





APLICACIÓN DE UN NANOBIOFERTILIZANTE QUE POTENCIE EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS DE ARROZ

APPLICATION OF A NANO FERTILIZER THAT ENHANCES THE DEVELOPMENT OF RICE CROPS

| | |
|---|-----------------------------------|
|  | Coloma Coloma Tonny Wellington |
|  | Villa Sánchez Fabiola Elena |
|  | Baque Manzaba Andrea Stefania |
|  | Pacheco Pincay Alexandra Veronica |

¹ Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador.

RESUMEN

Las nanopartículas hoy en día cumplen un rol muy importante tanto a nivel industrial, en investigaciones y en desarrollo científico. En este trabajo se sintetizaron nanopartículas de óxido de zinc con el objetivo de crear un nanobiofertilizante que nos permita potenciar el desarrollo de los cultivos de arroz (*Oriza sativa*). Se sintetizaron NpsZnO por el método sol-gel, se emplearon como precursores el acetato de zinc ($Zn(O_2CCH_3)_2$), etanol (C_2H_5OH) e hidróxido de sodio (NaOH), el acetato de zinc (8g) se disolvió en metanol (100ml) a 60°C. Se agregó gota a gota hidróxido de sodio (NaOH) teniendo como temperatura ideal de formación 80°C, se caracterizó por espectroscopia infrarrojo y espectroscopia UV-visible en lo cual mostraron la formación de esta, las NpsZnO fueron incorporada a un biofertilizante casero en diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc (0,3; 0,4;0,5). La respuesta de los nanobiofertilizantes varía considerablemente, dependiendo de la concentración de las nanopartículas, el tratamiento 1 (0,3 NpsZnO) produjo los mejores resultados, al influenciar positivamente en las plantas, las mismas que respondieron con mayor crecimiento y desarrollo, una altura de 66cm, mayor número de tallo por planta, mejor pH y coloración verdosa, y además favoreció de forma positiva el nivel nutricional del suelo.

Palabras clave: *Nanotecnología, Biofertilizante, Nanopartículas, Nano biofertilizante, Cultivos.*

ABSTRACT:

Nanoparticles today play a very important role both at the industrial level, in research and in scientific development. In this work, zinc oxide nanoparticles were

synthesized with the aim of creating a nanobiofertilizer that allows us to enhance the development of rice crops (*Oriza sativa*). NpsZnO were synthesized by the sol-gel method, zinc acetate ($Zn(O_2CCH_3)_2$), ethanol (C_2H_5OH) and sodium hydroxide (NaOH) were used as precursors, zinc acetate (8g) was dissolved in methanol (100ml) at 60°C. Sodium hydroxide (NaOH) was added dropwise, having an ideal formation temperature of 80 °C, it was characterized by infrared spectroscopy and UV-visible spectroscopy in which they showed its formation, the NpsZnO were incorporated into a homemade biofertilizer in different concentrations of zinc oxide nanoparticles (0.3; 0.4; 0.5). The response of the nanobiofertilizers varies considerably, depending on the concentration of the nanoparticles. Treatment 1 (0.3 NpsZnO) produced the best results, positively influencing the plants, which responded with greater growth and development, a height of 66cm, greater number of stems per plant, better pH and greenish coloration, and also positively favored the nutritional level of the soil

Keywords: *Nanotechnology, Biofertilizer, Nanoparticles, Nano biofertilizer, Crops.*

1. INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de la población demanda alimentos y otros insumos [1], por lo cual investigadores agrícolas buscan innovar y generar tecnología para producir la cantidad y calidad de comida suficiente para satisfacer la urgente demanda de alimentos [2]. A nivel mundial, la producción agrícola adolece de la escasa eficiencia de los fertilizantes actualmente disponibles [3], lo cual con lleva a buscar nuevos métodos y técnicas para mejorar estos fertilizantes por

productos más eficientes y menos dañinos con el suelo, los cultivos y el medio ambiente [4].

La nanotecnología es una de las tecnologías emergentes de las últimas décadas representando una de las revoluciones tecnocientíficas más intrigantes jamás desencadenadas por el ser humano [5]. Se encuentran hoy en los más variados sectores de producción y comercialización, trayendo características y propiedades innovadoras y sin precedentes en la historia científica de la humanidad [6], la incorporación de nanotecnología en el diseño y fabricación de fertilizantes innovadores es una estrategia con potencial para aumentar significativamente la producción de los cultivos y fomentar el desarrollo de una agricultura rentable, para, de esta manera, alimentar a la población mundial, la cual presenta una tasa alta de crecimiento [7].

La Nanotecnología es el diseño, caracterización y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a escala nanométrica [8] Reportes recientes señalan que diversas NPs metálicas mejoran significativamente el crecimiento de las plantas y tienen el potencial de ser usadas como nanofertilizantes para incrementar la productividad agrícola [9]

Otra de las tecnologías es la aplicación de la biofertilización. Los biofertilizantes son preparados de microorganismos aplicados al suelo y/o planta con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética, así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos [10].

El uso de biofertilizantes en la agricultura trae ventajas ambientales y económicas, ya que satisfacen las necesidades nutricionales de los cultivos. Sin embargo, su dosificación debe ser vigilada porque pueden alterar los índices de nitrógeno, fósforo y potasio por sus altos contenidos de origen [11].

Uno de los alimentos actualmente demandado es el arroz [12]. El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales cultivos de nuestro país, constituye el alimento básico para más de la mitad de la población del planeta [13].

En los países de América del Sur y el Caribe, es la principal fuente energética de la población de bajos ingresos [14]. Muchos factores afectan la cantidad y calidad de la cosecha de arroz, siendo el más importante la fertilización [15].

Los nutrientes son necesarios para que la planta de arroz cumpla su función metabólica [16] son conocidos como elementos minerales los cuales se dividen en dos grupos importantes macronutrientes y micronutrientes [17] en el caso del arroz el 75% está conformado por los macronutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S) y Silicio (Si), mientras que el 25 % lo conforma los micronutrientes: Boro, Hierro, Sodio, Cloro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Molibdeno, Cobalto, Flúor y Selenio [18].

El zinc tiene una función esencial en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas, así como en el control de la hormona del crecimiento vegetal [19], La aplicación foliar de este micronutriente en forma nanométrica es una práctica valiosa debido a la pequeña cantidad requerida, no tiene contacto directo con el suelo y evita pérdidas durante la fijación [20].

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue elaborar y caracterizar nanopartículas de óxido de zinc e incorporarla a un biofertilizante orgánico para su aplicación y evaluación en el desarrollo de los cultivos de arroz, se espera que el nanobiofertilizante mejore significativamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como la eficiencia del uso de las plantas, y reduzcan las pérdidas de nutrientes, los impactos ambientales adversos, la frecuencia de aplicación y los costos de mano de obra.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación y análisis de la muestra (suelo)

La muestra de suelo fue obtenida en el primer semestre del 2022, ubicado en el recinto San Bartolo, canto Jipijapa de la provincia de Manabí – Ecuador, la región cuenta con una temperatura promedio de 28°C, precipitación de 424mm, Humedad relativa de 80%, la muestra fue colocada en una bolsa de plástico y transportada al laboratorio para su inmediato procedimiento de análisis.

Los parámetros evaluados fueron los macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre) y micronutrientes (Boro, Hierro, Sodio, Cloro, Aluminio, Manganeso, Cobre, Zinc, Molibdeno, Cobalto, Flúor y Selenio), pH y fertilidad, la metodología establecida por el laboratorio y por las normativas INEN “Instituto Ecuatoriano de Normalización”.

2.2. Elaboración del Biofertilizante

Para la producción del biofertilizante se utilizó desechos

orgánicos domésticos clasificados y seleccionado acorde a los resultados nutricionales obtenidos por la muestra de suelo analizada, los desechos seleccionados fueron colocados en un biodigestor casero (balde plástico acondicionado), se adicionó leche y melaza como activadores de la fermentación, este proceso tuvo una duración de 30 días, transcurrido este tiempo se procedió a filtrar y almacenar el producto obtenido.

2.3. Obtención de las nanopartículas de Óxido de zinc

Para la síntesis del ZnO_2 por la técnica de sol gel se emplearon 9g de acetato de zinc $Zn(CH_3COO)_2$ el cual se disolvió en 100ml de metanol bajo agitación continua. Se agregó a la solución Hidróxido de sodio NaOH gota a gota, después de completar la dosificación, con una agitación constante durante 2 horas manteniendo la temperatura constante de $80^\circ C$. se obtuvo un sol homogéneo y transparente que luego fue filtrado y secado a $75^\circ C$ por 5 horas.

Para la caracterización se usó la técnica de espectroscopia UV-Visible con longitudes de ondas de 300 a 1000 nanómetros, la cual permitió comprobar la formación de las nanopartículas de óxido de zinc y conocer la banda de pico de absorción de longitud de onda máxima, también se empleó la espectroscopia Infrarrojo con el objetivo de confirmar la presencia de las nanopartículas de óxido de zinc sintetizadas por el método sol-gel.

2.4. Elaboración del Nanobiofertilizante

Una vez obtenido el biofertilizante y las nanopartículas de óxido de zinc, se procederá a incorporar las nanopartículas en el biofertilizante de la siguiente forma: se disolvió 100 ml de biofertilizante orgánico en 1000 ml de agua. De la solución obtenida se tomará 600 ml en la cual se distribuirá en 3 partes iguales, por cada 200 ml se incorporará 0.3 g, 0.4 g, 0.5 g de nanopartícula de óxido de zinc correspondiente.

2.5. Aplicación del Nanobiofertilizante en campo.

Se realizó la primera aplicación con biofertilizante como abono inicial a los 8 días del sembrío, posterior a los 15 días se aplicó a las tres muestras (m1, m2, m3) los nanobiofertilizantes con concentraciones de 0,3; 0,4; 0,5 respectivamente con una dosificación de 50ml y a nuestra muestra en blanco se la trató con fertilizante tradicional.

Después de los 15 días de la primera aplicación se realizó la segunda dosificación con 70 ml de

nanobiofertilizante, y en secuencia a los 21 días después se le aplicó una última dosificación de 80 ml de este.

El muestreo se realizó cada semana dependiendo del desarrollo de la planta de arroz, se controló como parámetros de medición el pH, altura, temperatura, número de macollo, fertilidad del suelo y la coloración de las hojas.

Durante la evaluación del desarrollo de los cultivos de arroz la temperatura ambiental oscilaba entre los $18^\circ C$ a $29^\circ C$, los huertos estaban situados en una zona fresca y seca con buena exposición solar.

Tabla 1. Dosificación para cada muestra.

| Muestra | Repetición | Concentración | Dosis biofertilizante | Dosis |
|---------|------------|---------------|-----------------------|-------------------|
| MB | 4 | Normal | N/A | Normal |
| T1 | 3 | 0.3 | 50 ml | 50ml, 70ml, 80ml |
| T2 | 3 | 0.4 | 50ml | 50 ml, 70ml, 80ml |
| T3 | 3 | 0.5 | 50ml | 50ml, 70ml, 80ml |

Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de las nanopartículas de óxido de zinc.

Para la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc se usó el método Sol Gel, la pureza y la estructura de la muestra obtenida se determinaron mediante espectroscopia UV-Visible e infrarroja.

La figura 1 muestra los espectros UV-Vis para la condición de síntesis empleando acetato de zinc como precursor, temperatura de $80^\circ C$ y tiempo de reacción de 2 horas. Se puede observar una banda de absorción de 380 nm, similar resultado fue encontrado por Yohannes Abdissa [21], además, ha sido reportado que la banda de absorción del ZnO en estado masivo se encuentra a 385 nm [22].

3.2. Composición nutricional del nanobiofertilizante



Figura 1 Espectroscopia UV-Vis de $NpZnO$ sintetizada por el método Sol-Gel.

La figura 2 muestra el espectro IR del ZnO sintetizado. En el espectro se observan diferentes bandas, correspondientes a distintos grupos funcionales que se dan durante la formación del ZnO. La muestra presenta picos de absorción en el rango de 3360,35 cm⁻¹; 1545,67 cm⁻¹; 1389,46 cm⁻¹; 1336,43 cm⁻¹; 1018,23 cm⁻¹; 675,928 cm⁻¹; 616,145 cm⁻¹; 421,37 cm⁻¹. El pico de absorción a 421,6 cm⁻¹ corresponde al modo de vibración metal-oxígeno (estiramiento del ZnO). Los picos 1018,23 cm⁻¹; 1336,43 cm⁻¹; 1389,46 cm⁻¹ atribuyen a la flexión o vibración en el plano del alcohol primario y secundario. El pico 1545,67 cm⁻¹ demuestra los modos de vibración de compuestos nitro aromáticos y alquilo. El pico 3360,35 cm⁻¹ representa las vibraciones de estiramiento de los componentes de hidroxilo, analizando los datos obtenidos podemos decir que los número de onda pertenecen a los grupos

funcionales que se encuentra presenta en la formación del óxido de Zinc.

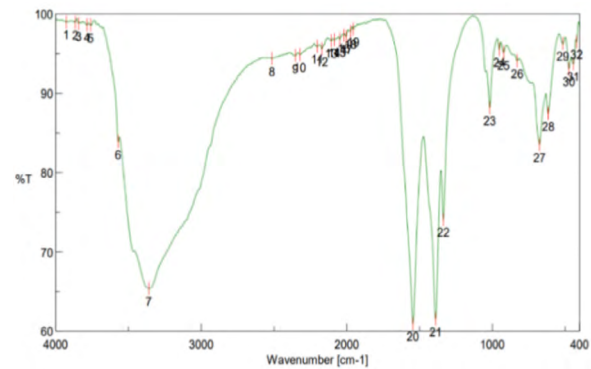


Figura 2 Espectroscopia FT-IR de NpZnO sintetizada por el método Sol-Gel.

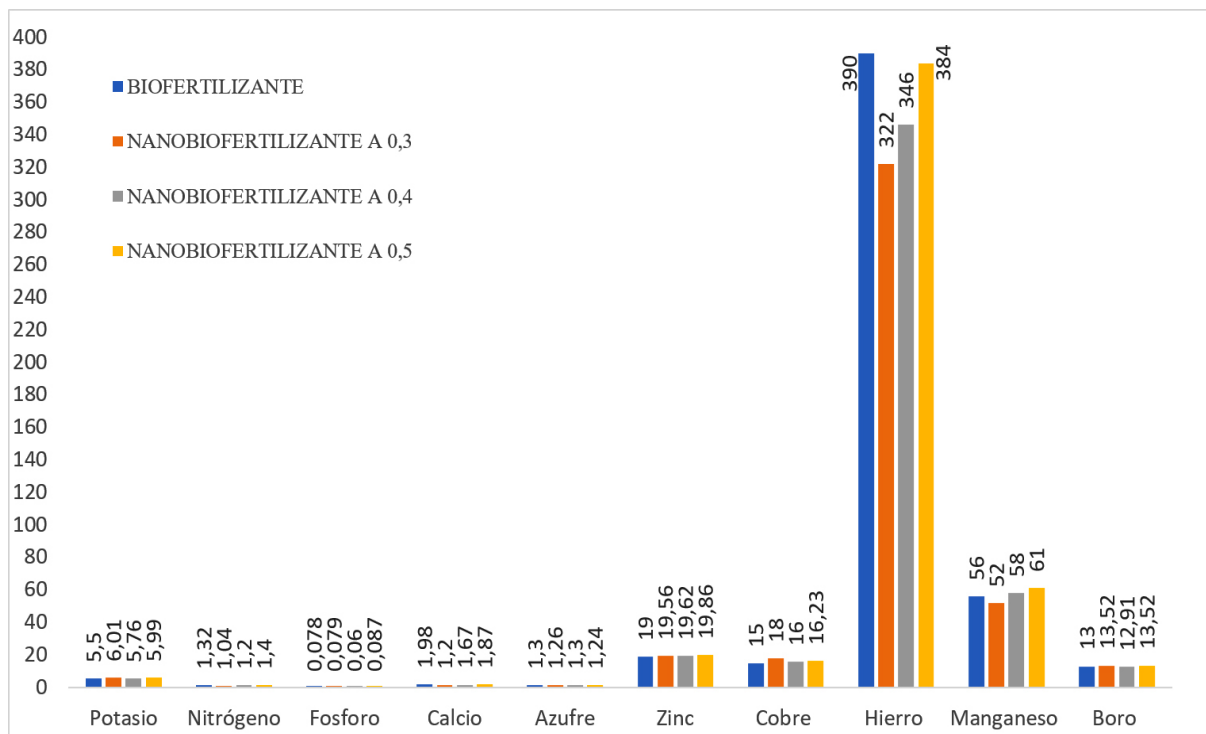


Figura 3 Composición nutricional del biofertilizante y el nano biofertilizante a diferentes concentraciones.

En la **Figura 3** muestra los análisis de 4 biofertilizante con y sin nanopartículas de óxido de zinc mostrando diferencias significativas en la composición nutricional.

El fósforo (P) al ser uno de los macronutrientes más importante y esenciales, se clasifica como nutriente primario en el crecimiento, reproducción e interviene en el proceso de la fotosíntesis, la concentración del fósforo (p) en los nanobiofertilizante y biofertilizantes analizados presenta diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

El potasio (K) elemento relacionado en el proceso de la fotosíntesis aumenta la resistencia de las plantas en condiciones adversas, sin embargo, en los análisis podemos visualizar una pequeña diferencia significativa del nanobiofertilizante a concentración de 0,3M con referencia a la similitud de las otras tres muestras restante.

Tanto el nitrógeno (N), Calcio (Ca) y Azufre (S) mantuvieron un rango de similitud para todas las muestras analizadas. El Zinc (Zn) al ser nuestro elemento principal como objeto de estudio se pudo

notar que tanto para el biofertilizante con y sin nanopartículas de óxido de zinc reflejo pequeñas variaciones.

Por otro lado, los elementos presentes en el biofertilizante y nanobiofertilizante con mayor cantidad fueron el hierro (Fe), el cobre (Cu), manganeso (Mn) y boro (B), los cuales no presentaron diferencias significativas en sus resultados

3.3 Medición de Variable – Altura

La **figura 4** muestra el crecimiento secuencial de las plantas durante los 60 días que duró la evaluación con nanobiofertilizante frente a un fertilizante convencional. Durante las dos primeras semanas no se notaron cambios visibles en su altura, lo cambios comenzaron a ser visible con cada dosificación de nanobiofertilizante.

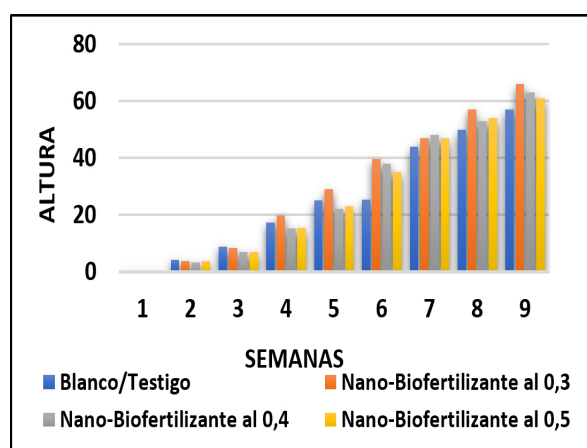


Figura 4 Comparación de las alturas de los cultivos frente a sus diferentes tratamientos.

Los datos obtenidos en la Tabla 2 muestra los resultados del análisis de varianza ANOVA de las siguientes variables analizadas: testigo vs tratamiento 1 (T1), tratamiento 2 (T2) y tratamiento 3 (T3) referente a la última semana de muestreo y análisis, en el cual se puede apreciar que el valor F calculado con los datos obtenidos detalla lo siguiente: T1 es significativo en comparación a los otros tratamientos con un valor de 93.46, los datos obtenidos en el análisis de los coeficientes de modelo estimado (p-value) posee un valor de $2,165 \times 10^{-6}$ el cual es inferior a 0.05 que nos indica que el tratamiento es adecuado para de desarrollo de los cultivos de arroz, además el coeficiente de determinación R^2 nos expone el valor de la varianza que es la respuesta ante lo que se debe cumplir que en todos los casos sean mayor a 0.05 obteniendo un resultado de 2, concluyendo que el T1 es el adecuado en todos los casos.

Tabla 2. Resultado de los tratamientos aplicado al cultivo de arroz.

| Tratamiento | n | Media | Std. Desv | CV% | R^2 | Valor F | Valor P |
|-------------|---|-------|-----------|------|-------|---------|------------------------|
| T1 | 9 | 66 | 1,78 | 2,69 | 0,98 | 93,46 | $2,165 \times 10^{-6}$ |
| T2 | 9 | 63 | 1,89 | 3,20 | 0,97 | 38,57 | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| T3 | 9 | 61 | 1,67 | 2,73 | 0,97 | 20 | $1,19 \times 10^{-3}$ |

Nota: El siguiente análisis expone los resultados entre cada uno de los tratamientos frente al testigo (Blanco). Donde: Media=Valor medio de las repeticiones de la capacidad antimicrobiana; Std. Dev= Desviación estándar; CV= coeficiente de variación de la capacidad antimicrobiana; R^2 = coeficiente de determinación.

Otras de las variables más importante que se monitorio fue la temperatura la cual se encontró entre los rangos de 18°C y 30°C

3.4. Medición de pH del cultivo.

Otro factor importante por considerar es el pH el cual está directamente relacionado con la absorción de nutrientes en las plantas; el pH ideal en una solución de nutrientes se encuentra en el rango de 6 y 7, mayor a 7 dificulta su proceso de absorción de lo mismo.

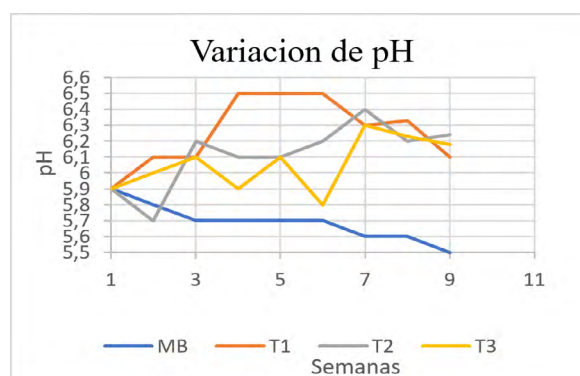


Figura 5 Comparación de la variación de pH durante la fertilización.

En la Figura 5 muestra las variaciones de pH ante y después de la fertilización con nanobiofertilizante, sin embargo estas variaciones no sobrepasaron los rangos establecidos para los cultivos de arroz; mostrando así que la población de cultivo que fue tratada con una concentración de 0,3 g/mL (T1) presento un promedio de 6,3 en su pH; la población tratada con 0,4 g/mL (T2) tuvo un promedio de 6,1 y la tratada con 0,5g/mL (T3) presento 6,1 a comparación de la muestra testigo (MB) que presento una disminución de pH de 5,9 inicial a 5.7.

3.5. Caracterización fisicoquímica del suelo antes y después de la fertilización.

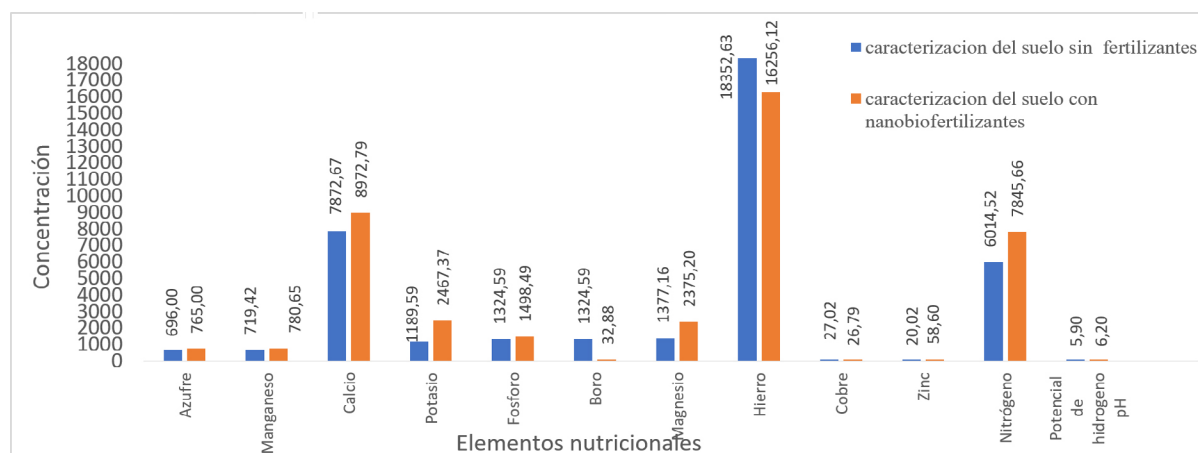


Figura 6 Caracterización del suelo antes y después de la fertilización.

En la **figura 6** se muestra la caracterización del suelo antes y después del proceso de fertilización con nanobiofertilizante, donde podemos observar como punto importante el control del pH, el cual en su inicio fue de 5,90 siendo un rango no adecuado para estos tipos de cultivo, sin embargo, después de la primera y última fertilización mostro un incremento de este a 6,20 siendo un pH ideal para una buena absorción de nutrientes y un adecuado crecimiento de los cultivos de arroz.

También podemos notar diferencias significativas en la composición nutricional del suelo después de la fertilización, dando como relación lo siguiente:

- La relación entre Ca/Mg es de 5,71 la cual demuestró una deficiencia de magnesio en el primer análisis mientras que en el segundo la relación Ca/Mg es de 3,77 esta detalla el estado ideal de ambos nutrientes en el suelo
- En la relación Ca/K el valor adecuado a esta relación es de 20 mientras que valores mayores a 30 indica deficiencia de potasio, en el análisis del suelo sin fertilización esta fue de 1,010 mientras que el suelo tratado de 3,63 lo que indica que ambos elementos están en un rango adecuado.
- La relación Mg/K es de 1 estado aceptable para ambos nutrientes.
- La relación Ca+Mg/K es de 4,60 valores menores a 40 indica un rango aceptable para el potasio.
- La concentración del zinc en el suelo sin tratar es de 20,3512 mg/kg siendo un rango bajo al promedio establecido para los cultivos de

arroz que es de 55 mg/kg, el suelo tratado con biofertilizante es de 58,60 mg/kg lo que nos indica que es un suelo muy útil para los cultivos y que está dentro del rango establecido.

4. CONCLUSIONES

El análisis fisicoquímico de suelos previo a su fertilización nos permitió conocer los niveles de nutrición contenido en el sustrato, presentando niveles bajos de zinc 20,3512 mg/kg (ppm) siendo índice principal para la elaboración y uso de nanopartículas de óxido de zinc las cuales fueron sintetizadas a diferente rango de temperatura, siendo 80°C la temperatura óptima de obtención de esta, caracterizada mediante espectroscopia UV-visible y espectro FT-IR factores importantes que demostraron la formación y presencia de las nanopartículas de óxido de zinc.

La elaboración del biofertilizante se dio mediante la reutilización de desechos orgánico-caseros empleando la fermentación y el proceso anaerobio, además, se procedió a realizar 3 formulaciones a diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc (0,3;0,4;0,5 mg/mL), su aplicación y evaluación permitió determinar que el tratamiento 1 (0,3 g/ml) fue la mejor formulación de nano-biofertilizante, según la comparación de resultados medidos en la altura, variación de pH y temperatura de la planta al final de la fertilización, Cabe decir que el uso de los 3 tratamientos de nano-biofertilizante evaluados presentaron mejora significativa en los cultivos de arroz en relación a la muestra testigo/blanco; de esta manera se puede demostrar que el uso de este producto puede ser una alternativa frente a los fertilizantes tradicionales.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios que es quién nos ha dado sabiduría y entendimiento, a todas que las personas que nos apoyaron de distinta manera, para la culminación de éste proyecto.

6. CONFLICTO DE INTERESES

No existen ya que el trabajo investigativo fue de autoría de los autores.

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] A. d. Silva, J. Mulinari y F. Reichert, «Impacts of metallic nanoparticles application on the agricultural soils microbiota,» vol. 7, p. 6, 2022.
- [2] R. Hugo, M. Argüello y V. Reyes, «Potencial de la nanotecnología en la agricultura,» Redalyc, 2018.
- [3] P. Almendros, D. Gonzales, M. D. Fernandez, C. Garcias y A. Abrador, «Both Zn biofortification and nutrient distribution pattern in cherry tomato plants are influenced by the application of ZnO nanofertilizer,» Science Direct, p. 13, 2022.
- [4] C. M. R. Ulate, S. P. Álvarez y S. G. Morales, «Biofertilización y nanotecnología en la alfalfa (Medicago sativa L.) como alternativas para un cultivo sustentable,» Reladyc, Cuba, 2021.
- [5] P. Schulz, «Nanomaterials and the interface between nanotechnology and environment,» p. 7, 2013.
- [6] W. Engelmann, «Prospects for the regulation of nanotechnology applied to food and biofuels,» p. 14, 2013.
- [7] J. Martínez y M. Á. Calcium, «Nanopartículas de gelatina cargadas con calcio,» vol. 12, n° 1, 2020.
- [8] G. Mendoza y J. L. Rodríguez, «La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso,» Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, n° 29, p. 27, 2007.
- [9] S. Shinde, «Promoción de la germinación de semillas y crecimiento de zeas por nanopartículas de hidróxido de magnesio,» Science Direct, San Paulo - Brasil, 2018.
- [10] A. D. Nava-Pérez, «biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México,» Universidad Autónoma Indígena de México, vol. 6, n° 1, 2010.
- [11] L. Silva, «Inventos relacionados con biofertilizantes a nivel nacional,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, 2014.
- [12] H. Mendoza, Á. Loor y S. Vilema, «El arroz y su importancia,» Guayaquil - Ecuador, 2019.
- [13] I. Briceño, «evaluación de un sistema de preparación del suelo y siembra en el cultivo de arroz,» vol. 28, 2 4 2017.
- [14] L. Sandoval, «especies de periconia sobre las semillas de arroz (oryza sativa l.),» Redalyc, 2003.
- [15] R. Quirós-Herrera, «Evaluación de la fertilización nitrogenada en arroz inundado,» vol. 17, n° 1, p. 11, 2006.
- [16] D. K. Mengel y E. Kirkby, «Instituto Internacional de Suiza,» 2000. [En línea]. Available: https://auiavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf.
- [17] E. Molina y J. H. Rodríguez, «SciELO,» 27 3 2012. [En línea]. Available: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v36n1/a03v36n1.pdf>.
- [18] A. Alban, «Elementos Esenciales (N, P, K), Ph Y Ce Del Horizonte C En El Suelo Del Campus La María, Cantón Mocache,» Mocache - Ecuador, 2019.
- [19] I. A. M. Toribio y I. A. F. Moriones, «Profertil - La importancia del Zinc,» 4 2015. [En línea]. Available: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/bt-n-21-la-importancia-del-zinc-en-nuestros-cultivos-2015.pdf>.
- [20] A. Marengo, «Efecto de la fertilización con Zinc sobre el área foliar y el rendimiento del cultivo de maíz,» 2009.
- [21] Y. Abdissa, «Effect of Mg²⁺, Ca²⁺ and Sr²⁺ Ions Doping on the Band Gap Energy of ZnO Nanoparticle,» 2018.
- [22] L. Montejo, C. Cavalcante y E. Vilarrasa, «Evaluación de nanopartículas de ZnO para la separación de CH₄-CO₂,» Cuba, 2017.