

Nanofertilizantes en el suelo y emisiones de óxido nitroso

Convocatoria 2020: Innovaciones para el aumento sostenible de la productividad agropecuaria en América Latina y el Caribe en el contexto del cambio climático

Info General

Nombre:	Rogelio Ospina	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Email:	ros pinao@saber.uis.edu.co	Posición:	Profesor

Datos Generales

Título	Uso de nanofertilizantes para incrementar la eficiencia en la fertilización y mitigar las emisiones de óxido nitroso
Título corto	Nanofertilizantes en el suelo y emisiones de óxido nitroso

Objetivos de Desarrollo Sostenible



Línea Estratégica

Intensificación sostenible

Tipo de Innovación

Tecnológica

Tipo de Investigación

Aplicada

Solución Tecnológica

Prácticas Agronómicas

Temas

Agricultura Emisiones de Gases Evaluación de Resultados e Impacto Fortalecimiento de Capacidades Sistemas agropecuarios Sistemas productivos

Sector Productivo

Cultivos: Maíz - Otros - Ganadería: Pastos y forrajes - Recursos naturales: Suelo -

Organismo Ejecutor

UIS - Universidad Industrial de Santander

Nombre y apellido del contacto: Universidad Industrial de Santander

Cargo: Profesor e investigador

Email: rospinao@saber.uis.edu.co

Teléfono: 57 315 3486083

País: Colombia

Organismos Co-ejecutores

UTM - Universidad Técnica de Manabí

Nombre y apellido del contacto Henry Antonio Pacheco Gil

Cargo profesor e investigador

Email henrypacheco@gmail.com

Teléfono 593 99 677 9613

País Ecuador

Organismos Asociados

Montos y plazos

Monto solicitado (US\$)	198907.0000
Monto Contrapartida (US\$)	598642.0000
Monto Total (US\$)	797549.0000
Plazo de ejecución (meses)	36

Argumentación

Congruencia

La agricultura participa con cerca del 25% de la emisión de gases de efecto invernadero, de los cuales el uso de fertilizantes aporta alrededor del 7% debido a su uso inadecuado y a su baja eficiencia (Martínez et al., 2018). La aplicación de altas cantidades de fertilizantes está causando la contaminación de fuentes hídricas y de suelos (Grillo et al., 2016). Según la FAO (2015), se estima que para el 2050 la población mundial este en 9000 millones de personas. Con el incremento de la población, debe aumentar la producción de alimento para satisfacer la demanda alimenticia no solo de seres humanos, sino también de animales. Las tecnologías actuales de producción demuestran un estancamiento en el desarrollo de los cultivos, representada por la baja eficiencia en el uso de los fertilizantes, la degradación de los suelos, el cambio climático, la disminución de la superficie agrícola (Dubey, 2016). Uno de los retos que afronta la producción agraria se fundamenta en incrementar la absorción de nutrientes durante la fertilización, que por lo general es baja, buscando minimizar las pérdidas al ambiente y asegurar las concentraciones necesarias por la planta de elementos poco biodisponibles como el fósforo y el magnesio (Botero et al., 2019). Los fertilizantes que aportan nitrógeno producen grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono y óxido nitroso, siendo este último el de mayor impacto. Se ha encontrado que en algunas regiones de Colombia la agricultura llega a generar hasta el 73% de los GEI, debido al uso ineficiente en la aplicación de fertilizantes (Rodríguez et al., 2017). La limitación en las tierras cultivables y de los recursos hídricos, obliga al desarrollo de sistemas de producción que garanticen el uso eficiente del suelo, una máxima productividad y sostenibilidad. La nanotecnología tiene el potencial de revolucionar los sistemas agrícolas, la elaboración de materiales, entre otras. Los estudios muestran que el uso de nanofertilizantes incrementa la eficiencia de los nutrientes, reduce la toxicidad del suelo, minimiza los riesgos de contaminación de suelos y aguas por la sobredosificación y disminuye la frecuencia en la aplicación de fertilizantes (Usman et al, 2020). para atacar esta problemática, se plantea los siguientes objetivos: Objetivo general Cuantificar el efecto del uso de nanofertilizantes en la eficiencia de fertilización y en la mitigación de emisiones de óxido nitroso. Este proyecto esta articulado con i) Fortalecer las capacidades de investigación aplicada y la innovación en la agricultura familiar dentro y entre los países miembros y ii) Consolidar plataformas regionales e ínter regionales para responder a oportunidades y retos, fortaleciendo las capacidades de los sistemas nacionales. Además, con los ejes temáticos a mediano plazo: (2) adaptación y mitigación al cambio climático e (3) Intensificación sostenible de la agricultura y gestión de los recursos naturales. REFERENCIAS • Martínez JZ et. al. (2018). Gases de efecto invernadero y la política del estado mexicano dirigida a la producción de trigo. DELOS: Desarrollo Local Sostenible, 11(32), 8. •Grillo R et. al. (2016). Nanotechnology applied to bio-encapsulation of

pesticides. J.I of nanoscience and nanotechnology, 16(1), 1231-1234. •Dubey A et al. (2016). Nanofertilisers, nanopesticides, nanosensors of pest and nanotoxicity in agriculture. Sustainable Agriculture Reviews. Springer Publishing. 307-330. •Botero M et.al. (2019). Nutrient absorption in Tithonia Diversifolia. Universitas Scientiarum Vol. 24 (1): 33-48. • Rodríguez DR et. al. (2017). Efecto de la Fertilización Nitrogenada en el Cultivo de Maíz para la Caracterización de la Emisión de Gas Invernadero. Documentos de Trabajo ECAPMA (2). • Usman M et. al. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportoopportunities. Science of the Total Environment, 137778.

Regionalidad

La plataforma está conformada por la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Universidad Técnica de Manabí (UTM), ubicadas en Colombia y Ecuador respectivamente, estos dos países son miembros de FONTAGRO. Las Universidades participantes cuentan con diferentes capacidades y disciplinas, es así como la UIS realizará su aporte en el área de nanofertilizantes y suelos y la UTM hará lo suyo en el análisis espectral de los cultivos. Asimismo, los cultivos de maíz que se analizarán en el proyecto estarán ubicados en el departamento de Santander (Colombia) y en la Provincia de Manabí (Ecuador).

Capacidad técnica de la plataforma

La plataforma está conformada por la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Universidad Técnica de Manabí (UTM). La Universidad industrial de Santander es líder en Colombia en investigaciones en diferentes áreas, una de sus fuertes es la ciencia de materiales, ya que cuenta con el doctorado en Física y el doctorado en Ingeniería de Materiales, los cuales hacen aportes significativos en esta área, por tanto cuenta con equipos como: el Molino Planetario, la Sonda ultrasonica y el Microscopio de Fuerza Atómica que se emplearán en el proyecto. Asimismo, la sede UIS Málaga cuenta con equipos que permitirán hacer las investigaciones en suelos y análisis de gases efecto invernadero tales como Cromatógrafo de Gases, Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Analizador Elemental CHNSO, Calorímetro, Extractor de Fibra, Espectrómetro potencial Z, Centrifuga de Alta Revolución, Espectrofotómetro VIS. En cuanto a los integrantes de la UIS que participan en el proyecto, todos cuentan con maestría y doctorado. Rogelio Ospina y Jorge Quintero son Ingenieros Físicos con Maestría en Física y Doctorado en Ciencias. Mónica Botero es Ingeniera Electricista con Maestría y Doctorado en física. Julián Botero es Zootecnista con Maestría en Producción Animal y Doctorado en manejo de suelos. A su vez la Universidad Técnica de Matabí (UTM), es una Universidad Pública con maestrías de Investigación en áreas relacionadas con la temática del proyecto tales como Ingeniería Agrícola Mención Agroecología y Cambio Climático, Maestría de Investigación en Agronomía Mención Agricultura Sostenible. Cuenta con equipos como Dron EBEE SQ y Sensor Portatil GreenSeeker, los cuales estarán al servicio del proyecto para la toma de imágenes y análisis de la respuesta espectral en los cultivos de maíz. La persona que estará a cargo de liderar el proyecto en la UTM es Henry Antonio Pacheco Gil, quien igualmente cuenta con maestría y doctorado en áreas que complementan la experiencia de los otros investigadores del proyecto. Henry es Magíster en Geografía Física y tiene Doctorado en Ciencias de la Ingeniería.

Como se puede evidenciar la plataforma está conformada por un equipo interdisciplinario con un alto nivel de formación quienes se complementan para realizar un proyecto innovador.

Articulación de la Plataforma

La plataforma está conformada por la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Universidad Técnica de Manabí (UTM), ubicadas en Colombia y Ecuador respectivamente. La UIS hará las veces de organismo ejecutor y la UTM participará en el rol de co-ejecutor. La comunicación entre las dos instituciones se realiza a través de los investigadores que trabajan en el proyecto, quienes trabajan en áreas de investigación complementarias. Es así como la UIS se encargará de la síntesis y caracterización de los nanofertilizantes, así como el establecimiento de los cultivos y análisis de suelos. Asimismo, la UTM es la institución responsable de los análisis espectrales de los cultivos. Es de aclarar que los investigadores de UIS sede principal enviarán los nanofertilizantes sintetizados bajo diferentes condiciones a los investigadores de la sede UIS Málaga y a la UTM, esto con el fin de que sean aplicados a los cultivos y se realicen los análisis planteados.

Impacto / Beneficiarios

Impacto Potencial

Los resultados de la investigación presentan un amplio rango de aplicación, tanto en los países participantes (Colombia – Ecuador) como en el sector agrícola en general. La síntesis, caracterización y aplicación de nanofertilizantes representa cambios innovadores que conllevaran al desarrollo de nuevos modelos tecnológicos de producción agrícola. Se espera un importante impacto en la productividad de miles de productores agrícolas, los cuales obtendrán incrementos en los rendimientos productivos, menor costo por fertilizantes, mayor eficiencia en el uso del suelo y mayor rentabilidad con una reducción en la contaminación por lixiviación de nutrientes y en la emisión de óxido nitroso. El proyecto podrá ser replicado fácilmente por investigadores y productores de insumos agropecuarios.

Beneficiarios

Como beneficiarios directos: Los productores de insumos agropecuarios que podrán desarrollar nuevos productos en su portafolio de servicios y formular paquetes tecnológicos basados en los resultados obtenidos por esta investigación. Asimismo, los 2'700.000 productores agrícolas en Colombia (Censo Nacional Agropecuario, 2014) y 842.882 productores en Ecuador (Instituto Nacional De Estadística Y Censos INEC, 2008), estos productores que podrán beneficiarse con las tecnologías en el uso de nanofertilizantes, los cuales permiten incrementar la productividad, reducir los costos por fertilizantes e incrementar la rentabilidad. Como beneficiarios indirectos: la población por el efecto de mitigación de gases de efecto invernadero.

Calidad Técnica

Antecedentes y justificación

El conocimiento del requerimiento nutricional de las plantas (cantidad de micro y macroelementos que las plantas necesitan) y la aplicación de fertilizantes con base en el aporte de nutrientes por parte del suelo es fundamental para maximizar la productividad de los cultivos y lograr su sostenibilidad en el tiempo (Botero et al., 2019). El suelo no contiene el balance adecuado de nutrientes para las plantas, lo que imposibilita la expresión de su capacidad productiva (Azcón & Talón, 2008). Para asegurar el suministro adecuado de nutrientes al suelo y por tanto la productividad del cultivo, la agricultura tradicional emplea grandes cantidades de fertilizantes, sin embargo, el uso excesivo de fertilizante genera efectos secundarios sobre la atmósfera, las aguas, la fauna y la flora y además, puede ocasionar pérdidas en la productividad al descompensar el suelo si se aplica inadecuadamente; por lo anterior, la nanotecnología pretende el desarrollo de prácticas y metodologías eficientes que minimicen los impactos negativos sobre los ecosistemas y garanticen la sustentabilidad en la producción agrícola (Grillo et al., 2016). La nanotecnología comprende variadas tecnologías que implican la obtención de materiales a una escala de longitud entre 1 y 100 nm (Yadollahi, et al., 2009). En el contexto de la agricultura, ha permitido el desarrollo de una gama variada de aplicaciones, relacionadas principalmente con la síntesis de nanopartículas y nanomateriales, y el uso de nanoformulación y nanoencapsulación para el suministro de nutrientes, plaguicidas, fertilizantes y material genético en las plantas; así como la preparación de nanosensores para la detección de contaminantes, enfermedades de plantas, plagas y patógenos; y poder actuar como nanoarquitecto en la formación y unión de la estructura del suelo (Ghormade et al., 2011). En la de nutrición de plantas, la nanotecnología tiene el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso de los fertilizantes de dos maneras: mejorar la contribución de elementos como el fósforo y el zinc que son poco biodisponibles y minimizando las pérdidas de nutrientes al medio ambiente, reduciendo así la contaminación ambiental y optimizando el suministro de agua (Chinnamuthu & Boopati, 2009). Los nanomateriales empleados como fertilizantes se encuentran la urea con hidroxapatita para la liberación de nitrógeno; nanopartículas de quitosán con contenidos de fertilizantes N, P y K; nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) recubiertas con fertilizantes de macronutrientes; nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂ NPs) y fertilizantes nanoestructurados de zeolita (Abdel-Aziz et al., 2016). Abdel-Aziz, H. M. M., Hasaneen, M. N. A. & Omer, A. M. (2016). Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity soil. *Span. J. Agric. Res.* 14. Azcón, J. & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. MacGraw-Hill Interamericana, Madrid, Segunda edición. Benicio, L. P. F., Constantino, V. R. L., Pinto, F. G., Vergu?tz, L., Tronto, J., & da Costa, L. M. (2016). Layered double hydroxides: New technology in phosphate fertilizers based on nanostructured materials. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(1), 399-409. Botero, M., Gómez A.,

& Botero, M. (2019). Nutrient absorption in *Tithonia Diversifolia*. *Universitas Scientiarum* Vol. 24 (1): 33-48. Chinnamuthu, C.R., & Boopati, P.M. (2009). Nanotechnology and agroecosystem. *Madras Agric J* 96:17-31. Ghormade V., Deshpande M.V., & Paknikar K.M. (2011). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnol Adv* 29:792-803. Grillo, R., Abhilash, P. C., & Fraceto, L. F. (2016). Nanotechnology applied to bio-encapsulation of pesticides. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 16(1), 1231-1234. Yadollahi, A., Arzani, K., Khoshghalb, H. (2009). The role of nanotechnology in horticultural. In *Southeast Asia Symposium on Quality and Safety of Fresh and Fresh-Cut Produce* 875, 49-56.

Objetivo Principal

Cuantificar el efecto del uso de nanofertilizantes en la eficiencia de fertilización y en la mitigación de emisiones de óxido nitroso. para esto se plantea:

- Sintetizar y caracterizar nanofertilizantes de dióxido de titanio, óxido de zinc y zeolita.
- Determinar el efecto de la adición de nanofertilizantes sobre la concentración y absorción de nutrientes en la planta.
- Determinar el efecto de la adición de nanofertilizantes sobre la eficiencia en el uso de nutrientes.
- Determinar el efecto de la adición de nanofertilizantes sobre la emisión de óxido nitroso.
- Determinar el efecto de la adición de nanofertilizantes sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Determinar el efecto de la adición de nanofertilizantes sobre la respuesta espectral del cultivo.

Objetivos específicos

El propósito del proyecto es sintetizar y caracterizar nanofertilizantes de dióxido de titanio, óxido de zinc y zeolita. Una vez sintetizados y caracterizados se determinará el efecto de la adición de cada nanofertilizantes sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo, la producción de biomasa de los cultivos, la absorción y el uso eficiente de nutrientes, la respuesta espectral de los cultivos y la mitigación en las emisiones de óxido nitroso. Con lo cual se determinarán las características de cada uno de los nanofertilizantes y su potencial uso en los sistemas de producción agrícola, se espera un incremento significativo en la productividad de los cultivos, una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes y reducciones en las emisiones de óxido nitroso.

Marco Lógico

Los nanomateriales juegan un papel importante en la movilidad, la transformación y la toxicidad de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del suelo, éstos han sido ampliamente usados en diferentes estrategias de remediación biótica y abiótica para remover contaminantes del suelo y promover el crecimiento de las plantas (Usman et al, 2020). Este proyecto pretende cuantificar el efecto del uso de nanofertilizantes sobre la concentración y absorción de nutrientes, eficiencia en el uso de nutrientes, emisiones de óxido nitroso y en las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Para lo cual se sintetizarán y caracterizarán nanofertilizantes de dióxido de titanio, óxido de zinc y zeolita. En el proceso experimental se emplearán bandejas de 0.075 m³ en las cuales se adicionarán 50 kg de suelo. Al suelo se le realizaran análisis físicos, químicos y biológicos con el fin de determinar sus características iniciales y cuantificar el efecto de la aplicación de

los nanofertilizantes. En cada bandeja se establecerá un cultivo de ryegrass (*Lolium perenne*), cultivo seleccionado por sus características productivas (rápida germinación, cultivo perenne, capacidad de absorción de nutrientes). Los tratamientos de fertilización se establecerán con base en el aporte de nutrientes del suelo, la concentración de nutrientes en la planta y la absorción de nutrientes. Los tratamientos de fertilización serán 0, 3, 6, y 9 g por unidad experimental por corte, los nanofertilizantes se aplicarán a razón de 0.1 y 0.2 g de cada nanofertilizante por unidad experimental, los cuales serán adicionados en una sola aplicación al momento de la primera fertilización. Se trabajará un diseño experimental completamente al azar con 4 unidades experimentales por tratamiento, para un total de 112 unidades experimentales. La toma de datos experimentales iniciará en el primer corte a los 60 días de establecido el cultivo, posteriormente se tomarán muestras cada 30 días durante 22 meses. En condiciones experimentales en campo se establecerá un cultivo de maíz, al cual se le aplicaran 0 y 50 g por m² de fertilizante, con y sin aplicación de nanofertilizantes. Los nanofertilizantes se aplicarán a razón de 0.4 g por m² de cada nanofertilizante (dióxido de titanio - óxido de zinc - zeolita), los cuales serán adicionados en una sola aplicación al momento de la fertilización. En cada corte y en la cosecha del maíz, a cada unidad experimental se le determinara la producción de biomasa, el contenido foliar, la absorción de nutrientes, la eficiencia en el uso de nutrientes, las emisiones de óxido nitroso y se le realizaran mediciones de NDVI con un sensor portátil (GREENSEKER).

Componente

Título	Síntesis y caraterización de Nanofertilizantes
Actividades y Metodologías	<p>El objetivo es en este componente es: Sintetizar y caracterizar nanofertilizantes de dióxido de titanio, óxido de zinc y zeolita. Ubicación del componente La síntesis y caracterización de los nanofertilizantes se desarrollará en los laboratorios de la Universidad Industrial de Santander (sede principal y Parque Tecnológico de Guatigará). Síntesis de nanofertilizantes Para el desarrollo de la investigación se sintetizarán y caracterizarán nanofertilizantes de dióxido de titanio, óxido de zinc y zeolita, por medio de la técnica de molienda mediante un molino planetario o aleación mecánica, este es un proceso flexible que se utiliza para producir nuevos materiales en estado sólido. Consiste en la deformación del polvo de manera repetitiva, continua y plástica a temperatura ambiente para crear nuevas aleaciones y/o microestructuras, así como la reducción del tamaño de las partículas. La literatura presenta una gran cantidad de técnicas para realizar síntesis de nanocristales de polvos, pero esta técnica es directa, de bajo costo y sin residuos. Caracterización de nanofertilizantes Una vez se sinteticen los nanofertilizantes estos serán caracterizados utilizando los siguientes equipos: • Espectrofotómetro de infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR). • Microscopio de barrido electrónico (SEM). • Equipo de difracción de rayos X (XRD). • Equipo de espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS). • Microscopia de barrido por sonda (AFM).</p>
Productos	Producción de nanofertilizantes de dióxido de titanio, óxido de zinc y zeolita utilizando el método de molienda con molino planetario o aleación mecánica. Caracterización de los nanofertilizantes producidos.
Resultados Esperados	Se esperan los nanofertilizantes de alta calidad de Oxido de Titanio, Oxido de Zinc y Zeolita, para la aplicación en cultivo

Componente

Título	Efecto de los nanofertilizantes sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.
Actividades y Metodologías	<p>El objetivo en este componente es: Determinar el efecto de la adición de nanofertilizantes sobre las características fisicoquímicas y biológicas del suelo.</p> <p>Ubicación del proyecto: Se desarrollará en el municipio de Málaga, Departamento de Santander en la sede UIS Málaga, y en la Parroquia Lodana del Cantón Santa Ana. Provincia de Manabí. Campus experimental de la Universidad Técnica de Manabí.</p> <p>Modelos experimentales: Se trabajará un modelo experimental en invernadero y un modelo en campo.</p> <p>Suelo: Para el proceso experimental en invernadero se utilizará un Inceptisol, el cual se le realizaran análisis físicos, químicos y biológicos, con el fin de determinar sus características iniciales.</p> <p>Cultivos: se establecerá un cultivo de ryegrass (<i>Lolium perenne</i>), con la siembra de 4 g de semilla por unidad experimental. (invernadero) Para el ensayo en campo se establecerán 2 cultivos de maíz (<i>Zea mays</i>) de 1 ha cada uno.(campo)</p> <p>Tratamientos de fertilización: se establecerán con base en el aporte de nutrientes del suelo, la concentración de nutrientes en la planta y la absorción de nutrientes. Los tratamientos de fertilización para el proceso experimental en invernadero serán 0, 3, 6, y 9 g por unidad experimental por corte.</p> <p>Diseño experimental: En los invernaderos se desarrollará un diseño experimental completamente al azar con 4 unidades experimentales o repeticiones por tratamiento, para un total de 112 unidades experimentales (28 tratamientos X 4 repeticiones), En el maíz se desarrollará un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 bloques, cada uno con 8 unidades experimentales.</p> <p>Efecto de los nanofertilizantes en las características físicas, químicas y biológicas del suelo: Una vez finalizado el proceso experimental, a cada unidad experimental se le realizaran los análisis físicos químicos y biológicos descritos. Con los datos obtenidos se realizará un análisis de análisis de varianza (ANOVA), cuando haya diferencias ($P < 0.05$) se realizará un análisis de comparación de medias Tukey.</p>
Productos	<p>Determinar el efecto de la fertilización y de los nanofertilizantes en las características químicas del suelo (pH, Capacidad de intercambio catiónico, K, Ca, Mg, Al y Na intercambiables, P, S, Mn, Fe, Zn, Cu y B disponibles) y generar modelos que permitan determinar dichos efectos.</p> <p>Determinar el efecto de la fertilización y de los nanofertilizantes en las características físicas del suelo (Distribución de partículas, Densidad, Porosidad) y generar modelos que permitan determinar dichos efectos.</p> <p>Determinar el efecto de la fertilización y de los nanofertilizantes en las características biológicas del suelo (cuantificación de microorganismos fijadores de nitrógeno, cuantificación de microorganismos solubilizadores de fosfatos, bacterias y actinomicetos, hongos y celulolíticos aerobios) y generar modelos que permitan determinar dichos efectos.</p>

Resultados Esperados

Optimización de las características físicas, químicas y biológicas con la aplicación de los nanofertilizantes, descompensación del suelo en los niveles de mayor aplicación de fertilizantes, pérdidas en las características productivas del suelo en los sistemas sin fertilización.

Componente

Título	Efecto de los nanofertilizante, uso eficiente de nutrientes y en la respuesta espectral del cultivo
Actividades y Metodologías	<p>El objetivo en este componente es: Determinar el efecto de los nanofertilizantes en la producción de biomasa, en la absorción y el uso eficiente de nutrientes y en la respuesta espectral de los cultivos. Producción de biomasa, Contenidos foliares y absorción de nutrientes En cada corte para el ryegrass y en el momento de la cosecha para el maíz, a cada unidad experimental se le determinara la producción de biomasa en base fresca y en base seca, el contenido foliar (N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B) y la absorción de nutrientes. Los registros de las variables analizadas serán sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), cuando haya diferencias ($P < 0.05$) se utilizará la prueba de rangos múltiples de Tukey para la separación de medias. Uso eficiente de nutrientes Los índices para el uso eficiente de nutrientes se hallarán con base en las siguientes formulas (Dobermann, 2007): Eficiencia agronómica (EA)= $(RTf - RTt) / (NTa)$ Eficiencia de Recuperación (ER)= $(NTf - NTt) / (NTa)$ Eficiencia fisiológica (EF)= $(RTf - RTt) / (NTf - NTa)$ Factor parcial de productividad (FPP)= $(RTf) / (NTa)$ Donde: RTf= g de MS producidos en el tratamiento con fertilización. RTt= g de MS producidos en el tratamiento sin fertilización. NTA= g del nutriente aplicado en la fertilización. NTf= g de nutriente producido en el tratamiento con fertilización. NTt= g de nutriente producido en el tratamiento sin fertilización. Con los datos recolectados se establecerá la eficiencia en el uso de nutrientes con base en cada uno de los tratamientos y su variación en el tiempo. Con lo cual se desarrollarán modelos de regresión y análisis de varianza (ANOVA), cuando haya diferencias ($P < 0.05$) se realizará un análisis de comparación de medias Tukey. Medición de la respuesta espectral del cultivo Para el caso de los cultivos en bandeja se medirá el NDVI con el sensor portátil GreenSeeker. Sobre el cultivo en condiciones de campo se realizarán vuelos fotogramétricos con el Dron EBEE SQ instrumentado con la cámara multispectral Sequoia. Con la información levantada en el vuelo se calcularán índices de vegetación para conocer la respuesta espectral del cultivo y correlacionarlos con los distintos tratamientos. Con lo cual se desarrollarán modelos de regresión y análisis de varianza (ANOVA), cuando haya diferencias ($P < 0.05$) se realizará un análisis de comparación de medias Tukey.</p>
Productos	<p>Cuantificar el efecto de la fertilización y de los nanofertilizantes sobre la producción de biomasa de los cultivos y desarrollar modelos de producción. Determinar el efecto de la fertilización y de los nanofertilizantes sobre la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas y determinar el nanofertilizante que presenta el mayor impacto. Cuantificar el efecto de la aplicación de nanofertilizantes sobre la eficiencia en el uso de nutrientes y determinar el nanofertilizante que presenta mayores efectos. Determinar el</p>

efecto de la adición de nanofertilizantes sobre la respuesta espectral de los cultivos y determinar los cambios con base en la fertilización y la aplicación de los nanofertilizantes.

Resultados Esperados

Incrementos en la producción de biomasa con la adición de fertilizantes y nanofertilizantes, incrementos en la capacidad de absorción de nutrientes de la planta con la aplicación de los nanofertilizantes, incrementos en la eficiencia en el uso de fertilizantes, reducción en la lixiviación de nutrientes, cambios espectrales en los cultivos con la aplicación de fertilizantes y nanofertilizantes.

Componente

Título

Efecto de la adición de nanofertilizantes sobre la emisión de óxido nitroso

Actividades y Metodologías

El objetivo en este componente es: Determinar el efecto de la adición de nanofertilizantes sobre la emisión de óxido nitroso. Emisiones de óxido nitroso
La toma de muestras para cuantificar las emisiones de óxido nitroso se realizará instalando cámaras de vidrio de 50 cm de largo x 50 cm de ancho x 20 cm de alto con un agujero en la parte superior con acople hermético a jeringas de 50 ml donde se recolectará la muestra, para el análisis en el invernadero las cámaras serán colocadas sobre las bandejas de producción y las muestras serán extraídas a los 30 minutos de instaladas. Para el análisis en campo las cámaras serán colocadas sobre el suelo y las muestras serán extraídas igualmente a los 30 minutos de instaladas. Las muestras serán recolectadas a los 30 minutos, 6 horas y 12 horas posterior a la fertilización. Una vez obtenidas las muestras, se transportarán al laboratorio, y serán analizadas en un cromatógrafo de gases con detector TCD. Con los datos obtenidos se cuantificará el efecto de la adición de los nanofertilizantes en la emisión de óxido nitroso, con lo cual se realizarán modelos de regresión y análisis de varianza (ANOVA), cuando haya diferencias ($P < 0.05$) se realizará un análisis de comparación de medias Tukey.

Productos

Cuantificar el efecto de la fertilización y de los nanofertilizantes sobre la emisión de óxido nitroso, determinando las emisiones de óxido nitroso con base en los niveles de fertilización y la reducción con la aplicación de los nanofertilizantes, con lo cual se determinará cual nanofertilizante presenta mayor efecto en la mitigación.

Resultados Esperados

Mitigación en las emisiones de óxido nitroso, reducción de la contaminación.

Capacidad Técnica

Capacidades Individuales

Rogelio Ospina: Ingeniero Físico, Magister en Física y Doctor en Ciencias, coordinar el proyecto, además de la síntesis, estabilización y producción de nanomateriales. Mayor información en:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000309125

Mónica Andrea Botero Londoño: Ingeniera electricista, magister y doctora en física, encargada de los análisis estadísticos e interpretación de resultados. Mayor información en:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000018368

Jorge Hernán Quintero: Ingeniero Físico, Magister en Física y Doctor en Ciencias, encargado de la caracterización fisicoquímica de los nanomateriales. Mayor información en:

http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000309630

Julián Mauricio botero Londoño: Zootecnista con maestría en producción animal y doctorado en manejo de suelos, encargado del proceso experimental en vivero y cultivo de maíz en la sede UIS Malaga, de la formulación de los tratamientos de fertilización y de los análisis de producción de biomasa, contenidos foliares, absorción de nutrientes y cuantificación de los gases de efecto invernadero. Mayor información en:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000243884

Henry Antonio Pacheco Gil: Profesor en Ciencias de La Tierra. Magíster en Geografía Física. Doctor en Ciencias de la Ingeniería.

Encargado de la la captura y procesamiento de información multiespectral.

Evidencia de articulación

Los investigadores Julián Mauricio Botero y Mónica Andrea Botero han venido trabajando en proyectos de investigación desde hace aproximadamente 4 años, de esta alianza se han generado productos tales como "Botero Londoño JM, Gómez Carabali A, Botero Londoño MA. Nutrient absorption in Tithonia diversifolia, Universitas Scientiarum, 24 (1): 33-48, 2019. doi:

10.11144/Javeriana.SC24-1.nait." Asimismo, los investigadores de la UIS se encuentran ejecutando un proyecto de investigación titulado "Nanofertilizantes en la producción intensiva de forrajes bajo invernadero" el cual es financiado por la Universidad Industrial de Santander y se constituye en la primera etapa del proyecto. En esta segunda etapa los investigadores realizaron una alianza estratégica con el investigador Henry Pacheco de la Universidad Técnica de Manabí quien cuenta experiencia en análisis de cultivos mediante análisis espectral, esta alianza permitirá realizar análisis de cultivos y complementar los análisis que se hacen en suelos de la UIS. El investigador principal del proyecto es Rogelio Ospina de la UIS (entidad ejecutora) y además de ello será la persona encargada de liderar la síntesis de las nanopartículas, Mónica Botero se encargará de los análisis estadísticos e interpretación de resultados en análisis de suelos, Jorge Quintero será el profesor encargado de la caracterización de los nanomateriales, Mauricio Botero tendrá a cargo los tratamientos de fertilización, análisis de suelos e impacto de gases de efecto invernadero,

asimismo, Henry Pacheco hará su aporte en la captura y procesamiento de información multiespectral.

Sostenibilidad de la iniciativa

Se desarrollarán modelos de producción y costos de los nanofertilizantes que faciliten su producción e inclusión en los mercados, para lo cual se realizan alianzas estratégicas con empresas interesadas en la producción de nanofertilizantes que permitan su desarrollo industrial. Igualmente, se trabajará en el desarrollo de nuevos métodos de síntesis y producción de los nanofertilizantes. Con base en los resultados y efectos de cada nanofertilizante en la sostenibilidad del suelo, producción de biomasa, absorción y uso eficiente de nutrientes, respuesta espectral de los cultivos y mitigación en las emisiones de óxido nitroso, se formularían modelos técnico económicos para la aplicación con base en los requerimientos productivos de los cultivos. Lo cual permitirá que los productores accedan a dichas tecnologías. Se formularán nuevos proyectos de investigación que involucren estos y nuevos nanofertilizantes, buscando cuantificar su impacto en la producción. igualmente, se trabajará en otros cultivos en modelos bajo invernadero y en sistemas en campo.

Información Adicional

Evidencia de base científica validada

Al-juthery & Al-Shami, (2019) realizaron un ensayo con el fin observar el efecto del fertirriego con nanofertilizantes de N, P y K en papa (*Solanum tuberosum* L.) sobre parámetros de crecimiento y rendimiento del tubérculo, incluyendo tratamientos con solo un nanofertilizante, combinaciones y fertilizante convencional, encontrando incrementos para altura de la planta hasta del 20.1%, para la producción de biomasa en base seca 25.8 %, para el rendimiento de los tubérculos 20.6 %, para el rendimiento biológico del 13.9 % y para el rendimiento proteico del 5.6 % cuando se aplican los nanofertilizantes, frente a los fertilizantes tradicionales. Qureshi, & Dwivedi, (2018). En una amplia revisión de literatura reportan que los nanofertilizantes se constituyen como las herramientas actuales para incrementar el crecimiento, rendimiento y la calidad de los cultivos, logrando con ellos una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, reducir la pérdida de fertilizantes, reducen la toxicidad del suelo y los costos de producción, concluyendo que las nanotecnología tiene el potencial de revolucionar los sistemas agrícolas, biomedicina, ingeniería ambiental, recursos hídricos, conversión de energía y muchas otras áreas. AL-Gym, & Al-Asady, (2020) desarrollaron un estudio para determinar el efecto del método y nivel de nanopartículas y fertilizantes minerales de N, P y K en el crecimiento y el rendimiento de maíz amarillo y el contenido en minerales en las plantas, los resultados evidenciaron que el tratamiento de pulverización con nanopartículas N, P y K con 1.5 g L⁻¹ evidencio los mejores rendimientos, con incrementos hasta del 16 % frente a los demás tratamientos, obteniendo datos para la altura de la planta de 191.2 cm, el número total de hojas 16.07 planta⁻¹, índice de área de hojas 0.391, contenido de clorofila total 60.17 SPAD, cantidad de granos por mazorca 632.7 granos, rendimiento de grano 11.38 toneladas ha⁻¹ y rendimiento biológico 23.07 Ton ha⁻¹. Manikandan, & Subramanian, (2016). Evaluaron el efecto de la adición de nanofertilizantes de zeolita en la fertilización con urea sobre en el crecimiento, rendimiento y calidad del maíz en inceptisoles y alfisoles, encontrando un incremento significativo en las características productivas con la adición de la nano zeolita, la altura paso de 144.3 a 152.3 cm a los 115 días de siembra en los inceptisoles y de 162.4 a 178.1 cm en los alfisoles, la longitud de la raíz paso de 56.8 a 65.9 cm en los inceptisoles y de 43.5 a 67.4 cm en los alfisoles, el rendimiento en grano paso de 268 a 291 g para los inceptisoles y de 156 a 254 g para los alfisoles cuando se mezcló la urea con la nanozeolita, mismo comportamiento encontrado para el peso de 100 granos (27.8- 29.8 g, 25.8 - 29.4 g) y para los contenidos en proteína cruda (3.62 - 4.9 %, 3.0 - 4.7 %) para inceptisoles y alfisoles respectivamente. AL-Gym, A. J. K., & Al-Asady, M. H. S. (2020). EFFECT OF THE METHOD AND LEVEL OF ADDING NPK NANOPARTICLES AND MINERAL FERTILIZERS ON THE GROWTH AND YIELD OF YELLOW CORN AND THE CONTENT OF MINERAL NUTRIENT OF SOME PLANT PARTS. *Plant Archives*, 20(1), 38-43. Al-juthery, H. W., & Al-Shami, Q. M. (2019). The Effect of Fertigation with Nano NPK Fertilizers on Some

Parameters of Growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). AL-Qadisiyah Journal For Agriculture Sciences, 9(2), 225-232. Manikandan, A., & Subramanian, K. S. (2016). Evaluation of zeolite based nitrogen nano-fertilizers on maize growth, yield and quality on inceptisols and alfisols. Int J Plant Soil Sci, 9(4), 1-9. Qureshi, A., Singh, D. K., & Dwivedi, S. (2018). Nano-fertilizers: a novel way for enhancing nutrient use efficiency and crop productivity. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 7(2), 3325-3335.

Evidencia de potencial de mercado

En la actualidad se encuentra en el mercado un importante número de empresas que ofrecen diferentes nanofertilizantes, y cada vez más empresas están entrando en este mercado, gracias a los beneficios comprobados del uso de los nanofertilizantes en la agricultura. Igualmente, cada vez se evidencia un mayor número de agricultores que accede o piensa acceder al uso de estas tecnologías. Lo cual marca un importante nicho de mercado y visualiza una transformación de los modelos actuales de fertilización.

Estrategia de escalamiento

La producción de nanofertilizantes por molienda mecánica planteada en este proyecto, tiene las siguientes ventajas. - Es un método verde ya que no deja residuos químicos ya que la nanoestructuración se hace por impacto y no por reacciones químicas. - Además de bajo costo ya que solo necesita el fertilizante a nanoestructurar. El molino planetario de laboratorio con el que contamos admite cargas hasta de 500 gr por molienda, en un futuro pensando en la producción masiva de nanofertilizantes, se hace necesario adquirir o diseñar un molino mas grande, en el mercado existen molinos desde unos pocos kilos hasta los utilizados en la industria minera de varias toneladas, haciendo posible la producción de nanofertilizantes a mediana o a grande escala

Estrategia de transferencia y propiedad intelectual

Para la realización del proyecto se suscribirá un CONVENIO ESPECÍFICO ESPECIAL DE COOPERACIÓN ENTRE FONTAGRO, la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ y la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. En dicho convenio se regulará el marco general de operación, relacionamiento, de propiedad intelectual y de gestión de bienes, entre los diferentes actores respetando el marco legal de la convocatoria

Posibles Riesgos

Que los nanofertilizantes utilizados tengan efectos negativos sobre el suelo: Para lo cual se realizara un estudio en campo y uno bajo invernadero a mayor tiempo que permitan identificar los efectos de los nanofertilizantes utilizados sobre la características químicas, físicas y biológicas del suelo. Que los nanofertilizantes utilizados no presenten ningún efecto sobre la producción de biomasa, absorción y uso eficiente de nutrientes, respuesta espectral de los cultivos y en la mitigación de las emisiones de óxido nitroso: con el objeto de tener información concisa del efecto de los nanofertilizantes, se realizaran paralelamente estudios en condiciones controladas bajo invernadero y en condiciones de campo en 2 ambientes diferentes que permitan validar la información recolectada sobre el uso de estos nanofertilizantes. Problemas climáticos que afecten los cultivos en campo: Se instalaran estaciones meteorológicas en cada uno de los cultivos con el fin de monitorear las

condiciones climáticas y si es posible tomar correctivos. Plagas o enfermedades que afecten los cultivos: Se realizara un continuo seguimiento de la salud de las plantas y se tomaran correctivos con base en las buenas prácticas agrícolas para subsanar cualquier afectación. En caso de afectaciones severas la fase experimental seria repetida en el cultivo afectado, para evitar esto se tomarán todas las medidas preventivas posibles (semillas de alta calidad, variedades que se adapten a las condiciones agroclimáticas, sistemas de riego eficientes, evitar zonas de encharcamientos, desinfección de herramientas y personal con acceso a los cultivos, monitoreo constante de las plantas y suelos, entre otras)

Alineamiento al PMP de FONTAGRO

La presente propuesta contribuye en varios objetivos estratégicos planteados en el PMP 2015-2020 de FONTAGRO tales como: 1) “Fortalecer las capacidades de investigación aplicada y la innovación en la agricultura familiar dentro y entre los países miembros”, ya que se propone realizar investigación aplicada en la fertilización de cultivos, mediante la síntesis de nanofertilizantes; éstos, podrían impactar de forma positiva, tanto los suelos, las plantas y el medio ambiente, por medio de la mitigación de emisiones de óxido nitroso (directamente relacionado con el uso de fertilizantes agrícolas), el cual es uno de los gases de efecto invernadero. Por otro lado, la aplicación de los nanofertilizantes mejorarán la calidad de vida de las familias campesinas, ya que incrementará la capacidad de la agricultura para mitigar y adaptarse al cambio climático. 2) “Consolidar plataformas regionales e inter regionales para responder a oportunidades y retos, fortaleciendo las capacidades de los sistemas nacionales, así como atacando las barreras de adopción de conocimientos y tecnologías”, la conformación de la alianza entre Colombia y Ecuador permite comenzar con una red de cooperación entre países miembros de FONTAGRO, en la cual cada grupo de investigación aporta conocimientos en diferentes áreas del saber, formando una colaboración interdisciplinaria que conllevará a realizar avances en nuevos conocimientos y tecnologías aplicables a los dos países y replicables en otras regiones. Se estima que a nivel mundial, 450 millones de agricultores, necesitan políticas positivas que promuevan la adaptación a la variación climática. Con la realización de este proyecto, se podrá obtener incrementos en los rendimientos productivos, menor costo por fertilizantes, mayor eficiencia en el uso del suelo y mayor rentabilidad con una reducción en la contaminación por lixiviación de nutrientes y en la emisión de óxido nitroso; lo que conllevaría a avanzar hacia una agricultura intensiva en conocimientos, enfatizando productividad y sostenibilidad y donde la innovación ocupe un papel central. 3) “Mejorar la gestión de conocimiento y difusión de resultados para multiplicar el impacto de FONTAGRO, incluyendo el uso intensivo de redes sociales”, producto de la investigación se tiene planeado someter artículos de investigación científica en revistas de alto impacto, en todos los productos se dará agradecimiento a FONTAGRO lo que dará mayor visibilidad al fondo, además se socializaran resultados con las comunidades al proyecto. Por otro lado, la investigación contribuye en las líneas de innovación tecnológica sostenible e intensificación sostenible de la agricultura y gestión de recursos naturales, ya que se fabricarán y estudiarán nanofertilizantes ecológicos con alta eficiencia en el uso de nutrientes como una alternativa

prometedora en la agricultura sostenible.