficaz del cultivo. Los resultados encontrados en la implementación de esta estrategia muestran: la aplicación de digestados con relaciones C/N para la fertilización de suelos pesados, ligeros y gruesos con menor carbono orgánico, contribución a los esfuerzos de reciclaje de residuos de alimentos con la aplicación de abono orgánico con inóculo presente en el suelo, aumento de la acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en los cultivos y en el suelo, aumento en la fertilización del suelo y cuidado del medio ambiente, seguridad en el uso de fertilizantes microbianos para la revolución de la agricultura moderna y sostenible. Sin embargo, esta técnica debe tener un control y monitoreo específico de temperatura y pH para la maximización de la actividad microbiana del microorganismo mediador de la estrategia de producción más limpia (Da Silva *et al.*, 2022; Arutselvan y

Nedunchezhiyan, 2022; Hernández-Lara *et al.*, 2022; Assandri *et al.*, 2023).

Fertilización orgánica

Por otro lado, la fertilización orgánica combinada con biocarbón y nitrógeno es una estrategia que potencializa los suelos. En este caso, el biocarbón es una sustancia a base de carbono obtenida por la pirólisis de residuos orgánicos, el cual mejora la producción de cultivos, aumenta la fertilidad del suelo, elimina contaminantes nocivos y mitigación de la sequía, suministro esencial de nutrientes a las plantas en mayores cantidades, maduración del producto final, alta eficiencia en la valorización de residuos y el tratamiento de aguas residuales ya que disminuye la frecuencia de riego en las plantas, aumenta el nivel de temperatura en el suelo al ser agregado el fertilizante en el cultivo.

Sin embargo, la aplicación del biocarbón y su funcionamiento está supeditado por las condiciones de pirólisis y el tipo de biomasa utilizado en el proceso, es necesaria la evaluación económica y tecnológica de los fertilizantes combinados con biocarbón puesto que pueden ser muy costosos. De igual modo, el uso del nitrógeno en cultivos agrícolas como fertilizante orgánico presenta un aumento en el rendimiento del suelo con materia orgánica, al reducir las pérdidas de nitrógeno del suelo. No obstante, las tasas cinéticas del uso de nitrógeno y su tasa de liberación a partir de sustratos orgánicos ponen en riesgo la calidad del cultivo en factor de sostenibilidad y desarrollo a largo plazo (Izmaylov *et al.*, 2022; T. Fan *et al.*, 2023; X. Fan *et al.*, 2023; Qiu *et al.*, 2022;

Hammerschmiedt *et al.*, 2022; Rombel *et al.*, 2022). A continuación, se evidencia la matriz de caracterización de cada una de las estrategias evaluadas anteriormente (tabla 2).

Tabla 2.
Matriz de caracterización estrategias de producción más limpia

Estrategia de producción más limpia	Compostaje	Remediación	Uso de microorganismos	Fertilización orgánica combinada con el uso de nitrógeno y biocarbón
Parámetros	pH Materia prima Aireación de agua sin cloro Temperatura Humedad	Humedad del suelo Tasa de germinación del trigo pH Materia orgánica Temperatura	Materia orgánica Temperatura pH Carbón orgánico Nitrógeno tota	Materia orgánica Temperatura Humedad relativa pH
Valor	6,5 - 7,5 Residuos orgánicos de origen vegetal 24 h a una semana 33 °C máx. 40 % - 60%	3 % a 20 % 70,71 % a 75,56 % 6,5 - 6,94 1,3 % 14° C (temperatura media)	Poda de viñedo, restos de cultivo de tomate, restos de puerro, residuos grasos de la agricultura, estiércol de ganado, productos de biorresiduo, bagazo de cerveza. 15 °C 5 - 6 1,0 0,08	Cáscaras de espelta, cáscara de girasol, astillas de madera, pulpa de fruta, caña de azúcar 22,2 - 25,2 °C 60 % - 78 % 7 - 7,5
Materia prima utilizada	Se analizan cultivos de maíz, trigo, remolacha azucarera, cebada de primavera; cultivos de jengibre, lechuga, soja, maíz dulce, cebolla, pimienta, papa, espinaca, tomate, melón. Se utiliza como materia orgánica arroz de desechos orgánicos, plátano, repollo, residuo alimenticio y residuos vegetales.	Paja de trigo con presencia de biocarbón (materia orgánica de alta densidad HDMO), desechos orgánicos (pozos de café y mazorca de maíz), cascarilla de arroz.	Lodos con actividad microbiana en suelo con la adición de óxido de calcio (CSS) y lodos de estabilización térmica (TSS); comunidades fúngicas (<i>Aspergillus</i>) y bacterianas (<i>Penicillium</i>) de cultivos de lechuga (<i>Pythium irregulare</i> - <i>P. irregulare</i>); cultivos con tratamiento con bacterias (<i>Triticum sp. L.</i>	Residuos orgánicos (estiércol maduro y residuos vegetales) con adición de biocarbón para fertilización orgánica, fertilizantes con nitrógeno (tratamiento de nitrógeno en 60% y 100 %, muestra de núcleo de suelo de 100 cm de profundidad.

Estrategia de producción más limpia	Compostaje	Remediación	Uso de microorganismos	Fertilización orgánica combinada con el uso de nitrógeno y biocarbón
Resultados	<p>Rendimiento del cultivo en comparación con fertilizante convencional, ahorro en fertilizante natural, potencialización de micro y macronutrientes, con la mejora de las cualidades nutricionales y contenido de compuestos bioactivos que desempeñan un papel en el mantenimiento y salud humana; mejor oportunidad de crecimiento máximo debido a la supresión de patógenos vegetales, productividad y la calidad en la cadena de suministro del cultivo.</p>	<p>La incorporación de paja granulada al suelo aumentó significativamente la biomasa y concentración de N, P, K en el cultivo; almacenamiento de agua en el suelo para asegurar el buen crecimiento de los cultivos al reducir la evaporación de la humedad en el suelo, estimulación en el crecimiento de cultivos en condiciones de lluvia escasa y días cálidos, control de malas hierbas en el campo, diversificación de la agricultura.</p>	<p>Estimulación de actividad microbiana al tercer día con TSS y CSS de 27 % y 32 %, mineralización de suelo de fósforo de 350 mg kg⁻¹, rápida liberación de nutrientes en el suelo para el desarrollo y crecimiento de cultivos agrícolas, potencialización de parámetros de crecimiento de cultivos, aumento en la fertilidad del suelo y el cuidado del rendimiento de cultivos.</p>	<p>Maduración del producto final con alta dosis de biocarbón y estiércol compostado, suministro de nutrientes esenciales a las plantas en mayores cantidades, maximización de cultivos con un mínimo de insumos y daños ambiental en la agricultura, mejoramiento de actividades microbianas en el cultivo en relación con la concentración de nitrógeno suministrado en el cultivo, biofertilizante beneficia el rendimiento de cultivo, el biocarbón mejoró el agua disponible para las plantas al reducir la frecuencia de riego en los cultivos, las características físicoquímicas del biocarbón ofrece un gran potencial para mejoramiento del suelo.</p>
Tiempo del proceso	<p>18 años de proyecto en diferentes cultivos de Francia; 3 a 5 semanas en cultivos agrícolas; 30 días de tratamiento de cultivos como compostaje.</p>	<p>30 días de cosecha; evaluación en dos años (suelos agrícolas primavera, verano y otoño), 6 años de estudio en cultivos.</p>	<p>3 a 90 días de muestra de suelo posterior a la aplicación de lodos con actividad microbiana 42 días en el desarrollo de cultivo con actividad microbiana.</p>	<p>14 días de tratamiento con biocarbón, 3 a 12 meses después de la fertilización con nitrógenos.</p>
Lugar de estudio	<p>Centro Experimental Colmar del Instituto Nacional de Investigación para la Agricultura y la Alimentación de Francia cultivos de Etiopía.</p>	<p>Cultivos en Dazhuang, China; Finca Escola Superior Agraria de Coimbra, Portugal; campos agricultores de Patna, Nalanda y Vaishali de Bihat, India.</p>	<p>Consejo Nacional de Investigación, Italia; suelo franco arcilloso limoso de la región continental de Borgoña; cultivos de Nigeria.</p>	<p>Cultivos de Austria, regiones costeras de alta precipitación, trópicos húmedos en Australia.</p>

Estrategia de producción más limpia	Compostaje	Remediación	Uso de microorganismos	Fertilización orgánica combinada con el uso de nitrógeno y biocarbón
Fuente	(El Moussaoui <i>et al.</i> , 2023; Beesigamukama <i>et al.</i> , 2023; Ortega Ramírez y Sánchez Rodríguez, 2021; Ortega Ramírez <i>et al.</i> , 2019; Ortega-Ramírez <i>et al.</i> , 2021).	(Fan <i>et al.</i> , 2023; Lorenzo <i>et al.</i> , 2022; Kumar <i>et al.</i> , 2022; Lamidi and Dada, 2023; Márquez-Caro <i>et al.</i> , 2022).	(Da Silva <i>et al.</i> , 2022; Arutselvan y Nedunchezhiyan, 2022; Hernández-Lara <i>et al.</i> , 2022; Assandri <i>et al.</i> , 2023).	(Izmaylov <i>et al.</i> , 2022; T. Fan <i>et al.</i> , 2023; X. Fan <i>et al.</i> , 2023; Qiu <i>et al.</i> , 2022; Hammerschmiedt <i>et al.</i> , 2022; Rombel <i>et al.</i> , 2022).

Nota. Elaboración de los autores

Las estrategias de producción más limpia para el cultivo de papa en el mundo, se comparan con las estrategias llevadas a cabo en Colombia, en el que se evidencia que el uso de fertilizantes orgánicos, sistemas hidropónicos y el compostaje son las más implementadas para potencializar la seguridad alimentaria en los hogares y en la agricultura, con el fin de dejar a un lado los productos químicos tóxicos y contaminantes en el ambiente y en los recursos naturales con el fomento de productos naturales, recurso hídrico y uso de nutrientes orgánicos

y la valorización de residuos obtenidos del mismo sector agricultor.

A partir del análisis realizado anteriormente, se realizó la matriz de selección de cuatro estrategias de producción más limpia para la evaluación de cada una de ellas en relación con la facilidad en el acceso de las materias primas, costo del proceso, duración del proceso, efectividad del proceso, beneficio a largo plazo y sostenibilidad de la estrategia, al evaluar cada uno del ítem del 1 a 5 (tabla 3).

Tabla 3.

Matriz de selección estrategias de producción más limpia

Ítem a evaluar	Compostaje	Remediación	Uso de microorganismos	Fertilización orgánica combinada con el uso de nitrógeno y biocarbón
Facilidad en el acceso a materias primas	5	4	3	5
Costo del proceso	5	3	2	3
Duración del proceso	5	3	3	5
Efectividad del proceso	4	3	3	4
Beneficios a largo plazo	5	4	3	3

Ítem a evaluar	Compostaje	Remediación	Uso de microorganismos	Fertilización orgánica combinada con el uso de nitrógeno y biocarbón
Estrategia sostenible	5	4	4	4
Total	29	21	18	24

Nota. Elaboración de los autores

En relación con la matriz de selección, se establece que el proceso de compostaje es la herramienta más eficaz en la valorización de residuos y el control y potencialización del suelo en cultivos agrícolas, al utilizar residuos agrícolas y un mayor rendimiento al ser una estrategia con un menor costo de producción, efectividad en un menor tiempo, beneficios a largo plazo y desarrollo a largo plazo para el aumento de nutrientes en los cultivos y bioactivos presentes en el suelo. Esta estrategia trae consigo una alternativa en la cual se establece el crecimiento y desarrollo en el país, la cual es posible implementarla en el municipio de Chocontá, Colombia para solventar los problemas sociales, económicos y ambientales que alberga a la región y al cultivo de papa.

Esta estrategia es comparada con las estrategias de producción más limpia en el sector agricultor e industrial, evidenciando que el compostaje fomenta la transformación de los residuos agrícolas, un problema que acoge al mundo al momento de procesarlos y llevados a su disposición final. Sin embargo, el compostaje es utilizado con fertilizantes o microorganismos para la potencialización del recurso suelo y con ello dar continuidad al mejoramiento de la calidad del producto final para el fomento de la seguridad

alimentaria en la implementación de proyectos sostenibles.

Conclusiones

Debido a la contaminación ambiental que altera actualmente el recurso suelo en cultivos agrícolas, se realizó la caracterización de las estrategias de producción más limpia para la recuperación y protección de las propiedades fisicoquímicas de los cultivos con la implementación de alternativas sostenibles por medio de la valorización de residuos, fertilizantes orgánicos, remediación y uso de microorganismos, los cuales ayudan a potencializar el desarrollo y crecimiento de los cultivos y con ello disminuir la contaminación ambiental del suelo y del medio ambiente al aprovechar los residuos orgánicos de las actividades agroindustriales de la región.

Se realizó la evaluación de las estrategias de producción más limpia identificadas en la presente investigación para la minimización de la contaminación ambiental del recurso suelo para el cultivo de papa, al identificar que el compostaje es una herramienta eficaz para la valorización de residuos y la potencialización de las propiedades fisicoquímicas del cultivo, al traer consigo beneficios a largo plazo, accesibilidad en las

materias primas del proceso y sostenibilidad para su implementación y ejecución como abono orgánico en cultivos agrícolas.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Chocontá. (22 de enero de 2018). *Ubicación geográfica de Chocontá*. <http://www.chocontacundinamarca.gov.co/municipio/ubicacion-geografica>
- Arutselvan, R. and Nedunchezhiyan, M. (2022). Composting and Vermicomposting Process: Relationship Between Microorganism and Physicochemical Parameters with Special Reference to Tropical Tuber Crops. In R. Ray (Ed.), *Fruits and Vegetable Wastes: Valorization to Bioproducts and Platform Chemicals* (pp. 189-204). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-9527-8_8
- Assandri, D., Bianco, A., Pampuro, N., Cavallo, E., Zara, G., Bardi, L., Coronas, R. and Budroni, M. (2023). Enhancing Fertilizer Effect of Bioprocessed Brewers' Spent Grain by Microbial Consortium Addition. *Agronomy*, *13*(10), 1-11. <https://lc.cx/zgvCCm>
- Beesigamukama, D., Tanga, C. M., Sevgan, S., Ekesi, S. and Kelemu, S. (2023). Waste to value: Global perspective on the impact of entomocomposting on environmental health, greenhouse gas mitigation and soil bioremediation. *Science of the Total Environment*, *902*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166067>
- Camacho Ángel, J. P. y Robles Cruz, L. F. (2009). *Diagnóstico ambiental de la contaminación del suelo en el municipio de Chocontá y prueba piloto con dos de los contaminantes más representativos bioacumulados en arveja, haba y pasto ray Grass* [Trabajo de Grado, Universidad de La Salle]. <https://lc.cx/OHUofn>
- Da Silva, W. R., Fracetto, G. G., Fracetto, F. J., da Silva, Y. J., de Souza, A. and do Nascimento, C. W. (2022). The Stabilization Method of Sewage Sludge Affects Soil Microbial Attributes and Boosts Soil P Content and Maize Yield in a Sludge-Amended Soil in the Field. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*, 1267-1276. <https://lc.cx/YXEmA7>
- El Moussaoui, H., Idardare, Z. and Bouqbis, L. (2023). Assessing Alfalfa Productivity and Physiological Parameters: Biochar and Biocompost Versus Conventional Fertilizers with Manure and Chemical Fertilizers. *Water, Air, and Soil Pollution*, *234*(9), 1-18. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-023-06618-9>
- Fan, T., Zhang, Y., Wang, X., Zhao, Y., Shi, A. and Zhang, X. (2023). Application of various high-density organic materials in soil promotes germination and increases nutrient content of wheat. *Environmental Technology and Innovation*, *32*. <https://lc.cx/WFzPQO>

- Fan, X., Chen, X., Chen, T., Liu, X., Song, Y., Tan, S., Chen, Y., Yan, P. and Wang, X. (2023). Effects of substituting synthetic nitrogen with organic amendments on crop yield, net greenhouse gas emissions and carbon footprint: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109035>
- García Romero, D. R. y Gómez Rey, L. M. (2019). *Propuesta ambiental para el plan de desarrollo del municipio de Chocontá Cundinamarca para el periodo 2020-2024* [Trabajo de Grado, Universidad Piloto de Colombia].
- Hammerschmiedt, T., Holatko, J., Kucerik, J., Mustafa, A., Radziemska, M., Kintl, A., Malicek, O., Baltazar, T., Latal, O. and Brtnicky, M. (2022). Manure maturation with biochar: Effects on plant biomass, manure quality and soil microbiological characteristics. *Agriculture*, 12(3), 1-17. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030314>
- Hernández-Lara, A., Ros, M., Cuartero, J., Bustamante, M. Á., Moral, R., Andreu-Rodríguez, F. J., Fernández, J., Egea-Gilabert, C. and Pascual, J. A. (2022). Bacterial and fungal community dynamics during different stages of agro-industrial waste composting and its relationship with compost suppressiveness. *Science Of the Total Environment*, 805. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150330>
- Izmaylov, A., Popov, V., Briukhanov, A., Kondratyev, S., Oblomkova, N. and Grevtsov, O. (2022). Quantification of nitrogen and phosphorus inputs from farming activities into the water bodies in the Leningrad and Kaliningrad regions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7), 508. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-10155-z>
- Kumar, S., Dey, A., Kumar, U., Kumar, R., Mondal, S. and Kumar, A. (2022). Location-specific integrated farming system models for resource recycling and livelihood security for smallholders. *Frontiers in Agronomy*, 4, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.938331>
- Lamidi, W. A. and Dada, J. O. (2023). Effect of oil palm bio-organic wastes on macro-propagation of some permanent crops' seeds. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 12(4), 643-654. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2023.1968034.1541>
- Lorenzo, P., Guilherme, R., Barbosa, S., Ferreira, A. J. and Galhano, C. (2022). Agri-food waste as a method for weed control and soil amendment in crops. *Agronomy*, 12(5), 1-18. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051184>
- Márquez-Caro, A., Borrero, C., Hernández-Muñoz, P. and Avilés, M. (2022). Use Optimization of Organic Wastes in Anaerobic Soil Disinfestation against Strawberry Charcoal Rot Root. *Horticulturae*, 8(9), 1-14. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090841>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Estrategia de ordenamiento de la producción. Cadena productiva de la papa y su industria*. <https://lc.cx/jG8Y8d>
- Ortega-Ramírez, A. T., Marín-Maldonado, D. F. y Castro, N. E. (2021). Problemas de la generación, disposición y tratamiento de los residuos sólidos en el municipio de Quibdó, Colombia. *Producción + Limpia*, 16(2), 179-196. <https://lc.cx/fNtho->
- Ortega Ramírez, A. T. y Sánchez Rodríguez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121-134. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/5343>
- Ortega Ramírez, A. T., Marín Maldonado, D. F. y Ochoa Rodríguez, E. D. (2019). Revisión general de la producción elevada de agua en la industria del petróleo. *Fuentes*, 17(2), 39-50. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/10313/10215>
- Qiu, Z., Paungfoo-Lonhienne, C., Ye, J., Gonzalez Garcia, A., Petersen, I., Di Bella, L., Hobbs, R., Ibanez, M., Heenan, M., Wang, W., Reeves, S. and Schmidt, S. (2022). Biofertilizers can enhance nitrogen use efficiency of sugarcane. *Environmental Microbiology*, 24(8), 3655-3671. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16027>
- Rombel, A., Krasucka, P. and Oleszczuk, P. (2022). Sustainable biochar-based soil fertilizers and amendments as a new trend in biochar research. *Science of the Total Environment*, 816. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151588>
- Scopus. (2023). Documents found. First round. <https://www.scopus.com/home.uri>
- Zapata, A. (16 de febrero de 2022). Se agrava crisis de la papa colombiana: 15.000 campesinos dejarían de cultivarla. *El Colombiano*. https://lc.cx/5iPvC_