



Evaluación de los parámetros operacionales para la obtención de celulosas mediante fermentación en estado sólido en biorreactores para la valorización de residuos orgánicos

Operational parameters evaluation for obtaining cellulases through solid-state fermentation in bioreactors for the recovery of organic waste

Laura Valentina Carrero Bautista

Lauracarrerob@campusucc.edu.co

Brayan Enrique Gómez Castro

brayangomez@campusucc.edu.co

Angélica María Santis Navarro

angelicasantisn@campusucc.edu.co

Universidad Cooperativa de Colombia

Resumen:

La generación de residuos sólidos producidos, principalmente, por las actividades diarias del hombre implica una problemática a nivel mundial. En Colombia se generan 7.549.093 toneladas al año de residuos sólidos orgánicos (DANE, 2016); en Cundinamarca, la producción de estos se encuentra alrededor de 0,7 kg/hab día (Castañeda-Torres & Rodríguez-Miranda, 2017). El departamento de Cundinamarca se caracteriza por presentar una participación significativa en la economía del país; una (1) de sus principales actividades es la agricultura, con cultivos como el plátano, los cítricos, la piña entre otros. A partir de la cantidad de residuos orgánicos de naturaleza vegetal, existen diferentes métodos para su valorización. Uno (1) de ellos es la fermentación en estado sólido (SSF). Este proceso aeróbico se aplica en condiciones de humedad y temperatura controlada para que los microorganismos crezcan y se reproduzcan. Con el fin de disminuir el impacto de los residuos en los ecosistemas, y contribuir con la economía circular, se evalúan los parámetros de operación en la valorización de algunos residuos sólidos orgánicos. Se realiza la SSF en cuatro (4) biorreactores a escala laboratorio; se utilizan dos (2) residuos (cáscaras de naranja y de plátano), con sus respectivos cosustratos (lodo y compost). Previamente, los sustratos y cosustratos son caracterizados para definir las mezclas de fermentación. Los resultados preliminares concluyen que el mejor comportamiento durante las fermentaciones se da en los reactores con cáscara de naranja y compost. A partir de ello, el siguiente paso, es la realización de los experimentos a una escala mayor.

Palabras clave: Residuos sólidos; fermentación; valorización; biorreactores; UNESCO.

Abstract

The solid waste generation, mainly produced by the daily activities of man implies a worldwide problem. In Colombia, 7.549.093 tons of organic solid waste are generated per year (DANE, 2016); in Cundinamarca their production is around 0.7 kg / person per day (Castañeda-Torres & Rodríguez-Miranda, 2017). The Cundinamarca's department characterizes by presenting a significant participation in the country economy, one (1) of its main activities is agriculture, with crops such as bananas, citrus, and pineapple, among others. Given the number of organic residues of a vegetable nature, there are different methods for its recovery; one (1) of them is Solid State Fermentation (SSF). This aerobic process realizes in controlled humidity and temperature conditions so that the microorganisms grow and reproduce. To reduce the impact of waste on ecosystems, and contribute to the circular economy, the operating parameters will be evaluate in the recovery of some organic solid waste. The SSF was carried out in four bioreactors on a laboratory scale, and two (2) residues were used (orange and banana peels), with their respective co-substrates (mud and compost). Previously, the substrates and co-substrates characterized to define the fermentation mixtures. Preliminary results conclude that the best performance during fermentations occurred in the reactors with orange peel and compost, from which the next step is to carry out the experiments on a larger scale.

Keywords: Solid waste; fermentation; recovery; bioreactors; UNESCO.

Introducción

Uno (1) de los temas más polémicos que genera gran preocupación a nivel mundial está relacionado con los residuos que se producen principalmente por la evolución de las actividades del hombre. Dentro de estas actividades se puede mencionar el consumo masivo, la falta de conciencia ambiental, la urbanización, el crecimiento y desplazamiento de las poblaciones, el cambio de patrones de consumo y el desarrollo económico. Según el informe del Banco Mundial (BM), la generación de desechos sólidos urbanos en el año 2016 fue aproximadamente de 2010 millones de toneladas con un promedio por habitante diario de 0,74 kilogramos (kg).

En este sentido, se evidencia que los mayores causantes de residuos son los países de altos ingresos (son el 16% de la población mundial); producen 683 millones de toneladas (ton) por año. En segundo lugar, está la población de ingresos medio alto con una cantidad de 655 millones ton/año; posteriormente, los de ingresos medio bajo con 586 millones ton/año. Finalmente están las poblaciones de bajos recursos compuestas por el 9% de toda la población mundial; solo generan 93 millones de toneladas al año (Kaza et al., 2018).

Adicionalmente, el aumento de residuos se debe a que los productos terminados no están diseñados para adaptarse al medio ambiente, es decir, una vez concluye su ciclo de vida son desechados. Por lo tanto, esto no contribuye con la economía circular que busca la integración de residuos con el desarrollo del entorno. Según lo establecido por el BM, los residuos sólidos a nivel internacional se clasifican así: comida (44%), papel y cartón (17%), plástico (12%), vidrio (5%), metal (4%), caucho y cuero (2%), igual que la madera, finalmente, un 14% que corresponde a otros materiales (Kaza et al., 2018).

En Colombia, particularmente, se puede observar un gran consumo y generación de desechos de tipo orgánico; gran parte proviene de la columna vertebral de nuestro sistema económico: la agricultura. Así, en el país el volumen de producción de los cultivos está distribuido de la siguiente manera: plátano (47%), cítricos (14%), piña (7%), banano (4%), aguacate (3%), mango (3%) y papaya (3%), para un total de 81%. En los sectores hortícolas son la papa, el tomate, cebolla cabezona, zanahoria y repollo; en conjunto equivalen al 93% (Cacua, 2016).

Por consiguiente, el aumento en los residuos orgánicos es proporcional a la cantidad producida. Pueden provenir de aquellos productos de la cosecha que no cumplen estándares de calidad necesarios para los procesos de comercialización, así como de los restos de parte del cultivo (bagazos, cáscaras); además de la limpieza realizada para preparar nuevas cosechas (podas, rastros) o para controlar y evitar plagas (Martín, 2017). Según el informe de disposición de residuos sólidos (realizado por la superintendencia de servicios públicos domiciliarios y el Departamento Nacional de Planeación), en el 2017 se produjeron aproximadamente 10.327.551 toneladas de residuos sólidos en todo el país. De allí, el principal contribuyente es la capital del país (Bogotá) con cerca de 2.255.565 toneladas.

Ahora bien, si se tiene en cuenta el departamento de Cundinamarca, se caracteriza por presentar una participación significativa en la economía del país. Dentro de sus principales actividades se encuentran la agricultura y la ganadería, la industria manufacturera (textil, metalúrgica y farmacéutica), el comercio, la minería y la construcción; el sector servicios uno de los más importantes. En cuanto al sector agroindustrial, la cantidad de residuos orgánicos de origen vegetal es bastante significativa; corresponde a 0,7 kg sobre habitante (hab) al día (kg/hab día) (Castañeda-Torres & Rodríguez-Miranda, 2017).

Entonces, a partir del modelo de producción manejado en el país se obtiene cierta cantidad de residuos orgánicos de naturaleza vegetal, generados en los departamentos; por su composición versátil y sus características como la alta cantidad de nutrientes, generación de pectina, fibra, molasas, D-limino, etanol, limonoides, flavonoides; resultan interesantes para la valorización y la obtención de compuestos que pueden ser destinadas a fines varios. Dentro de las diferentes tecnologías usadas para su valorización están los procesos de fermentación en estado sólido, por el que se pueden obtener diversas enzimas. Una (1) de ellas es la celulasa.

Las celulasas pueden ser útiles en diversas actividades tales como en la fabricación de biocombustibles; algunas fuentes celulósicas potencialmente utilizables son los desechos de la industria maderera (en forma de aserrín), los agrícolas (bagazos), y los domésticos (jardinería) (Martínez et al, 2008). Otro de sus usos es la producción de bioetanol a partir de abundante biomasa lignocelulósica. Se ha determinado que también pueden usarse para la alimentación animal; suplementan las enzimas insuficientes que produce el animal. El uso de estas enzimas permite incluir en las dietas alimentos alternativos y de bajo costo. Entre las principales enzimas se pueden encontrar las xilanasas, celulasas, pectinasas, amilasas, tanasas y fitasas. Las anteriores enzimas pueden obtenerse a partir del proceso de fermentación en estado sólido (SSF) (Thomas et al, 2013; Godoy et al., 2018).

El presente trabajo de investigación evalúa parámetros operacionales para la producción de celulasas a través de procesos de SSF. Parte de residuos de naranja y plátano como sustratos principales. En la siguiente sección se detallan los sustratos y cosustratos utilizados, su procedencia y los métodos empleados para la caracterización de éstos. Asimismo, se detalla el procedimiento empleado para la fermentación; más adelante, se discuten los resultados obtenidos.

Metodología

Los sustratos utilizados durante la fermentación corresponden a cáscaras de plátano (P) y cáscaras de naranja (N). Como cosustrato se utilizaron un lodo deshidratado (L) que provenía de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Madrid (Cundinamarca) y un compost (C) adquirido en un vivero de la ciudad. Todos los sustratos utilizados en la experimentación fueron caracterizados fisicoquímicamente, y se determinaron los contenidos de humedad (H), sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), materia orgánica (MO) y nitrógeno Kjeldahl (NTK). Para la caracterización se utilizaron los siguientes métodos: para Sólidos Totales (ST) de acuerdo con el método estándar 2540B (APHA), Sólidos Volátiles (SV) con el método D3174 de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) y el Nitrógeno Kjeldahl (NTK) según D1426-15 de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM).

Una vez caracterizados los sustratos se dispusieron en cuatro (4) biorreactores aireados (caudal: 1l/min) en escala laboratorio, con un volumen de operación de un (1) litro (l). Se añadió madera como material estructurante, para dar porosidad a la mezcla de fermentación. Cada reactor estaba provisto de un aislamiento en icopor para evitar las pérdidas de calor. La proporción de las mezclas sustrato-cosustrato para todos los reactores fue de 1:1, y se definieron así: naranja: lodo (N+L), naranja:compost (N+C), plátano:lodo (P+L), plátano: compost (P+C). Durante la experimentación se hizo seguimiento de las variables temperatura, pH y consumo de oxígeno. Una vez la fermentación alcanzó la temperatura en grado termófilo (a partir de 45°C), se tomó la muestra, y se determinó el contenido de proteína total, a partir del método de Bradford (Bradford, 1976).

Resultados y discusión

Para realizar el experimento, se inició con una revisión documental. Los resultados permitieron escoger dos (2) residuos que por su cantidad y disponibilidad fueron los más convenientes para el trabajo. Dichos residuos fueron cáscaras de plátano y cáscaras de naranja.

Previamente a la realización del montaje experimental, se realizó la caracterización de los residuos (Tabla 1); se determinó la composición y características esenciales de cada uno de los sustratos. Es de resaltar que, durante la fermentación, es necesario la elección de una fuente energética o de carbono adecuado y disponible para el crecimiento de los microorganismos.

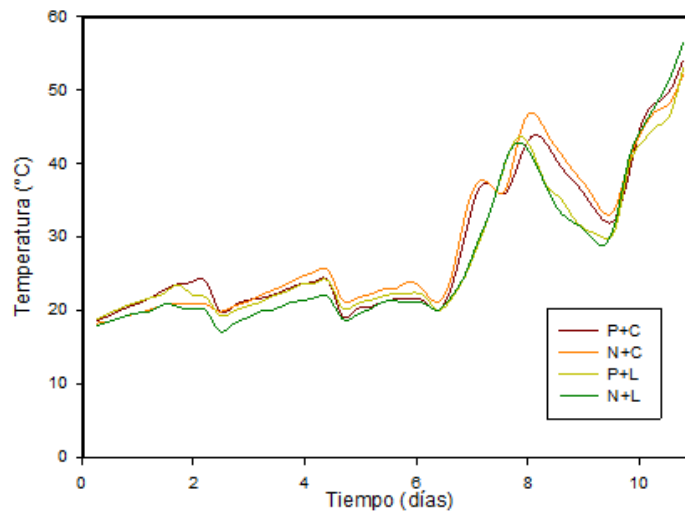
Tabla 1. Caracterización de Residuos Sólidos Orgánicos

	Compost	Naranja	Lodo	Madera	Plátano
Humedad (%)	19,9053	83,1266	62,485	7,8273	86,0419
Desv. Estándar	0,2389	1,4051	11,3508	0,1453	0,7402
Sólidos Totales (%)	80,0947	16,8734	37,515	92,1727	13,9581
Desv. Estándar	0,2389	1,4051	11,3508	0,1453	0,7402
Materia Orgánica (%)	71,5932	95,8499	28,254	98,8986	85,8848
Desv. Estándar	6,0498	0,2229	5,7852	0,1972	1,1039
Sólidos Volátiles (%)	57,333	16,1729	10,1622	91,1574	11,9917
Desv. Estándar	4,6715	1,3446	1,42	0,1377	0,7551
Carbono (%)	41,5274	55,5974	16,3887	57,3658	49,8172
Desv. Estándar	3,5092	0,1293	3,3557	0,1144	0,6403
Nitrógeno (%)	1,2505	0,9986	1,7687	0,4988	1,2455
Desv. Estándar	0,0172	0,0189	0,1778	0,0168	0,1692

Fuente: Elaboración Propia

Según la información obtenida en la caracterización de los residuos, se observó que los residuos escogidos (naranja y plátano) poseen importantes contenidos de carbono 55,6% y 49,8% respectivamente. Asimismo, el nitrógeno también es un factor importante para el crecimiento de los microorganismos, por lo que una adecuada relación C/N favorecerá la fermentación. Las relaciones C/N para todas las mezclas de fermentación fueron 43,2:1 (N+C), 26,0:1(N+L), 22,0:1 (P+L), 36,6:1 (P+C). Además, hay que considerar que el exceso en uno (1) de estos componentes podría hacer que el proceso se calentara de manera irregular (exceso de nitrógeno) o se ralentizara y empezara a enfriarse (exceso de carbono) (Román et al., 2013). Lo anterior, puede repercutir en que al tener una formulación adecuada de la C/N y no en exceso para la mezcla, implicaría un aumento en la producción del producto deseado y el no desperdicio de materiales.

Definidas las características de los sustratos y cosustratos, y las proporciones de las mezclas, se procedió a realizar la fermentación y se fue observando su evolución. Inicialmente, se pudo analizar el comportamiento que presentaba la flora microbiana durante su proceso de asimilación de la materia orgánica presente en los sustratos. Dicho comportamiento se pudo visualizar a través de los cambios presentados en la temperatura al interior de los reactores. De manera que la fermentación inició con una temperatura de 18.6°C; en la medida que los microorganismos se alimentaban de la materia orgánica (degradando sustratos simples) existente en los biorreactores, se consiguió un aumento progresivo de la temperatura, por la liberación de energía producto de la actividad metabólica (Figura 1).

Figura 1. Resultados de la Temperatura

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, se llevó a cabo el proceso de aireación y donde a través de un control estandarizado, se aplicaba un caudal de aire de un (1) l/min y se habilitaron periodos de inyección para el ingreso de aire en los biorreactores por medio de una electroválvula controlada por un temporizador. Los periodos se fueron ajustando de acuerdo con las necesidades de los reactores y, luego de las diferentes pruebas se dispusieron de cinco (5) minutos por cada hora; su función fue permitir el paso del aire favoreciendo los procesos de transferencia de masa a niveles interparticular (transferencia de oxígeno y eliminación de CO_2) y intraparticular (difusión de nutrientes y degradación de los sustratos sólidos) (Pastrana, 1996; Pandey et al. 2008; Thomas et al., 2013).

Se puede observar que el crecimiento de la temperatura es constante durante los periodos de vigilancia donde se verificaban las condiciones de cada reactor, y se podía revisar el caudal constante de 1 l/min en intervalos de 15 a 20 minutos. Sin embargo, se presentan picos de disminución de la temperatura que obedecen

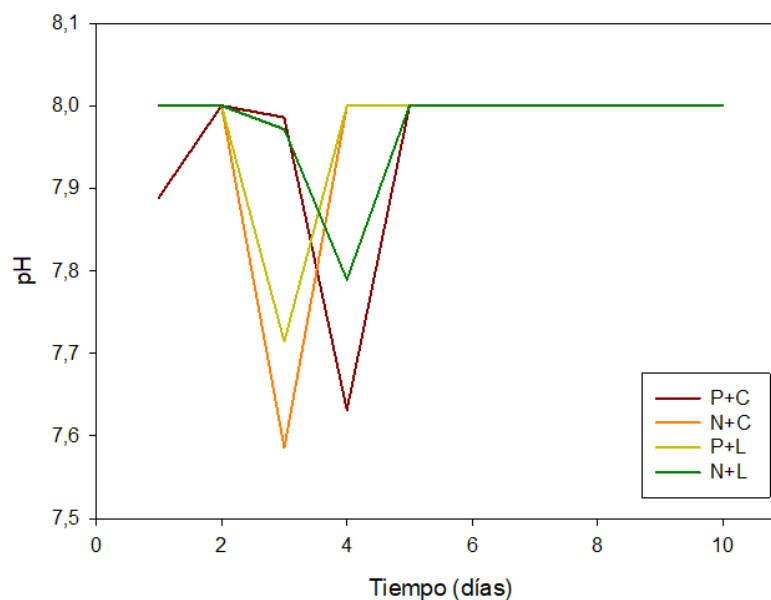
a la falta de supervisión durante horas nocturnas, en donde el aire inyectado en cada reactor presentaba pequeñas variaciones. A pesar de dichas variaciones, se procuró la aplicación del aire a los reactores puesto se hacía indispensable garantizar las condiciones para que los microorganismos vivieran y realizaran su actividad metabólica. De acuerdo con el comportamiento de los biorreactores en la fase mesófila se puede apreciar que el promedio de la temperatura de los biorreactores P+C, N+C, P+L y N+L fueron de 28,68, 29,12, 27,64 y 26,97 grados Celsius respectivamente, con una desviación del 9,98, 10,17, 9,14 y 10,38. La desviación obtenida resulta ser amplia, el proceso no fue controlado ni analizado en el transcurso de la noche, por tanto, se generan estos valores tan sesgados.

La presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos; es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células; además, los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso (Márquez et al., 2008). En las fermentaciones aeróbicas, la humedad óptima se encuentra entre el 50% y 60%; para el caso de la experimentación realizada se ajustaron (hasta un 52%) con pequeñas adiciones de agua, a las mezclas iniciales de fermentación. Se debe considerar que tener la humedad por debajo de 40% indica una reducción en la velocidad de la fermentación.

Además, se adicionó madera como material estructurante, para proporcionar porosidad a la mezcla de fermentación. Con ello se pretendió, por una parte, garantizar el transporte de nutrientes dentro de la matriz sólida y así satisfacer las necesidades nutricionales de la población microbiana. Por otra parte, se intentó proporcionar una estructura física adecuada (espacios vacíos intra e interpartículas) en el lecho del biorreactor, para la transferencia de gases y eliminación del calor metabólico. Todos estos procesos de transferencia de masa y calor son un factor determinante en el crecimiento de los microorganismos (Casciadori et al., 2014; Karimi et al., 2014; Pessoa et al., 2019).

Otra de las variables observadas durante el proceso de fermentación fue el pH. Mediante su seguimiento se pudo obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla; si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas, se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH (Márquez et al, 2008). A partir de lo anterior, es posible observar que existe una relación entre el pH – aireación – microorganismos; se deduce que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos, entonces, si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso es síntoma de una buena descomposición (Márquez et al, 2008). Durante la experimentación, desde su inicio hasta el final, el promedio manejado por todos los biorreactores fue un pH básico, entre 7 y 8. Dicho comportamiento es evidenciado en la Figura 2.

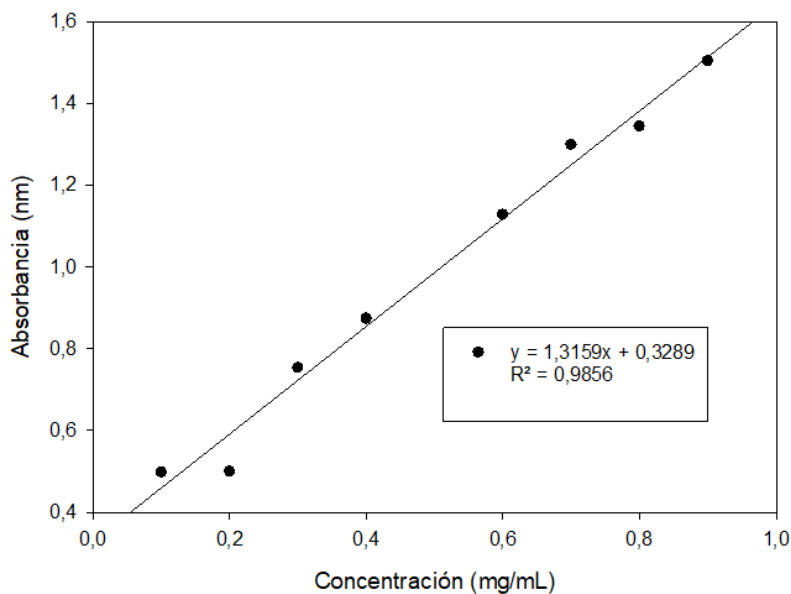
Figura 2. Resultados del pH



Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizada la fermentación, y analizadas las diferentes variables a lo largo del proceso, se procedió a cuantificar la concentración de las proteínas en las muestras de sustratos tratadas. Para ello se recurrió al uso del método de Bradford; se construyó una recta de calibración siguiendo el método mencionado, ilustrado en la Figura 3.

Figura 3. Cuantificación de Proteínas Totales por el método de Bradford



Fuente: Elaboración Propia

La muestra tomada para el análisis de cuantificación de proteínas se realizó cuando los reactores estaban en el rango de temperatura correspondientes a la fase termófila. Dicha fase comienza cuando el material alcanza una temperatura de 40 °C, caracterizada por una mayor actividad microbiológica (Tortarolo et al, 2008); entonces, al alcanzar esta fase se tomaron las muestras y se detuvo la

fermentación. A las muestras elegidas de las diferentes fermentaciones se les hizo el tratamiento y se midió la absorbancia de cada una (para determinar su concentración según la recta de calibrado). Los valores de concentración se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Concentración de proteína de las mezclas

Muestra	Concentración (mg/mL)
Plátano + Lodo	0,377
Naranja + Lodo	0,397
Naranja + Compost	0,543
Plátano + Compost	0,543

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos del análisis de concentración de proteína permitieron observar que las mezclas que tenía el compost como cosustrato eran las mejores. Sin embargo, al ser similares los valores obtenidos, no eran determinantes para la elección del sustrato a emplear. Entonces, a partir de los resultados obtenidos de las mezclas con lodo, se determinó que la naranja (N) sería el sustrato a utilizar en fermentaciones posteriores, puesto tenía un valor un poco más alto respecto a las mezclas con cáscaras de plátano.

Conclusiones

En principio, se evidenció la importancia de las diferentes variables (temperatura, pH, aireación) en el proceso de fermentación. Asimismo, durante la elaboración de las fermentaciones, y la determinación de las proteínas, se llegó a la definición de las parejas de sustrato – cosustrato; estas se usarán con miras a las futuras experimentaciones. Si bien los resultados de concentración de proteína de las mezclas (dónde el cosustrato era el compost) tenían un comportamiento similar (0,543 mg/mL); las muestras dónde el cosustrato era el lodo fueron determinantes para definir como sustrato a estudiar la naranja, naranja y lodo deshidratado (N+L) presentó una concentración mayor con respecto a plátano y lodo deshidratado (P+L). Tal análisis llevó a la conclusión de que la mezcla naranja – compost (N+C) presenta el mejor comportamiento.

Actualmente, se realizan pruebas a escala piloto con reactores de cinco (5) litros; además, se están testeando nuevas relaciones sustrato – cosustrato con el fin de obtener un proceso con mayores rendimientos a nivel de la cantidad de proteína total. Una vez se tengan definidas las mejores características de fermentación en esta escala, se realizarán los ensayos pertinentes para determinar la proteína específica (celulasa).

Por último, se deberá incluir el contraste de resultados con otros estudios y se resaltarán los principales aportes de la investigación. De otro lado, se deberán presentar las limitaciones y posibles aspectos que impactaron el desarrollo de la investigación; asimismo, se entregará un conjunto de recomendaciones relacionadas con las conclusiones obtenidas.

Referencias bibliográficas

- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), pp. 248-254.
- Cacua, L. (2016). *Análisis del manejo de residuos sólidos agrícolas en la Nueva Sexta, Cúcuta, Norte de Santander: una propuesta de mejoramiento ambiental*.
- Casciadori, F., Laurentino, C., Taboga, S., Casciadori, P., & Thoméo, J. (2014). Structural properties of beds packed with agro-industrial solid by-products applicable for solid-state fermentation: experimental data and effects on process performance. *Chemical Engineering Journal*, 255, pp. 214-224.
- Castañeda-Torres S, Rodríguez-Miranda JP. Modelodeaprovechamientosustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. (2017). *Rev Univ. Salud*;19(1):116-125. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171901.75>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. [DANE]. (2016). Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria: El cultivo de la naranja Valencia (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) y su producción como respuesta a la aplicación de correctivos y fertilizantes y al efecto de la polinización dirigida con abeja *Apis mellifera*. Número 52.
- Godoy, M., Amorim, G., Barreto, M., & Freire, D. (2018). Agricultural Residues as Animal Feed: Protein Enrichment and Detoxification Using Solid-State Fermentation. *In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 235-256). Elsevier. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_oct_2016.pdf
- Karimi, A., Shojaosadati, S., Hejazi, P., Vasheghani-Farahani, E., & Hashemi, M. (2014). Porosity changes during packed bed solid-state fermentation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(6), pp. 4022-4027.

- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. The World Bank.
- Márquez, P., Blanco, M., & Capitan, F. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje. *Compostaje*, 93.
- Martín García, N. (2017). Análisis del ciclo de vida de la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos agrícolas.
- Martínez-Anaya, C., Balcázar-López, E., Dantán-González, E., & Folch-Mallol, J. (2008). Celulasas fúngicas: Aspectos biológicos y aplicaciones en la industria energética. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 50(3-4), pp. 119-131.
- Pandey, A., Soccol, C., & Larroche, C. (Eds.). (2008). *Current developments in solid-state fermentation*. Springer Science & Business Media.
- Pastrana, L. (1996). Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria. *CYTA-Journal of Food*, 1(3), pp. 4-12.
- Pessoa, D., Finkler, A., Machado, A., Mitchell, D., & de Lima Luz Jr., L. (2019). CFD simulation of a packed-bed solid-state fermentation bioreactor. *Applied Mathematical Modelling*, 70, pp. 439-458.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*.
- Thomas, L., Larroche, C., & Pandey, A. (2013). Current developments in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 81, pp. 146-161.
- Tortarolo, M., Pereda, M., Palma, M., & Arrig, N. (2008). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ciencia del suelo*, 26(1).