1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO:

Título: Bioprospección de microorganismos de bosques de la subregión de Urabápara biocontrol de enfermedades agrícolas y su exhibición a través de bioarte	
Línea Matriz de Investigación: (Manual de Líneas de Investigación): Línea Matriz de Investigación en Ciencias Agrarias. CódigoLMI-AGR. 5.1. Línea Potencial en Sistema Integrado de la Producción Agrícola. Nudo problémico en Manejo Integrado de Plagas (patógenos, insectos y arvenses) – MIP	
Nombre de la Sede de ejecución del Proyecto: Centro Regional Apartadó	
Nombre del(los) Objetivo(s) de Desarrollo(s) Sostenible: industria, innovación einfraestructura (ODS 9)	
Duración del Proyecto (en meses):12	
Financiación	
Valor solicitado al Politécnico (en efectivo): $60.000.000	
Valor solicitado al Politécnico (en especie): $	
Valor aprobado por otra entidad (en efectivo): $	
Valor aprobado por otra entidad (en especie): $	
Valor total del proyecto (efectivo + especie): $ 60.000.000	
Administrador del Presupuesto (solo personal vinculado, si aplica): Luis Fernando Patiño Hoyos	C.C. 71721530
Correo electrónico: lfpatino@elpoli.edu.co	Teléfono: 604 444 7654. Ext 207
Dirección de correspondencia: Facultad de Ciencias Agrarias	
Nombre del Grupo de Investigación: Fitotecnia Tropical	
Equipo Investigador	
Investigador Principal: Alejandra Yulieth Clavijo Aristizábal	C.C. 1032438833
Correo electrónico: alejandra_clavijo86141@elpoli.edu.co	Teléfono: 3013711031
Nombre de la Facultad: Facultad de Ciencias Agrarias	
Tipo de Vinculación con la Institución (Docente vinculado de Tiempo Completo, Docente Ocasional de Tiempo Completo, Docente de Cátedra, Estudiante –Pregrado o Posgrado-): Docente de Cátedra	
Nombre de la Sede (Sede Central o Regiones: Urabá, Rionegro, Granjas): (Sede Regiones: Urabá)	
Dirección de correspondencia: Centro Regional Apartadó	
Nombre del Grupo de Investigación: Fitotecnia Tropical	
Nombre del Semillero de Investigación: Fitotecnia Tropical	
Conivestigador 1:	C.C.
Correo electrónico:	Teléfono:
Nombre de la Facultad:	
Tipo de Vinculación con la Institución (Docente vinculado de Tiempo Completo, Docente Ocasional de Tiempo Completo, Docente de Cátedra, Estudiante –Pregrado o Posgrado-, Personal Administrativo o Personal Externo):	
Nombre de la Sede (Sede Central o Regiones: Urabá, Rionegro, Granjas):	
Dirección de correspondencia:	
Nombre del Grupo de Investigación:	

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Nombre del Semillero de Investigación:	
Asesor(si aplica): LUIS FERNANDO PATIÑO HOYOS	C.C. C.C. 71721530
Correo electrónico: lfpatino@elpoli.edu.co	Teléfono: Ext 207
Dirección de correspondencia: Facultad de Ciencias Agrarias	
Nombre del Grupo de Investigación(opcional): Fitotecnia Tropical	

Estudiantes en Formación		Trabajo de pregrado*	
		Si	No
Estudiante 1: Isabela Montoya García	C.C. 1000306394		
Correo electrónico: Isabela_montoya86192@elpoli.edu.co	Teléfono: 3105270408		
Nombre del Semillero de Investigación: Fitotecnia Tropical	Facultad: Ciencias Agrarias		x
Correo electrónico:	Teléfono:		
Nombre del Semillero de Investigación:	Facultad:		

*__Nota__: Si el estudiante matricula el trabajo de grado en la modalidad de investigación deberá adjuntar la aprobación emitida por el Consejo de Facultad.

2. RESUMEN PROYECTO (*Máximo 250 palabras)*

La producción de banano es clave para la economía colombiana, generando 898 millones de dólares en exportaciones, de los cuales el 65% proviene de Urabá. Sin embargo, esta producción se ve amenazada por fitopatógenos como *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum spp.*, causantes de la marchitez por Fusarium y la pudrición de corona, lo que genera pérdidas económicas significativas.

El uso de fungicidas químicos para combatir estas enfermedades ha sido restringido debido a sus efectos negativos en la salud y el ambiente, complicando aún más el control de estos patógenos.

El proyecto propone estudiar la diversidad y el potencial biocontrolador de microorganismos presentes en el suelo y fuentes hídricas de los bosques tropicales de Urabá, una zona de megabiodiversidad poco explorada. Se enfocará en el control biológico de *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum spp.* en banano.

Los resultados serán compartidos con las comunidades locales y académicas a través de exhibiciones de bioarte que mostrarán el crecimiento de los microbios.

Este proyecto busca contribuir al desarrollo de fungicidas biológicos y fortalecer la investigación en el Politécnico Jaime Isaza Cadavid, alineándose con su plan de desarrollo institucional para 2025.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA (*Máximo 1.000 palabras)*

El cultivo, producción y comercialización de banano es una de las principales actividades económicas de la región de Urabá. Para el año 2021 las exportaciones de banano en Colombia sumaron 898 millones de dólares con un total de 111 millones de cajas que salieron del país principalmente hacia países de la unión europea, estados unidos y reino unido, asunto que implica la generación de miles de empleos directos e indirectos y por consiguiente la activación de la economía de la zona, que reporta cifras de ingresos por 584 millones de dólares en la vigencia del año 2021 (Augura, 2021), lo que posiciona a Urabá como el principal productor de banano en el país, con más del 65% de la exportación de esta fruta con respecto a las cifras de índole nacional.

Sin embargo, para el caso específico de la zona de Urabá, la producción bananera se ha visto amenazada por Fitopatógenos responsables de la pudrición de corona del banano y la Marchitez por Fusarium ocasionados por *Colletotrichum spp.* (Henao, 2016) y *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense* respectivamente. Estas enfermedades están generando pérdidas económicas a los productores bananeros que pueden ascender hasta un 30% sobre las utilidades de producción. (Aguilar, García, Dulanto y Duque, 2013).

En el caso de la pudrición de corona ocasionada por *Colletotrichum spp,* al ser una enfermedad de pos-cosecha, los síntomas se presentan luego de la recolección de la fruta, representando una gran amenaza para la producción nacional y de exportación del banano, debido a la afectación que genera la enfermedad en la calidad del fruto para su comercialización.

Por otra parte, Las grandes extensiones de monocultivo de banano facilitan la propagación de enfermedades graves como la marchitez por fusarium, la cual, actualmente presenta una nueva variante del hongo *Fusarium oxysporum f. sp.cubense* (Foc, raza 4 tropical (R4T), la cual afecta los cultivares Cavendish (variedad de mayor cultivo en Colombia), es conocida por su rápida proliferación y devastación de la plantaciones causando enormes pérdidas económicas a los productores, desafiando la producción de exportación y los medios de supervivencia de los pequeños agricultores (Maryani et al., 2019, Scheerer et al., 2018).

Otro problema asociado a las enfermedades mencionadas anteriormente se desligadel tratamiento químico que se le da a dichos agendes patógenos (Vasanthakumari et al.,2019); y los efectos que tiene este tipo de productos en la salud humana y el medio ambiente debido a los altos niveles de residualidad (Droby, 2006). De acuerdo con la evolución normativa en la materia, los insumos con los que se producen estos fungicidas químicos están siendo prohibidos en el mercado, por lo que los agricultores se ven en la necesidad de buscar alternativas eficientes para dicha problemática.

Actualmente, la Comisión de la Unión Europea (2020) estableció estrategias encaminadas a la obtención de alimentos más saludables establecidas en los acuerdos

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

de “biodiversidad” y la declaración pacto verde europeo “estrategia de la Granja a la Mesa y sistemas agroalimentarios sostenibles”, con el propósito de disminuir el uso de fungicidas de síntesis química en la agricultura hasta un 50% al 2030. Un claro ejemplo, es la molécula química imazalil, ampliamente utilizada para el control de la pudrición de corona que recientemente fue restringida de acuerdo con el Reglamento (UE) 2019/1582 de la Comisión de la Unión Europea. Con base en lo anterior, se hace necesario la búsqueda de métodos alternativos que minimicen la afectación por la enfermedad y que sean amigables con el medio ambiente.

Por todo lo anterior, se hace evidente la necesidad del cambio de fungicidas de síntesis química, por alternativas biológicas para un posible tratamiento de estas enfermedades, sin que esto comprometa la salud humana y del medio ambiente. En esta vía, se ha venido estudiando el potencial controlador de los microorganismos de bosque frente a los agentes Fitopatógenos asociados a las enfermedades aludidas.

En consecuencia, el presente proyecto tendría por alcance la identificación y estudios preliminares de antagonismo con microorganismos de bosques y cuerpos fluviales del Urabá para el control de enfermedades en banano como la pudrición de corona y la marchitez por Fusarium.

Es importante mencionar que la generación de nuevos fungicidas biológicos implica una gran complejidad técnica, tecnológica, de investigación y experimentación tanto en campo como en laboratorio, lo que presupone un conjunto de etapas para lograr este propósito. En virtud de esto y para avanzar hacia esta ruta, se propone el desarrollo de procesos de bioprospección de microorganismos de bosque de la subregión del Urabá por parte del Grupo de investigación Fitotecnia Tropical del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Posteriormente, se pretende evaluar el potencial antagónico de los microorganismos aislados para el posible control biológico de dichas enfermedades. Este estudio puede ser un insumo importante para futuras investigacionesen la materia.

Todo el proceso investigativo y reflexivo se proyectará a la comunidad a través de la técnica de Bioarte, con el fin de sensibilizar sobre lapertinencia de la conservación de los bosques en la región de Urabá, puesto que este ecosistema es de vital importancia para las poblaciones aledañas al mismo, debido ala cantidad de bienes y servicios ecosistémicos que les brinda no solo a las comunidades sino también al equilibrio ambiental de la región. Bioarte permite enlazar los métodos científicos y avances tecnológicos con la proyección artística y simbólica que se puede generar a través de una exposición o galería viva de microorganismos, en donde los laboratorios se convierten en estudios artísticos y el conocimiento se transmite con nuevas herramientas didácticas, buscando diluir de esta forma lasbarreras entre la ciencia, el arte y la comunidad.

El desarrollo de este proceso investigativo que vincula el estudio de enfermedades en cultivos agrícolas, el potencial biocontrolador de microorganismos de bosque y la técnica de Bioarte implica el fortalecimiento del componente investigativo dispuesto como un servicio de extensión y proyección del Politécnico Jaime Isaza Cadavid dentro del plan de desarrollo institucional para el 2025.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

3.2 MARCO TEÓRICO (*Máximo 3.000 palabras)*

1.1.1 Microorganismos nativos

Los microorganismos de bosque nativo habitan de forma natural en los suelos, aguas y sistemas ambientales, también pueden estar presentes en la parte interna y externa de todos los seres vivientes. Los microbios pueden ser de naturaleza beneficiosa o patógena para las plantas, por lo tanto, el estudio de estos microorganismos ha cobrado relevancia en las investigaciones científicas, puesto que se estima un gran potencial para la generación de biocompostaje, fijación de nitrógeno, biodegradación, biolixiviacion y la mejora en calidad del suelo. Esta actividad microbiana proporciona beneficios tanto para el crecimiento y desarrollo de las plantas como para la sanidad vegetal. Uno de estos beneficios es la capacidad de estos microbios de inhibir la actividad patógena mediante la producción de diversos compuestos o metabolitos tales como antibióticos y sideróforos, así como diversos mecanismos antagónicos. Estos microbios también tienen la capacidad de proporcionar y movilizar o facilitar la absorción de varios nutrientes en el suelo, así como para sintetizar y cambiar la concentración de varias fitohormonas promotoras del crecimiento (Mirsam H et al., 2022).

Así mismo los microbios son componentes fundamentales de los suelos que controlan el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas y forestales, controlan las reservas de carbono orgánico de los suelos, contribuyen a la estabilidad estructural de los agregados de los suelos, suprimen patógenos de suelo de plantas y consecuentemente, interfieren en la salud de las plantas y en su producción. (Bonanomi et al. 2016)

Algunos de los microorganismos que contribuyen al equilibrio de los suelos, provienen del reino Fungi, estos constituyen fuentes potenciales de productos biotecnológicos como metabolitos, enzimas y fitoreguladores, teniendo un papel fundamental en el crecimiento, desarrollo y sanidad de las plantas, sin embargo, actualmente no se tiene información sobre la composición y diversidad de hongos de los suelos de especies forestales nativas (Bonanomi et al. 2016), esta información es muy importante para establecer estrategias, métodos y sistemas que permitan obtener un aprovechamiento razonable de los bosques nativos y su biodiversidad en el ámbito de control de fitopatógenos en cultivos agrícolas.

Según Arpan (Mukherjee et al., 2021) la combinación de diferentes microbios o también llamados consorcios microbianos tienen la capacidad de disminuir el riesgo a que la planta se enferme por agentes patógenos externos, razón por la cual es muy relevante avanzar en los estudios científicos que permitan seguir identificando el potencial antagónico de dichos microbios y sus diversos usos en la agricultura, de cara al control de enfermedades.

En este orden de ideas, el uso de microorganismos del suelo y afluentes de agua dulce, pueden ser potenciales controladores biológicos de la pudrición de corona, una enfermedad importante del cultivo de banano.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

1.1.2 Pudrición de corona del banano

La pudrición de corona del banano es una enfermedad importante en las plantaciones de banano, ya que es responsable de grandes pérdidas en la etapa de poscosecha del fruto. Es una enfermedad en la que pueden participar distintos géneros de patógenos importantes como *Colletotrichum spp., Fusarium spp., Geotrichum spp., Gliocladium spp., Penicillium spp., Alternaria alternata, Cladosporium spp,* entre otros. Dentro de estos géneros, las especies de *Colletotrichum i*dentificadas en la antracnosis del banano son *Colletotrichum gloeosporioides, C. musae, C. scovillei y C. siamense*. Asimismo, las especies reportadas del género Fusarium son un gran complejo, entre las que se pueden mencionar *Fusarium chlamydosporum, F. verticilloides* (Scribano & Garcete, 2016).

En esta enfermedad, los agentes infecciosos permanecen en campo, sobreviviendo en latencia en el ambiente y con sus esporas diseminadas por corrientes de agua y viento, e ingresan por una vía de acceso a la planta, tal como una herida, daños en la piel de los frutos o en la corona de las manos. Esto ocurre generalmente cuando el fruto llega a su madurez, la fruta se cosecha, se corta la corona, y esta es la herida para la entrada de los patógenos y el inicio de la enfermedad (Scribano & Garcete, 2016).

En sus primeras fases, la enfermedad se manifiesta con un reblandecimiento de tejidos superficiales en restos de raquis y corona, avanzando a los pedicelos y a los dedos individuales. Las lesiones inician en la superficie de la corona y se visualizan como manchas negras irregulares con bordes oscuros y parcialmente definidos. Asimismo, en el corte de la corona se puede observar una capa de micelio de colores blancos, grises o rosa (Casquete Mendoza, 2022). Las condiciones que favorecen la entrada y el establecimiento de los patógenos suelen ser el manejo brusco con la fruta, falta de cadenas de enfriamiento, falta de selección y clasificación de la calidad de la cosecha, falta de lavado y desinfección de la fruta antes de ser empacada, materiales inadecuados de empaque, entre otros (Scribano & Garcete, 2016).

El control de esta enfermedad se puede hacer mediante un plan de manejo integrado. Existen prácticas como la desinfección de herramientas de corte constantemente, cortes limpios de las coronas y la remoción de brácteas de las flores, ya que este es un medio que favorece el desarrollo de conidios y esporas. Es importante la selección adecuada de frutos, y descartar aquellos con deformaciones, con daños físicos y presencia evidente de plagas y enfermedades (Casquete Mendoza, 2022). Asimismo, se debe desinfectar el fruto una vez cosechado y antes de su empaquetamiento. Además, es importante el lavado de la cosecha con agua clorada y tratamientos con fungicidas, y mantener menor tiempo de espera entre la cosecha y la refrigeración de esta. Se ha reportado (López y Marrero (2008) citado por (Marin Galarza, 2013)) que temperaturas de 45°C – 47,5°C durante 15 a 30 minutos logran controlar los hongos *Fusarium proliferatum* y *Colletrotrichum musae.* Sin embargo, más exposición a estas temperaturas puede afectar la apariencia y características de la cosecha.

(Scribano & Garcete, 2016) mencionan que son adecuados los tratamientos por inmersión o aspersión con fungicidas de tipo benzimidazoles, imidazoles y triazoles.
Es importante el fungicida sistémico de tipo timanedazol (Mertec) de aplicación en zonas foliares; Imazadil (Magnate), que es sistémico, protector y erradicante (Marin Galarza, 2013).

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Como control biológico, se utilizan microorganismos antagónicos que compiten con los patógenos y han demostrado ser eficaces. Se utilizan hongos y levaduras de manera biocontroladas, las cuales logran una inhibición del crecimiento del patógeno, destrucción de hifas y esporas y reducen el desarrollo de la enfermedad. Sus métodos de acción suelen ser por producción de compuestos antibióticos, secreción de enzimas, parasitismo del patógenos, competencia por nutrientes y sitios de infección, interferencia con factores de patogenicidad, inducción de resistencia a la planta.

Algunos de los microorganismos utilizados para el control de *C. musae* son *Trichoderma harzianum* y *Candida oleophila, Pichia anómala* para pudricioens por *Penicillium spp.,* y *C. musae*. El control biológico puede tener una gran variabilidad en campo debido a las fluctuaciones de condiciones agroclimáticas, ser un medio no controlado y convivir con diversas especies con diferentes interacciones entre ellas. Sin embargo, en poscosecha, ha demostrado ser un 90% más efectivo cuando se aplica con bajos niveles de fungicidas de síntesis química en el proceso. Existen algunos productos como biopesticidas de casa comerciales disponibles basados en levaduras o bacterias, como es el caso de cepas de *Candida oleophila* y *Trichoderma sp* (Zapata et al., 2018).

Otra enfermedad relevante en el cultivo de banano es la marchitez por Fusarium, que, a diferencia de la pudrición de corona, no es una enfermedad de pos-cosecha sino que afecta la planta en etapas más tempranas de su desarrollo.

1.1.1 Marchitez por Fusarium en banano

Fusarium oxysporum f.sp. cubense (Foc) es un hongo habitante del suelo con reproducción estrictamente asexual, que produce microconidios, macroconidios y clamidosporas como estructuras de supervivencia (Pegg et al., 2019). Se considera que el patógeno es hemibiótrofo, ya que la infección inicial establece una relación biotrófica con el hospedador y luego pasa a ser necrótrofo ocasionando la muerte al tejido del hospedero (Dita et al., 2018).

La marchitez causada por Foc en banano, es extremadamente difícil de manejar, debido a su persistencia en el suelo o en el tejido huésped colonizado por las clamidosporas-estructuras de supervivencia, sumado a la capacidad de crecer como hifas en residuos orgánicos e invadir y sobrevivir como endófito asintomático en una amplia variedad de plantas no hospedantes (Hennessy et al., 2005). Actualmente, no existe una forma práctica y efectiva de detectar una planta infectada hasta que se expresen los síntomas externos como la clorosis y marchitamiento de las hojas, que pueden tardar varias semanas o meses después de la infección (Li et al., 2013; Pegg et al., 2019), situación que propicia la diseminación involuntaria de la enfermedad, al realizar labores en plantas infectadas asintomáticas.

La infección por Foc inicialmente está restringida al sistema vascular de las raíces y pseudotallo, donde las clamidosporas en el suelo son estimuladas para germinar por los nutrientes en los exudados de las raíces de banano y los no hospedantes, o por contacto con trozos de residuos vegetales no colonizados, que al infectar las puntas de las raíces penetran la cofia de la raíz y la zona de elongación, donde establecen una relación parasitaria intercelular en la corteza de la raíz, antes de ingresar a los elementos vasculares del xilema (Dita et al., 2018, Pegg et al., 2019). Una vez el hongo llega al rizoma, puede distribuirse dentro del pseudotallo en menos de dos semanas, desencadenando una respuesta de defensa del huésped que involucra la producción de geles, tílides y lignificación que conduce a la oclusión vascular y una alta reducción del transporte de

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

agua y nutrientes; en esas circunstancias, inicia la expresión de los síntomas externos hasta ocurrir el colapso de la planta (Ploetz, 2015).

Las plantas poseen adaptaciones celulares estratégicas inherentes para mitigar la mayoría de los estreses bióticos y abióticos y también dependen de sus holobiontes para defenderse de los invasores parásitos (Moran & Sloan, 2015). Un holobionte es una entidad funcional que se compone de un huésped multicelular y la microbiota asociada. Es ampliamente conocido que muchos endófitos tienen la capacidad no solo de resistir la invasión ejercida por hongos patógenos, sino que también pueden apoyar el crecimiento de las plantas (Etesami & Alikhani, 2017; Sabaté et al., 2018; Savani et al., 2020).

Se ha observado que, a pesar de los desarrollos significativos y el rendimiento superior de las plantas cultivadas del tejido, en comparación con el material de siembra convencional las plántulas micropropagadas resultan más susceptibles a la Marchitez por Fusarium (Dita et al., 2014). Por lo anterior, se puede considerar el control biológico de la enfermedad mediante el empleo de microorganismos de bosque como una alternativa promisoria para minimizar las pérdidas causadas por el patógeno.

Con la presente investigación se pretende, además, concientizar a la comunidad sobre la preservación de los bosques y afluentes de la zona de Urabá por medio del arte como dispositivo de comunicación y acercamiento con otros lenguajes más allá de lo técnico y científico. En este sentido, la disciplina de Bioarte permite recrear la vida microbiana en medios de cultivo con gran potencialidad expositiva debido a la diversidad de formas, colores y texturas. A continuación, se detalla un poco más esta técnica.

1.1.2 Bioarte

El arte y la ciencia no siempre han estado divididos, históricamente los grandes pensadores han estado inmersos en diversas disciplinas y campo disciplinares, por lo que ha sido común generar relaciones entre las distintas áreas del saber, articulando de esta forma las ciencias naturales con las humanidades, especialmente las artes. Desde principios del siglo XX, muchos microbiólogos han “pintado” con bacterias. Es tanto así que Alexander Fleming, el descubridor de la penicilina, fue un gran artista microbiano y un estudiante de la técnica de pintura con acuarelas, por lo que su práctica artística se trasladó a la ciencia. (Torruellas García et al., 2022)

El artista y científico Eduardo Kac nombró al arte hecho a base de microorganismos vivos como Bioarte o Arte transgénico. El Bioarte tiene como finalidad unir a la ciencia y al arte en un mismo campo disciplinar, además pretende generar interrogantes sobre la forma humana y la vida en general a partir de la creación de obras de arte con material vivo, es por esto que el Bioarte se ha configurado como una de las primeras vanguardias del siglo XX y XXI que viene transformando las visiones sobre la estética, el arte, la ciencia y la tecnología.

Entre sus campos de estudio para crear conceptos y modelos estéticos, se encuentran diversas áreas científicas como la microbiología, biología, biotecnología, estudio de ADN, medicina e incluso taxidermia, lo que le da un fuerte componente interdisciplinario. Es por esto, que el Bioarte puede entenderse como una forma de arte que utiliza la materia viva como medio de

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

expresión, a partir de diferentes medios, recursos técnicos y conceptualizaciones. (Hanafi & Gamache, 2019).

Es pertinente mencionar que el Bioarte como cualquier expresión artística hace uso de la tecnología en la época que se desarrolla y, por ende, refleja el contexto sociocultural, político, económico e histórico de una sociedad determinada. Este tipo de arte transforma los laboratorios en galerías vivas y disuelve las barreras entre el arte, la ciencia y la comunidad. (Medina, 2007)

El arte en agar es una forma de bioarte en la que se pintan o se dibujan con microorganismos pigmentados en placas de agar siendo este un medio esterilizado. El agar nutritivo es un medio de cultivo para bacterias muy utilizado, donde estas forman sus colonias en la superficie y se utiliza para diferentes fines de laboratorio. Es transparente y con ello, para hacer arte se puede usar una figura calcable que se pone en el fondo de la caja y se traza con los aplicadores estériles impregnados de los microrganismos escogidos como una paleta de colores (hasta el momento, invisibles), o simplemente dibujado sobre la superficie a mano alzada. Se pueden lograr piezas de arte basados en los tiempos fisiológicos de los organismos, su interacción y antagonismo, condiciones de temperatura, cambios de pH, entre otros (Adkins- Jablonsky et al., 2021).

La mayoría de obras de Bioarte compuestas por cultivos microbiológicos de poblaciones de bacterias y hongos vivos, se exponen como obras de arte y buscan trasmitir conceptos estéticos, filosóficos y socio-culturales mediante diferencias fenotípicas y fisiológicas de los cultivos, así como la relevancia del paso del tiempo en su madurez biológica y su interacción como tal. Debido a los protocolos de manipulación de estos organismos y la asepsia que se requiere en su manejo, muchos de los artistas de bioarte trabajan en medios como laboratorios en lugar de espacios artísticos convencionales.

Las bacterias generalmente viven en comunidades junto con formas de vida tales como arqueas, microbios eucariotas, plantas y animales, y su comportamiento dentro de estas comunidades complejas es diferente a su comportamiento en ambientes controlados de laboratorio o en cultivos aislados propiamente. Esto sucede porque los organismos se relacionan entre ellos, los efectos del medio ambiente y las interacciones entre todo lo anterior, lo cual se suele conocer como la ecología de microbios. Las bacterias pueden producir formas y colores llamativos al crecer en cajas de Petri, y los artistas de bioarte pueden basarse en esto para crear diseños propios. Esto se compone de una experimentación de cultivos mixtas, que puede tener una profunda relación ecológica y una serie de experimentaciones científicas asociadas al comportamiento de estas (Morris & Adkins, 2017)

Con respecto a la bioseguridad, cabe destacar que, al manipular microorganismos y sustancias químicas de laboratorio, se deben seguir una serie de protocolos de laboratorio a la hora de hacer bioarte. Muchas de las veces, se toman muestras de microorganismos no identificados y después de su aislamiento y formación de colonias, se les hace su identificación, por lo que al iniciar son inciertos los microorganismos con los cuales se está interactuando y algunos pueden ser potencialmente peligrosos (Morris & Adkins, 2017).

Algunos de los microorganismos utilizados para el bioarte en agar pueden ser las bacterias como; *Bacillus subtilis, Chromobacterium violaceum, Escherichia coli, Micrococcus luteus, Micrococcus roseus, Proteus mirabilis, Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescens, Serratia marcescens, Staphylococcus aureus, Vibrio fischeri*, entre otras. Además, cuando se trabaja con

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

hongos, se destaca su textura y formaciones de colonias. En estos casos son reconocidos *Aspergillus flavus, Aspergillus ochraceous, Aureobasidium pullulans, Candida albicans, Candida sake, Candida sp., Cladosporium herbarum, Cladosporium resinae, Epicoccum nigrum, Fusarium sp., Rhodotorula sp., Scopulariopsis brevicaulis*. Incluso se han reportado algunos microorganismos del reino protista, como *Euglena gracilis y Physarum polycephalum.* (word press y atahualpa , 2023)

Las ciencias como la microbiología se suelen percibir con respecto a la población general como algo distante, y se tiende a tener la visión de que los microorganismos son solo relevantes cuando se contrae una infección, la percepción pública de los “gérmenes” otorgando una opinión negativa predominante, donde hay desconocimiento y miedo frente a nuestra relación con estos organismos. Una de las grandes dificultades para relacionarse y ser conscientes de todos los microrganismos con los que convivimos en el día a día es que no son visibles para el ojo humano y herramientas como los microscopios pueden ser difíciles de adquirir, necesitan capacitación y guías para posteriormente comprender lo que se observa en los campos. Por ello, es importante la exposición a imágenes de microbios de maneras más lúdicas y pedagógicas para mejorar la percepción de la microbiota, con la que estamos íntimamente relacionados, ya sea en nuestro propio cuerpo, en el ambiente, para procesos físicos, y en las comidas y procesos industriales a los que estamos muy acostumbrados como naturales (McGenity et al., 2020).

En este sentido, el bioarte es una herramienta no solo artística y derivada de la disciplina científica, sino que puede utilizarse como medio pedagógico y didáctico para generar discusiones en el observador sobre los microorganismos, su desarrollo, su interacción, su ecología. Se vuelve entonces una importante herramienta divulgativa de forma creativa para facilitar el acercamiento a los microbios, su muestreo y nuestra relación con ellos (McGenity et al., 2020). Por esto, es necesario la implementación de actividades, programas y currículos interdisciplinarios que abarquen las ciencias y las artes, para fomentar competencias esenciales y complementarias, y brindar una educación más integral (Torruellas Garcia et al., 2022).

3.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.3.1 Objetivo General

Generar conocimiento sobre el potencial biocontrolador de microorganismos que habitan en el suelo y cuerpos fluviales de bosques naturales en la subregión de Urabá, para el control de pudrición de corona y marchitez por Fusarium en cultivo de banano de exportación.

3.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el antagonismo de microbios nativos sobre *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* agente causal de la marchitez por fusarium *y Colletotrichum spp.* Agente causal de la pudrición de corona en banano.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

- Identificar molecularmente aquellos microbios que exhiban el mayor potencial antagonista sobre las enfermedades de banano, así como 5 microbios qu exhiban potencial para hacer Bioarte.

- Promover conocimiento en torno al potencial antagónico de los microbios nativos sobre *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp.* mediante una exhibición microbiana y su potencial biocontrolador.

3.4 METODOLOGÍA PROPUESTA

El detalle de la metodología para cada objetivo específico se encuentra en Anexo 1. A continuación se siguen las indicaciones del formato Institucional para describir la metodología:

3.4.1 Diseño (*Máximo 200 palabras)*

Se llevará acabo metodología cuantitativa, midiendo el crecimiento *in vitro* de los hongos causantes de la enfermedades descritas por efecto de los microorganismos hallados y la cantidad de enfermedad en banano por efecto de los microorganismos. La colecta de los hongos y las bacterias se realizarán en el suelo y fuentes hídricas del bosque natural tropical seco, húmedo y muy húmedo de la zona de Urabá (ver en anexo 1información detallada). El patógeno *Colletotrichum sp.* y *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* serán suministrados por el Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO/AUGURA). El antagonismo de los microorganismos sobre los patógenos, se hará midiendo el crecimiento de los patógenos mediante el programa de procesamiento de imagen digital libre ImageJ 1.53K (https://imagej.nih.gov/ij/). Seguidamente, Aquellos aislados bacterianos y fúngicos que presenten el mayor antagonismo hacia el hongo *Colletotrichum sp*, y *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* serán identificados molecularmente siguiendo la metodología expuesta por Betancur et al., (2017). Finalmente, los microorganismos que presenten el mayor potencial antagónico a la enfermedad en banano, serán exhibidos a las comunidades de influencia de las zonas de estudio mediante la exhibición del crecimiento y desarrollo de los microbios en medios de cultivo artificial.

3.4.2 Características de los participantes (*Máximo 200 palabras)*

Los participantes de la investigación serán docentes, estudiantes y personal técnico del cultivo de banano y productores de la fruta.

3.4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información (*Máximo 150 palabras)*

Se utilizará el diario de campo, el cual servirá de instrumento de sistematización de la información recopilada de todas las etapas del proceso investigativo. En esta herramienta se depositan los datos que arrojan el desarrollo de procedimientos técnicos, protocolos, así como los comportamientos, antagonismos y variables, de forma periódica y cronológica, a través de un riguroso ejercicio de observación y análisis permanente.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

El diario de campo estará conformado por textos elaborados por el investigador con información derivada del monitoreo de los procesos y protocolos desarrollados, así como fotografías de seguimiento en orden cronológico, permitiendo la trazabilidad en las etapas de investigación y creación.

Se determinará el área de crecimiento de *Colletotrichum sp* y *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* en medio de cultivo, empleando el programa de procesamiento de imagen digital libre ImageJ 1.53K (https://imagej.nih.gov/ij/) (Henao, 2022).

3.4.4 Procedimiento *(Máximo 250 palabras)*

El lugar donde se llevará a cabo la investigación son:
Politécnico Colombiano JIC: Laboratorio de Bioporospección Regional en Medellín

La recolección de los datos se llevará a cabo mediante toma de fotografías y análisis de imágenes en condiciones de laboratorio y de campo; así como también lectura de la cantidad de enfermedad en banano con base en escalas estandarizadas.

3.4.5 Análisis de Información *(Máximo 200 palabras)*

La estimación del porcentaje de inhibición se calculará mediante la fórmula: IRC= (R1-R2)/(R1) *100, donde R1 es el radio del crecimiento de *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp* en el control y R2 es el radio de crecimiento de *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp* en el tratamiento con los microbios de bosque seleccionados. Se Realizará el proceso por triplicado con cada microorganismo.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

3.5 CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Evaluar el antagonismo de microbios nativos sobre *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* agente causal de la marchitez por fusarium *y Colletotrichum spp.* Agente causal de la pudrición de corona en banano.	x	x	x	x	x	X						
Identificar molecularmente aquellos microbios que exhiban el mayor potencial antagonista sobre las enfermedades de banano, así como 5 microbios que exhiban potencial para hacer Bioarte.						x	x	x	x	x		
Promover conocimiento en torno al potencial antagónico de los microbios nativos sobre *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp.* mediante una exhibición microbiana y su potencial biocontrolador.										x	x	
Informes de avance			x			x			x			x

3.6 COMPROMISOS DE PRODUCCIÓN Y ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN (Deberán coincidir con los requisitos de la convocatoria)

Compromisos de Producción.	
4.2.1	Una Publicación aprobada en revista indexada Publindex MinCiencias: B.
4.2.2	Un Producto de Apropiación Social del conocimiento – Evento científico con memorias.
Estrategias de Comunicación	
4.2.3	Entrega del Informe Final del Proyecto.
4.2.4	Evento de Divulgación Interna de resultados.
4.2.5	Propuesta de Impacto del Currículo.
Formación del Recurso Humano	
4.2.6	Estudiante en formación de pregrado o posgrado.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

3.7 RESULTADOS ESPERADOS

OBJETIVO	RESULTADO	RESPONSABLE	INDICADOR DE LOGRO	MES DE CUMPLIMIENTO
Evaluar el antagonismo de microbios nativos sobre *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* agente causal de la marchitez por fusarium *y Colletotrichum spp.* Agente causal de la pudrición de corona en banano.	3 microbios que muestren mayor antagonismo con las enfermedades	Investigadora principal y coinvestigador	Listado de los aislamientos microbianos por su capacidad de reducir el crecimiento delos Fitopatógenos	6
Identificar molecularmente aquellos microbios que exhiban el mayor potencial antagonista sobre las enfermedades de banano, así como 5 microbios que exhiban potencial para hacer Bioarte.	Secuenciación de la región conservada delos 2 aislados microbianos seleccionados	Investigadora principal y coinvestigador	Identificación molecular delos microbios con mayor potencial antagonista y de crecimiento vistoso para Bioarte	10
Promover conocimiento en torno al potencial antagónico de los microbios nativos sobre *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp.* mediante una exhibición microbiana y su potencial biocontrolador.	Exhibición mediante la técnica de Bioarte del crecimiento de los microbios antagonistas y los más llamativos visualmente porsu potencial parahacer arte	Investigadora principal y coinvestigador	Exhibición a la comunidad que habita lossitios de muestreo así como la comunidad politécnica y en general	12

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

3.8 COMPROMISOS DE LAS ENTIDADES EXTERNAS PARTICIPANTES (Si Aplica)

N/A

3.9 COMUNIDAD IMPACTADA CON EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA (directa e indirecta)

3.9.1 Impacto Social: *(Máximo 250 palabras)*

- El resultado del presente proyecto permitirá formar docentes y estudiantes de la Facultad de Ciencias Agrarias del Politécnico Colombiano JIC en el área de control biológico de enfermedades en cultivos agrícolas.

- Generación de conocimiento para la comunidad científica que aborda la investigación en el control biológico de enfermedades en plantas.

- Todo el proceso investigativo y reflexivo se proyectará a la comunidad a través de la disciplina de bioarte, con el fin de sensibilizar sobre la pertinencia de la conservación de los bosques en la región de Urabá, puesto que este ecosistema es de vital importancia para las poblaciones aledañas al mismo, debido a la cantidad de bienes y servicios ecosistémicos que les brinda no solo a las comunidades sino también al equilibrio ambiental de la región.

- Bienestar para la salud de los agricultores de banano en Colombia y la sostenibilidad de la producción de la fruta de estas plantas, al proyectarse un componente biológico en el manejo integrado de la enfermedad, dadas las actuales y futuras restricciones al uso de fungicidas convencionales de síntesis química.

3.9.2 Impacto al Currículo: *(Máximo 250 palabras)*

1.1.2.1 Temática

Los proyectos de investigación en Ingeniería Agropecuaria están alineados con el perfil de egreso y los resultados de aprendizaje esperados del programa. Estos proyectos permiten que los estudiantes participen en redes de investigación aplicada dentro del sistema de ciencia, tecnología e innovación, y refuercen sus competencias para investigar enfermedades y aplicar esos resultados en la producción agrícola. Esto contribuye a que los graduados puedan abordar problemáticas técnicas bajo normativas vigentes.

En el contexto de la solicitud de ampliación del programa al Centro Regional Apartadó-Urabá, estas investigaciones son altamente relevantes. Ayudan a fortalecer la relación del programa con el sector agrícola, mejorando las dinámicas productivas y la calidad de vida en la región, incidiendo en su transformación territorial, especialmente en Urabá.

Los proyectos, que surgen de la dinámica curricular, se implementan en la práctica docente y retornan al currículo a través de la enseñanza. Estos resultados podrían integrarse a los cursos de Química, Microbiología, Fitopatología y Protección Vegetal, como capítulos adicionales o incluso como nuevos cursos. La propuesta será presentada al Comité de

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Currículo para que se refleje en las plantillas y guías didácticas, y potencialmente generar material didáctico valioso para nuevos cursos o talleres.

3.10 ASPECTOS ÉTICOS *(Máximo 200 palabras)*

Se incluirá en el registro del proyecto en la plataforma Universitas el Permiso de Colecta ANLA para el grupo Fitotecnia Tropical RESOLUCIÓN N° 01845 (15 de octubre de 2021) con fines de investigación científica.

Con respecto a la necesidad de contar con Contrato de Acceso a Recurso Genético y sus Productos Derivados, , se considera que el presente proyecto NO requiere de un contrato de Acceso a los Recursos Genéticos y sus Productos Derivados; lo anterior teniendo en cuenta que las actividades a realizar no configuran acceso a los recursos genéticos y/o productos derivados de los especímenes objeto de estudio, definidas como: 1-la separación de las unidades funcionales y no funcionales del ADN y/o ARN, en todas las formas que se encuentren en la naturaleza. 2. Las que pretenden el aislamiento de una o varias moléculas, entendidas estas como micro y macromoléculas, producidas por el metabolismo de un organismo y 3. Siempre que se pretenda solicitar patente sobre una función o propiedad identificada de una molécula, que no se ha aislado y purificado" . Las acciones a realizar en el proyecto corresponden a ecología molecular y sistemática molecular con fines no comerciales y tampoco se pretende
derechos de patente de los productos o procedimientos desarrollados, a partir de los recursos genéticos y sus productos derivados procedentes del territorio Nacional.

Todos los proyectos que sean **aprobados se deben presentar al Comité de Ética Institucional (CEPI)**, y serán recibidos para su evaluación siempre y cuando se envíe la siguiente información en formato electrónico al email cepi@elpoli.edu.co.

3.10.1 Consentimiento informado (Anexo).

3.10.2 Cuestionarios o formularios que se utilizarán para recoger información de los participantes.
No aplica

3.10.3 Copia de aprobación del proyecto por otros comités de ética de investigación, (aplica solo en caso de que los tenga).
No aplica

Nota: El comité de ética podrá aprobar, aprobar con modificaciones o rechazar las propuestas con base en este ítem.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

4.0 FUNCIONES DEL ESTUDIANTE

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	COMPROMISOS
Isabela Montoya García Documento de identidad: **1000306394**	Apoyo en la preparación y aplicación de los tratamientos, y en la preparación de informes de avance y final.

5. PRESUPUESTO

Tabla 5.1 Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación.

RUBROS	FUENTES				TOTAL
	CONTRAPARTIDA PCJIC		OTRAS ENTIDADES *		
	Flujo de Efectivo	Recursos Propios	Flujo de Efectivo	Recursos Propios	
Personal(*Integrantes equipo Investigador***)**	19.000.000	MÁX 40%			19.000.000
Equipos	14.000.000	MÁX 50%			14.000.000
Software					
Materiales y suministros	9.000.000				9.000.000
Salidas de campo	10.000.000	MÁX 50%			10.000.000
Publicaciones y patentes					
Prestación de servicios profesionales	8.000.000 Taxonomía molecular				8.000.000
Viajes		MÁX 20%			
Totales	**60.000.000**				**60.000.000**

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Tabla 5.1.1. Descripción mensual del valor de la ejecución del presupuesto

RUBROS	EJECUCIÓN MENSUAL											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Personal (*Integrantes equipo Investigador*)	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333
Equipos	14.000.000											
Software												
Materiales y suministros	9.000.000											
Salidas de campo	5.000.000	5.000.000										
Publicaciones y patentes												
Prestación de servicios profesionales	8.000.000											
Viajes												
Totales	37.583.333	6.583.333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333	1.583,333

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Tabla 5.2 Descripción de los gastos de personal.

INVESTIGADOR / COINVESTIGADOR/ ESTUDIANTE EN FORMACIÓN	FORMACIÓN ACADÉMICA	FUNCIÓN DENTRO DEL PROYECTO	DEDICACIÓN (hora / semana)	FUENTES				TOTAL
				Contrapartida PCJIC		Otras entidades		
				Flujo de efectivo	Recursos Propios	Flujo de efectivo	Recursos Propios	
Alejandra Yulieth Clavijo Aristizábal	Ingeniera Agropecuaria	Investigadora ppal	7	19.000.000				19.000.000
Isabela Montoya García	Estudiante Ing. Agropecuaria	Estudiante en formación	8	0				0
TOTAL				19.000.000				**19.000.000**

Tabla 5.3 Descripción de los equipos que se planea adquirir y de uso propio.

EQUIPO	JUSTIFICACIÓN	FUENTES				TOTAL
		Contrapartida PCJIC		Otras entidades		
		Flujo de efectivo	Recursos Propios	Flujo de efectivo	Recursos Propios	
Microscopio	Observación detallada, análisis, monitoreo de crecimiento de microorganismos	14.000.000				14.000.000
TOTAL		**14.000.000**				**14.000.000**

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Tabla 5.4 Descripción de software que se planea adquirir y de uso propio.

NOMBRE DE SOFTWARE	JUSTIFICACIÓN	FUENTES				TOTAL
		Contrapartida PCJIC		Otras entidades		
		Flujo de efectivo	Recursos Propios	Flujo de efectivo	Recursos Propios	
TOTAL						

Tabla 5.5 Descripción y justificación de los viajes para el cumplimiento de la presentación de resultados del proyecto en eventos de socialización.

Lugar	Justificación**	Pasajes ($)	Estadía ($)	Total días	FUENTES				TOTAL
					Contrapartida PCJIC		Otras Entidades		
					Flujo de efectivo	Recursos Propios	Flujo de efectivo	Recursos Propios	
TOTAL									

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Tabla 5.6 Descripción y justificación de las salidas de campo.

Lugar /No. de viajes	Justificación**	Pasajes ($)	Estadía ($)	Total días	FUENTES				TOTAL
					Contrapartida PCJIC		Otras Entidades		
					Flujo de efectivo	Recursos Propios	Flujo de efectivo	Recursos Propios	
Golfo de Urabá / 3	Toma de muestras suelo y afluente en bosques	$ 1.100.000 (Transporte terrestre Medellín-Turbo-Medellín, estadía 4 días) * 3 viajes	$ 900.000/viaje * 3 viajes	4 días / viaje* 3 viajes = 12 días	$10.000.000				$10.000.000
1 Viaje $3.333.333 x 3 viajes									
TOTAL					$10.000.000				$10.000.000

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Tabla 5.7 Materiales, suministros y bibliografía.

Materiales*	Justificación	FUENTES				TOTAL
		Contrapartida PCJIC		Otras Entidades		
		Flujo de efectivo	Recursos Propios	Flujo de efectivo	Recursos Propios	
Material fungible (Reactivos, materiales e insumos de laboratorio)	Preparación de medios de cultivo para las bacterias, preparación de soluciones, limpieza y trabajo aséptico dentro del laboratorio	4.500.000				**4.500.000**
Insumos de campo (Sustratos, fertilizantes, plaguicidas)	Establecimiento y manejo de plantas en campo para aplicación de los tratamientos en vivo.	4.500.000				**4.500.000**
TOTAL						**9.000.000**

Pueden agruparse por categorías, Ejemplo: vidriería, reactivos, papelería, suscripciones a revistas, libros, etc.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Tabla 5.8 Prestación de servicios profesionales.

Tipo de servicio	Justificación	FUENTES				TOTAL
		Contrapartida PCJIC		Otras Entidades		
		Flujo de efectivo	Recursos Propios	Flujo de efectivo	Recursos Propios	
Servicio de identificación molecular de hongos y bacterias	Determinación de especies microbianas con mayor potencial de biocontrol					8.000.000
TOTAL						**8.000.000**

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

6. BIBLIOGRAFÍA *(Mínimo 20 referencias)*

Adkins-Jablonsky, S. J., Arnold, E., Rock, R., Gray, R., & Morris, J. J. (2021). Agar art: A CURE for the microbiology laboratory. *Journal of Microbiology & Biology Education*, *22*(2), e00121-21.

Aguilar, R., Garcia, R., Dulanto, J., Maldonado, E. (2013). Hongos asociados a la pudrición de la corona en frutos de banano orgánico (Musa spp. L.) en Piura, Perú, (2013), pp. 81.

Arpan Mukherjee, Gowardhan Kumar Chouhan, Anand Kumar Gaurav, Durgesh Kumar Jaiswal, Jay Prakash Verma, Chapter 9 - Development of indigenous microbial consortium for biocontrol management, Editor(s): Jay Prakash Verma, Catriona A. Macdonald, Vijai Kumar Gupta, Appa Rao Podile, New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, Elsevier, 2021, Pages 91-104, ISBN 9780444643254, https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64325-4.00009-2.

Astchul SF, Gish W, Miller W, Myers EV, Lipman D (1990) Basic local alignment tool. J Mol Biol 215:403–410

Augura. (2021) Coyuntura bananera. Recuperado de: https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA-2021.pdf

Betancur, L. A., Naranjo-Gaybor, S. J., Vinchira-Villarraga, D. M., Moreno-Sarmiento, N. C., Maldonado, L. A., Suarez-Moreno, Z. R., ... & Ramos, F. A. (2017). Marine Actinobacteria as a source of compounds for phytopathogen control: An integrative metabolic-profiling/bioactivity and taxonomical approach. *PLoS One*, *12*(2), e0170148

Bonanomi, g., de filippis, f., cesarano, g., la storia, a., ercolini, d. y scala, f. "Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agro-ecosystem functions." Soil Biology and Biochemistry [en línea], vol. 103, 2016. pp. 327-336. ISSN 0038-0717. [Consulta 2023-03-03]. Disponible en: https://www.mendeley.com/catalogue/db2b924ac40d-3542-8cf6-e9c6e9a5de6a/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.6&utm_campaign=open_catal g&userDocumentId=%7Bcce19988-2cf0-48ea-8aa3-145230124a1a%7D

Casquete Mendoza, J. A. (2022). *Eficacia de fungicidas para la pudrición de corona del fruto (Colletotrichum musae) de Banano (Musa AAA)* [B.S. thesis]. BABAHOYO: UTB, 2022.

Comisión europea (2020). Estrategia "De la granja a la mesa". Recuperado https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/noticias/2020/Presentacion_Estrategia_de_la_Granja_a_la_mesa.pdf

De Souza Sebastianes, F. L., Romão-Dumaresq, A. S., Lacava, P. T., Harakava, R., Azevedo, J. L., de Melo, I. S., & Pizzirani-Kleiner, A. A. (2013). Species diversity of culturable endophytic fungi from Brazilian mangrove forests. Current Genetics, 59(3), 153– 166. doi:10.1007/s00294-013-0396-8

Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., & Staver, C. P. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. Frontiers in Plant Science, 871(October), 1–21. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Droby, S. 2006. Mejora de la calidad y seguridad de frutas y hortalizas frescas después de la cosecha mediante el uso de agentes de control biológico y materiales naturales. Acta Hortic. 709: 45–51.

Eden PA, Schmidt TM, Blakemore RP, Pace NR. Phylogenetic analysis of Aquaspirillum magnetotacticum using polymerase chain reaction-amplified 16S rRNA-specific DNA. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 1991; 41(2):324±5.

Etesami, H., & Alikhani, H. A. (2017). Evaluation of Gram-positive rhizosphere and endophytic bacteria for biological control of fungal rice (Oryzia sativa L.) pathogens. European Journal of Plant Pathology, 147(1), 7–14. https://doi.org/10.1007/s10658-016-0981-z

Hanafi, N. A., & Gamache, G. (2019). Challenges working with bacteria for artistic purpose in Bio Art. *Copyright\copyright 2019 Global Academic Excellence (M) Sdn Bhd All rights reserved. No part of this proceeding may be reproduced in any form, except for the inclusion of brief quotations in review, without permission in writing from the author/publisher.*, 59.

Henao (2016). Recopilado de boletines publicados por la Asociación bananeros de Colombia, AUGURA. (2021).

Hennessy, C., Walduck, G., Daly, A., & Padovan, A. (2005). Weed hosts of Fusarium oxysporum f. sp. cubense tropical race 4 in northern Australia. Australasian Plant Pathology, 34(1), 115–117. https://doi.org/10.1071/AP04091

Li, C., Shao, J., Wang, Y., Li, W., Guo, D., Yan, B., Xia, Y., & Peng, M. (2013).
Analysis of banana transcriptome and global gene expression profiles in banana roots in response to infection by race 1 and tropical race 4 of Fusarium oxysporum f. sp. cubense. BMC Genomics, 14(1), 1–16. https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-851

Marin Galarza, P. P. (2013). *Fungicidas comerciales para el control de hongos patógenos causantes de la descomposición de corona en el cultivo de banano (Musa Spp)* [B.S. thesis]. Quevedo: UTEQ.

Maryani, N., Lombard, L., Poerba, Y. S., Subandiyah, S., Crous, P. W., & Kema, G.
H. J. (2019). Phylogeny and genetic diversity of the banana Fusarium wilt pathogen Fusarium oxysporum f. sp. cubense in the Indonesian centre of origin. Studies in Mycology, 92, 155–194. https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.003

Medina, E. (2007). Bioarte: Una nueva fórmula de expresión artística. Revista digital Universitaria. Recuperado de: https://www.revista.unam.mx/vol.8/num1/art01/ene_art01.pdf

McGenity, T. J., Gessesse, A., Hallsworth, J. E., Garcia Cela, E., Verheecke-Vaessen, C., Wang, F., Chavarría, M., Haggblom, M. M., Molin, S., & Danchin, A. (2020). Visualizing the invisible: Class excursions to ignite children's enthusiasm for microbes. En *Microbial biotechnology* (Vol. 13, Número 4, pp. 844-887). Wiley Online Library.

Mirsam H, Suriani, Aqil M, Azrai M, Efendi R, Muliadi A, Sembiring H, Azis AI. Molecular characterization of indigenous microbes and its potential as a biological control agent of Fusarium stem

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

rot disease (Fusarium verticillioides) on maize. Heliyon. 2022 Nov 30;8(12):e11960. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11960.

Moran, N. A., & Sloan, D. B. (2015). The Hologenome Concept: Helpful or Hollow? PLoS Biology, 13(12), 1–10. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002311

Morris, J. J., & Adkins, S. J. (2017). *THE ART OF MICROBIOLOGY*.

Munoz R, Yarza P, Ludwig W, EuzeÂby J, Amann R, Schleifer K-H, et al. Release LTPs104 of the allspecies living tree. Systematic and applied microbiology. 2011; 34(3):169±70. doi: 10.1016/j.syapm. 2011.03.001 PMID: 21497273

Pegg, K. G., Coates, L. M., O'Neill, W. T., & Turner, D. W. (2019). The Epidemiology of Fusarium Wilt of Banana. In Frontiers in Plant Science (Vol. 10, p. 1395).
Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01395

Ploetz, R. C. (2015). Management of Fusarium wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. Crop Protection, 73, 7–15. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.007

Pruesse E, Peplies J, GloÈckner FO. SINA: accurate high-throughput multiple sequence alignment of ribosomal RNA genes. Bioinformatics. 2012; 28(14):1823±9. doi: 10.1093/bioinformatics/bts252 PMID: 22556368

Raeder U, Broda P (1985) Rapid preparation of DNA from filamentous fungi. Lett Appl Microbiol 1:17–20

Sabaté, D. C., Brandan, C. P., Petroselli, G., Erra-Balsells, R., & Audisio, M. C.

(2018). Biocontrol of Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary on common bean by native lipopeptide-producer Bacillus strains. Microbiological Research, 211(April), 21–30. https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.04.003

Savani, A. K., Bhattacharyya, A., & Baruah, A. (2020). Endophyte mediated activation of defense enzymes in banana plants pre-immunized with covert endophytes.
Indian Phytopathology, 73(3), 433–441. https://doi.org/10.1007/s42360-020-00245-8

Scribano, F. R., & Garcete, V. (2016). Eficiencia de fungicidas de síntesis y orgánicos sobre la pudrición de corona del fruto de banano Musa acuminata Colla en la provincia de Formosa, Argentina. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, *42*(2), 201-206.

Torruellas Garcia, J., López-Moreno, K., Côté, V., & Crump, K. (2022). Creating an Interdisciplinary Curriculum within the Undergraduate Arts and Sciences through Agar Art. *Journal of Microbiology & Biology Education*, *23*(1), e00160-21. https://doi.org/10.1128/jmbe.00160-21

Vasanthakumari, MM, Shridhar, J., Madhura, RJ, Nandhitha, M., Kasthuri, C.,

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Janardhana, B., ... y Shaanker, RU (2019). Papel de los endófitos en el crecimiento temprano de las plántulas de las plantas: una prueba que utiliza un tratamiento de semillas con fungicida sistémico. Informes de fisiología vegetal , 24 (1), 86-95.

Westram R BK, PruÈûe E, Kumar Y, Meier H, GloÈckner FO, and LudwigWARB: a software environment for sequence data. In: (de Bruijn F.J., ed.) Handbook of Molecular Microbial Ecology I: Metagenomics and Complementary Approaches, Wiley-Blackwell. 2011.

White T, Burns T, Lee S, Taylor J (1990) Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics.

word press y atahualpa . (2023). Microbial Art. Obtenido de https://www.microbialart.com/microbes/

Zapata, Y., Cotes, A. M., Jijakli, H., & Wisniewski, M. (2018). *Control biológico de patógenos en poscosecha*.

7. ASPECTOS NORMATIVOS ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN

El Politécnico colombiano Jaime Isaza Cadavid como entidad de educación superior e investigación, viene fortaleciendo los procesos para garantizar el apoyo a grupos e investigadores que buscan la generación de nuevo conocimiento, es por tal motivo que se conforma el Comité de Ética de la Institución CEPI cuyo objetivo es evaluar el cumplimiento de la normatividad nacional e internacional relacionada con la ética de la investigación, garantizando la protección animal y humana en la investigación y la cualificación de la producción científica dentro de la institución.

Los proyectos deben estar ajustados a la normatividad internacional tal como la declaración de Helsinki, las pautas éticas para la investigación biomédica preparadas por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas –CIOMS, el Código Núremberg y a los parámetros establecidos en la Resolución 8430 de 1993 expedida por el Ministerio de Salud de Colombia, la ley 84 de 1989 en los casos que competa.

Adicionalmente se debe tener en cuenta la siguiente normativa (en caso de que aplique):

- República de Colombia. Ministerio de Salud. Resolución 8430. 4 de octubre de1993.
- República de Colombia. Ministerio de la Protección Social. Resolución 2378. 25 de junio de 2008.
- República de Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Resolución 068. 22 de enero de 2002.
- República de Colombia. Congreso de la Republica. Ley 84. 27 de diciembre de 1989.
- República de Colombia. Congreso de la Republica. Ley 576. 15 de febrero de 2000.
- República de Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Decreto 1375. 21 de junio de 2013.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

- República de Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Decreto 1376. 27 de junio de 2013.
- República de Colombia. Presidente de la Republica. Decreto 309. 25 de febrero de 2000.
- República de Colombia. Organización de las Naciones Unidas. Protocolo de Cartagena sobre seguridad en la biotecnología. Ley 165 de 1994.
- Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS), Organización Mundial de la Salud - OMS. Pautas éticas internacionales para la investigación biomédica en seres humanos. 2002.
- International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use. Good Clinical Practice (GCP). Published in the Federal Register, 9 May 1997, Vol. 62, No. 90, p. 25691-25709.
- Council for International Organization of Medical Sciences, International Council for Laboratory Animal Science. Guía internacional para investigación biomédica que involucre animales. Pág. 4. 2012.
- Manila conference on animal welfare, Costa Rica steering committee meeting for ministerial conference. Universal Declaration on Animal Welfare. 2007. Pág. 2.
- Directive 86/609/EEC on the protection of animals used for experimental and other scientific purposes.

Fecha de entrega: 27 de septiembre de 2024

Firma del Investigador principal: 

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Anexo 1. Detalle Metodología

1.1.1 Aislamiento de microbios nativos:

Se determinarán las coordenadas geográficas de un foco intervenido por acciones antrópicas. Al interior de cada tipo de bosque, se removerán los 3 primeros centímetros de la capa superficial y luego se introducirá un barreno hasta una profundidad de 30 cm. EL volumen del suelo extraído mediante este barreno constituirá una submuestra realizando 3 submuestras por sitio en cada tipo de bosque. Las submuestras así obtenidas serán inmediatamente almacenadas en condiciones de refrigeración (4ºc) hasta llegar al laboratorio de biología del centro regional del politécnico en Urabá. Una vez allí las 3 submuestras serán homogenizadas y seguidamente se tomará una muestra de100 gramos de suelo la cual será diluida en solución preservante de los microbios, haciendo diluciones seriadas hasta lograr una dilución final de 20 microlitros que permita observar el crecimiento aislado de los microbios.

Para la toma de muestra de los microbios en fuentes fluviales a partir de la orilla de un río en cada tipo de bosque se llegará a una distancia equidistante a la distancia media del ancho del río y allí se tomará una muestra de 5 ml de agua a 2 metros de profundidad, esta constituirá una submuestra realizando 3 submuestras en cada afluente. Las submuestras así obtenidas serán inmediatamente almacenadas en condiciones de refrigeración (4ºc) hasta llegar al laboratorio de biología del centro regional del politécnico en Urabá. Una vez allí las 3 submuestras serán homogenizadas y seguidamente se tomará una muestra de100 gramos de suelo la cual será diluida en solución preservante de los microbios, haciendo diluciones seriadas hasta lograr una dilución final de 20 microlitros que permita observar el crecimiento aislado de los microbios.

1.1.2 Evaluación del efecto antagónico de re-aislamientos microbianos sobre *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp.*

Una cepa de *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp.* suministradapor el Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO/AUGURA), se incubará en medio PDA a 25°C durante 5 días, posterior al crecimiento, se tomará con sacabocados estéril un trozo circular de aproximadamente 5 mm de diámetro de la parte periférica de la colonia del hongo y se dispondrá en el centro de una caja de Petri con aproximadamente 25 mL de medio PDA solidificado.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

Con el objetivo de evaluar el efecto antagónico de las diferentes cepas, se tomará biomasa con asa de aro y se inoculará en 4 puntos cardinales (N,E,S,W) de manera equidistante con línea constante de 1,5cm de longitud en el medio previamente inoculado con la cepa de *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp*. Se incubarán a 25°C durante 7 días, para el tratamiento control se empleará la siembra de los hongos sin presencia de microorganismos seleccionados de bosque nativo. La estimación del porcentaje de inhibición se calculará mediante la fórmula: IRC= (R1-R2)/(R1) *100, donde R1 es el radio del crecimiento de *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp* en elcontrol y R2 es el radio de crecimiento de *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp* en el tratamiento con los microbios de bosque seleccionados. Se Realizará el proceso por triplicado con cada microorganismo.

1.1.3 Identificación molecular de las bacterias

Aquellos aislados bacterianos que presenten el mayor antagonismo hacia los hongos *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense y Colletotrichum spp*, serán identificadas molecularmente siguiendo la metodología expuesta por Betancur et al.,(2017), en la cual la amplificación y secuenciación mediante PCR del locus entero de 16S rRNA será llevada cabo usando los primers universales 27F and 1492R de la forma descrita por Eden et al., 1991. Las secuencias serán cortadas y ensambladas mediante el software DNA Baser 2.9 y el alineamiento será obtenido usando la herramienta online SINA (Pruesse et al., 2012). Árboles de Neighbor- joining de los aislados y sus parentescos más cercanos serán generados usandoel software ARB (Westram et al.,2011) y los LTPs123 disponibles en la base de datos SILVA (Munoz et al., 2011).

1.1.4 Identificación molecular de los hongos

Para esta identificación se utilizará la metodología descrita por (De Souza Sebastianes et al.,2013) en el cual ADN genómico fúngico se extraerá como se describió previamente por Raeder y Broda (1985). La concentración de ADN se estimará mediante visualización de electroforesis en un gel de agarosa al 1,0 %. Se utilizará High DNA Mass Ladder (Invitrogen, Carlsbad, EE. UU.) como estándar de peso molecular. La concentración final de ADN se ajustará 10 ng ll -1 para la amplificación de ADNr. La región del ADNr se amplificará mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) usando los cebadores ITS1 (50 -TCCGTAGGTGAACCTGCGG30) e ITS4 (50 -TCCTCCGCTTATTGATATGC30) (White et al. 1990). La PCR se llevará a cabo utilizando un Peltier Thermal Cycler

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

200 (MJ Research), y las condiciones para la amplificación del ADN incluirán un paso inicial de desnaturalización de 5 min a 94 C, seguido de 24 ciclos de 30 s a94 C (desnaturalización), 30 s a 55 C (recocido) y 30 s a 72 C (elongación), y un paso de elongación final de 7 min a 72 C. Los amplicones se purificarán usando columnas GFX (GE Healthcare UK Ltd., Buckinghamshire, Inglaterra) y se secuenciaran en ciclo usando el kit de secuenciación del ciclo BigDye Terminator (Applied Biosystems, Nieuwerkerk, Países Bajos) y un secuenciador ABI377 (Applied Biosystems) en el Laboratorio. Los productos de PCR se secuenciarán usando los mismos cebadores empleados para la amplificación. Los hongos se identificarán mediante un análisis de similitud utilizando el conjunto de herramientas BLASTn del paquete BLAST (Astchul et al. 1990) para comparar los datos de la secuencia inicial con las secuencias depositadas en la base de datos GenBank Nucleotide Collection (nr/nt). Se realizará un análisis filogenético para confirmar la asignación de taxones basada en un análisis de similitud. Las secuencias ITS de nuestras cepas fúngicas recolectadas se alinearán con secuencias caracterizadas (de artículos de alta calidad) recuperadas de GenBank usando la herramienta Muscle, que está disponible como parte del paquete de software MEGA 5.2 (Tamura et al. 2011). La identificación se realizará a nivel de género a partir de la clasificación taxonómica de secuencias de cepas bien caracterizadas que muestren los valores más altos de similitud con las secuencias enviadas.

1.1.5 Bioarte

Con los microbios más vistosos y que no sean perjudiciales para la salud humana se hará arte. Para crecimiento de hongos se utilizará como medio de cultivo PDA a25º C durante 7 días, para el crecimiento de las bacterias, se incubarán cepas bacterianas coloridas en medio Agar Nutritivo durante 5 días a 25ºC. Posterior al crecimiento, se procederá a realizar dibujos artísticos en una caja de Petri de 100 x15 mm de diámetro con aproximadamente 60 ml de medio TSA solidificado, el cualservirá como lienzo para proceder a realizar dibujos con cada una de las cepas microbianas seleccionadas y utilizando como pincel un asa de siembra previamente esterilizada. Posteriormente se dejará en incubación cada obra artística durante 5 días, en los cuales podremos ver el resultado final del crecimiento microbiano plasmado en un dibujo.

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet