PROPUESTA DE UN BIOINOCULANTE COMO ALTERNATIVA DE FERTILIZACIÓN AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE EN UN CULTIVO DE *PHYSALIS PERUVIANA* EN SUESCA- CUNDINAMARCA.

Cárdenas Murillo Jenifer Natalia
Rodríguez Malagón María Stefany

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2019

PROPUESTA DE UN BIOINOCULANTE COMO ALTERNATIVA DE FERTILIZACIÓN AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE EN UN CULTIVO DE *PHYSALIS PERUVIANA* EN SUESCA-CUNDINAMARCA.

Cárdenas Murillo Jenifer Natalia
Rodríguez Malagón María Stefany

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Carel Carvajal Arias

Línea de Investigación:
Seguridad Alimentaria

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2019

Acta de sustentación

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Vigilada Mineducación

SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1051

El día 08 MAYO 2019 , en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **PROPUESTA DE UN BIOINOCULANTE COMO ALTERNATIVA DE FERTILIZACIÓN AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE EN UN CULTIVO DE Physalis peruviana EN SUESCA- CUNDINAMARCA**, escrito por **JENIFER NATALIA CARDENAS MURILLO, CÉDULA 1020818837 y MARIA STEFANY RODRIGUEZ MALAGON, CÉDULA 1075682839**, bajo la dirección de **CAREL ELIZABETH CARVAJAL ARIAS, CÉDULA 1032411403**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **LUIS MIGUEL CASABIANCA GONZALEZ CÉDULA 1.020.738.655 y OSCAR EDUARDO RODRIGUEZ AGUIRRE CÉDULA 19473917**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad.

Por lo tanto, el trabajo es: **Aprobado**.

En constancia, se firma en Bogotá, D.C. 08 MAYO 2019

KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Dirección
Programa de Ingeniería Ambiental

GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
SECRETARÍA ACADÉMICA
Facultad de Ingeniería

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

A nuestra directora Carel Carvajal Arias por la orientación en la realización de este proyecto.

A la docente Andrea Melissa Sánchez y auxiliares de laboratorio por su colaboración en las prácticas de laboratorio.

A los agricultores que tuvieron disposición de entregarnos información para la línea base de nuestro proyecto.

Y a todos aquellos que nos apoyaron en la elaboración de este proyecto, sobre todo a nuestras familias por su apoyo incondicional.

Tabla de Contenido

Resumen **9**

Abstract 9

Introducción **10**

Planteamiento del problema **11**

Pregunta de Investigación 11

Hipótesis 11

Justificación **12**

Objetivos general y específicos **12**

Marco de Referencia **13**

1. Estado del arte 13
2. Marco Conceptual-teórico 14
3. Marco Normativo 16
4. Marco Geográfico 17
5. Marco Institucional 19

Metodología **20**

1. Identificación practicas actuales de fertilización 20

1.1. Diagnostico a partir de encuestas a productores agrícolas 20

1.2. Identificación de prácticas agrícolas en el cultivo de uchuva 20

2. Determinación de la capacidad controladora e inductora de crecimiento vegetal de los microorganismos 21

2.1. Reactivación de cepa 21

2.2. Caracterización *Streptomyces griseus* 21

2.3. Formulación del bioinoculo-caldo avena 21

2.4. Determinación de solubilización de fósforo 21

2.5. Determinación de fijación de Nitrógeno 22

2.6. Evaluación de inhibición de crecimiento de patógenos como *Fusarium* 22

2.7. Determinación del sustrato y concentración de microorganismo en el bioinoculante 22
2.8. Prueba piloto campo e invernadero (siembra de uchuva- aplicación y seguimiento).....22
2.9. Evaluación de crecimiento.....23
2.10. Peso seco.....24
2.11. Fijación de microorganismos en el suelo 24
3. Proponer una práctica de fertilización agrícola ambientalmente sostenible.....24
Plan de trabajo 25
Resultados, análisis y discusión de resultados 31
1. Identificar las prácticas actuales de fertilización en el cultivo y en la vereda Hato - Grande 31
1.1 Diagnóstico a partir de encuestas a productores agrícolas. 31
1.2. Identificación de prácticas agrícolas en el cultivo de Uchuva**.** 34
2. Determinar la capacidad controladora e inductora de crecimiento vegetal de los microorganismos comparada con métodos de fertilización tradicional en una prueba piloto. 35
2.1. Caracterización Streptomyces Griseus.....35
2.2. Determinación de solubilización de fósforo 36
2.3. Determinación de fijación de Nitrógeno.....37
2.4. Determinación del sustrato y de la concentración de microorganismo en el bioinoculante.....37
2.5. Evaluación de inhibición de crecimiento de patógenos.....38
2.6. Evaluación en prueba piloto campo e invernadero 34
2.7. Peso seco.....45
2.8. Fijación de microorganismos en el suelo 46
3. Proponer una práctica de fertilización agrícola ambientalmente 46
Conclusiones.....**49**
Recomendaciones **50**
Referencias Bibliográficas.....**50**
Glosario de Términos **54**
Anexos.....**55**

Listado de Tablas

Tabla 1. Marco Normativo 15
Tabla 2. Cronograma 25
Tabla 3. Matriz de objetivos 26
Tabla 4. Matriz de Variables. 28
Tabla 5. Generalidades de los cultivos según encuestados 32
Tabla 6. Tasa de crecimiento por medición de altura de la planta en invernadero 39
Tabla 7. Tasa de producción del número de hojas en invernadero 41
Tabla 8. Tasa de crecimiento por medición de altura de la planta en campo 41
Tabla 9. Tasa de producción de número de hojas en campo 42
Tabla 10. Tratamientos de fertilización en invernadero y campo. 44
Tabla 11. Tasa de crecimiento (raíz, hojas y peso seco) 44
Tabla 12. Valoración matriz de alternativas. 44
Tabla 13. Matriz evaluación de alternativas. 47
Tabla 14. Recomendaciones de manejo del bioinoculante 48

Listado de Figuras

Figura 1. Ubicación Municipio de Suesca, Cundinamarca 18
Figura 2. Zona de estudio Finca La Esperanza Vereda Hato-Grande, Suesca 18
Figura 3. Diseño del enfrentamiento entre Fusarium y Bacterias 22
Figura 4. Distribución de plantas de uchuva en prueba piloto en campo 23
Figura 5. Distribución de plantas de uchuva en prueba piloto en invernadero 23
Figura 6. Medición inicial y final de *Physalis Peruviana* 24
Figura 7. Sexo y Nivel de Educación. 30
Figura 8. Cultivo de Mayor Frecuencia y Cultivos sembrados en los últimos dos años 31
Figura 9. Sustancia químicas empleadas en los cultivos 32
Figura 10. Cuidados en preparación- aplicación de productor y asistencia técnica. 33
Figura 11. Utilización de productos ecológicos. 34
Figura 12. Microscopía y Microscopía de *Streptomyces Griseus* 35
Figura13. *Streptomyces Griseus* en agar SMSR1 36
Figura 14. *Streptomyces Griseus* en agar Ashby 37
Figura 15. Medio líquido para bioinoculante 38
Figura 16. Streptomyces Griseus en agar Avena. 38
Figura 17. Streptomyces Griseus en agar PDA 38
Figura 18. Crecimiento en tallo por semanas en invernadero 39
Figura 19. Número de hojas por semanas en invernadero 40
Figura 20. Crecimiento de tallo por semanas en campo 41
Figura 21. Número de hojas por semanas en campo 42
Figura 22. Peso seco parte aérea 45
Figura 23. Peso seco raíz 45

Resumen

El inadecuado uso de productos para el rendimiento y protección de cultivos han generado afectaciones en la calidad del suelo y repercusiones en la salud ambiental, de manera que, es necesario fomentar prácticas de fertilización ambientalmente sostenible, por ello este proyecto desarrolla alternativas de producción limpia con la propuesta de un biofertilizante aplicado en un cultivo de importancia económica como lo es Physalis Peruviana (uchuva). Este es formulado a partir de *Streptomyces griseus* que al pertenecer al género *Streptomyces* se categoriza como Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR) y control biológico. Para su evaluación se midieron variables biométricas en plántulas de 60 días tanto en invernadero como en campo, comparadas con tratamientos convencionales como abono orgánico, fertilizante químico y Blanco (como control). Mediante tasas de crecimiento se obtuvo que el abono orgánico fue el más eficiente con un significante potencial en la promoción del crecimiento vegetal, seguido del biofertilizante el cual además presenta efectividad en solubilización de Fosfatos, fijación de nitrógeno e inhibición de *Fusarium Oxysporum.* Por lo que se propone una alternativa de fertilización a partir de la combinación de bioinoculante y materia orgánica, especialmente en suelos pobres.

Palabras clave: **Biofertilizante, Bacterias PGPR, control biológico, *Physalis Peruviana*, Fertilización ambientalmente sostenible, Producción más limpia y abono orgánico.**

Abstract

The inadequate use of products for the performance and protection of crops have affected the quality of the soil and impacts on environmental health, so, it is necessary to promote environmentally sustainable fertilization practices. This project develops alternatives for clean production with the proposal of a biofertilizer applied in a crop of economic importance as it is *Physalis Peruviana* (uchuva). This is formulated from *Streptomyces griseus* that belongs to the genus *Streptomyces*, which is categorized as Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and biological control. For its evaluation, biometric variables were measured in 60-day seedlings, both in the greenhouse and in the field, compared with conventional treatments such as organic fertilizer, chemical fertilizer and "Blanco" (as a control). By means of growth rates, the result obtained was that the organic fertilizer was the most efficient with a significant potential in the promotion of plant growth, followed by the biofertilizer which also has effectiveness in solubilization of phosphates, nitrogen fixation and inhibition of *Fusarium Oxysporum*. Therefore, an alternative fertilization is proposed from the combination of bio-inoculant and organic matter, especially in poor soils.

Keywords: **biofertilizer, Bacteria PGPR, biological control, *Physalis Peruviana*, environmentally sustainable fertilization, clean production and organic fertilizer.**

Introducción

Colombia es un país el cual parte de sus actividades económicas se basan en la agricultura como fuente principal de alimentos y de empleo en la población rural, sin embargo, las condiciones en las que se dan la mayoría de cultivos es por sistemas agrícolas tradicionales donde emplean fertilizantes químicos. Según registros del ICA las formulaciones de plaguicidas pasaron de 770 productos en 1974 formulados con base de 186 ingredientes activos a 1370 en el 2003, se sabe que al menos una quinta parte de estos ingredientes se encuentran prohibidos o restringidos en otras partes del mundo por salud o medio ambiente (Nivia, 2004).

Por tanto, es necesario impulsar la producción de biofertilizantes como fuente de insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes al ser aplicados, insumos benéficos que disminuyen la erosión y mejoran la fertilidad del suelo (Acuña, 2003). Los inoculantes microbianos poseen una relación funcional y constituyen un sistema holístico con la planta; además, estos insumos son promotores de crecimiento, inducción de resistencia sistémica, nutrición y defensa ante plagas y enfermedades contribuyendo al control biológico. El uso de bioinsumos en la implementación de métodos de agricultura sostenible trae ventajas ambientales y económicas, de modo que, se espera satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos y un mayor aprovechamiento del suelo (Banco de patentes SIC, 2014)

Como insumo primario de los bioinoculantes, las bacterias y los hongos por su alta manifestación de actividad son de vital importancia en el equilibrio del suelo. En la participación de reciclaje de nutrientes influencian directamente a las plantas al ser las principales proveedoras de los sustratos nutritivos del suelo, con el aprovechamiento de estos microorganismos más cercanos a la raíz. Por esta razón, el impulso al uso de biofertilizantes favorece la recuperación y el mantenimiento del suelo mejorando su calidad y la producción del cultivo, a partir de rizobacterias con capacidad de movilizar nutrientes, promover el crecimiento vegetal y el control biológico al adoptar un papel de agentes protectores frente a patógenos. Así mismo, sintetizan hormonas que inducen a cambios en la fisiología de las plantas, permitiendo mejorar los procesos de floración, germinación y establecimiento de la plántula entre otras funciones (Guzmán, Obando, Rivera & Bonilla, 2012).

Respecto a los microorganismos eficientes para la formulación del bioinoculante, se investiga la inoculación de microorganismos en el cultivo de la Uchuva al considerarse uno de los mayores productos de exportación del país por ser una fruta exótica y deseada en Europa y que por tanto exige productos de alta calidad y sin contenido de químicos que afecten la seguridad alimentaria, lo que conlleva a realizar el estudio de técnicas que contribuyen a la disminución de agroquímicos por medio de la caracterización e identificación de actinobacterias promotoras de crecimiento vegetal y de control biológico de patógenos como *Fusarium oxysporum* que originan la marchitez vascular del cultivo (Venner & Martin, 2009).

Planteamiento del problema

A pesar del avance biotecnológico, hoy en día en Colombia se siguen empleando productos químicos para la fertilización y control de plagas en los cultivos, lo que revela un excesivo e inadecuado uso que, unidos a otros factores ambientales como el agua y el viento, causan el deterioro de la calidad del suelo. El principal problema se observa en el exceso de nitrógeno, el cual en su totalidad no es asimilado por los cultivos y es arrastrado por las aguas lluvias hasta contaminar gran parte de las parcelas y todo tipo de acuíferos, además, los residuos de los elementos químicos pueden permanecer en los productos agrícolas y no solo realizar el control de plagas, sino, también afectar la biota y microbiota propia del ecosistema, alterando así la biodiversidad y el equilibrio ecológico del suelo (Rojas & Moreno, 2008).

Como se mencionó anteriormente, la alta toxicidad de los productos químicos agrícolas se caracteriza por tener un impacto en el ambiente. Debido a su alta capacidad de bioacumulación y persistencia medioambiental se puede presentar efectos sobre la estructura y función de los ecosistemas, destruyendo organismos vivos, elementos del medio y las interacciones entre ambos (Shaff, 2013). Ejemplo de ello es un estudio de caso, en el que se evaluaron 46 fincas del departamento de Caldas, donde se establece un grado de preocupación por el riesgo de contener una alta cantidad de compuestos tóxicos en el suelo y el cultivo, los cuales no son aptos para el consumo humano ni para la exportación (Márquez, 2008); argumento relacionado con el municipio de Suesca Cundinamarca debido a que su potencial económico es el agrícola, caracterizado por la aplicación de altas dosis de fertilizantes químicos.

Sumado a esto, no se cuenta con una suficiente regulación y alta asistencia técnica sobre la implementación de fertilizantes en el sector, lo que aumenta la residualidad de productos químicos en el área donde se cultiva, poniendo en riesgo toda una cadena de producción debido a sus deficientes protocolos de vigilancia y control. Esta situación revela en materia de inocuidad de alimentos un creciente liberalización del comercio de productos agrícolas que se acumulan en el suelo y alimentos cultivados, posteriormente adquiridos por los consumidores (Márquez, 2008). Por ejemplo, Suesca Cundinamarca se identifica como gran productor agrícola de Papa y Uchuva en menor escala, sus prácticas de fertilización se enfocan en un modelo tradicional de uso excesivo de productos químicos los cuales afectan la calidad del suelo y efectos nocivos en la salud de los campesinos por la inadecuada manipulación de los productos.

Pregunta de Investigación

¿Qué aspectos se deben evaluar para determinar el bioinocultante como una alternativa de inducción de crecimiento vegetal y control biológico de una manera más eficiente y ambientalmente sostenible en un cultivo de importancia económica?

Hipótesis

El bioinoculante es el tratamiento más eficiente debido a que estimula el crecimiento vegetal y ejerce el control biológico, además es ambientalmente sostenible en un cultivo de interés económico.

Justificación

A partir de la problemática ambiental y social por el inadecuado uso de fertilizantes químicos, el presente proyecto surge como necesidad a una alternativa que busca fomentar prácticas de fertilización ambientalmente sostenibles por medio del uso adecuado del suelo y el desarrollo de cultivos con productos libres de compuestos químicos. De modo que, el trabajo se enfocará en la propuesta de la formulación de un bioinoculante que sea de fácil implementación y manejo por los campesinos, con el objetivo de estimular el crecimiento vegetal y control biológico en el cultivo de Uchuva (*Physalis Peruviana*). Con este proyecto se espera beneficiar a pequeños productores de Uchuva para que implementen una práctica de fertilización que no afecte el suelo, así mismo, dar a conocer fertilizantes biológicos e impulsar la producción de Uchuva en la vereda Hato - Grande Suesca, partiendo de que Colombia se ubica como primer productor mundial del cultivo Uchuva, dado a su gran aprobación por coloración y altos contenidos de azúcares.

La Uchuva es una de las frutas exóticas colombianas con mayor aceptación en los mercados internacionales y fue la segunda más exportada después del banano en 2015. Además, a diferencia de otros productos apetecidos en el exterior y cultivados en climas cálidos este un producto oportuno para los agricultores de tierra fría al ser un cultivo adaptado entre los 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar, adicionalmente, es encontrado en mayor porcentaje (aproximadamente el 85%) del total de área cosechada del país en Cundinamarca lo que conlleva a realizar el presente trabajo en Suesca, Cundinamarca (Castiblanco, 2018). Por tanto, desde la Ingeniería Ambiental es de gran importancia promover alternativas como el uso de biofertilizantes en el cultivo de manera que genere competitividad, seguridad alimentaria y salud ambiental en un sector agrícola enmarcado en el desarrollo sostenible por medio de una producción más limpia.
Del mismo modo, el manejo de productos no tóxicos le asegurará a los campesinos mayor seguridad en su manipulación frente a una disminución de exposición a factores nocivos para su salud; también, la finalidad será fomentar prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente alineadas a un enfoque biopsicosocial donde prima la calidad de vida de los campesinos y el estado de los recursos.

Objetivos general y específicos

1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia del bioinoculante formulado en comparación con otros métodos de fertilización para el planteamiento de una práctica agrícola ambientalmente sostenible en un cultivo de Uchuva (*Physalis Peruviana*) en Suesca- Cundinamarca.

1.1. Objetivos específicos

- Identificar las prácticas actuales de fertilización en el cultivo y en la vereda Hato - Grande Suesca

- Determinar la capacidad controladora e inductora de crecimiento vegetal de los microorganismos comparada con métodos de fertilización tradicional en una prueba piloto.

- Proponer una práctica de fertilización agrícola ambientalmente sostenible a partir del uso de un bioinoculante a base de microorganismos accesibles a la comunidad, como estrategia de prevención de contaminación y aprovechamiento del suelo.

Marco de referencia

1. Estado del arte

En los últimos años las inadecuadas prácticas agrícolas en especial las que involucran el mal uso de productos químicos han sido de gran interés debido a que vienen degradando los ecosistemas, bajo explotaciones agrarias que contaminan el suelo y el agua subterránea, destruye paisajes y diversidad biológica e induce una inseguridad alimentaria de grave riesgo para la salud humana. Por esta razón se ha venido impulsando investigaciones en cuanto al reemplazo de fertilizantes químicos tóxicos.

Por consiguiente, se resaltan diferentes publicaciones que permiten conocer el estado actual referente a fertilizantes biológicos, a nivel global el estudio de Biofertilizantes microbianos del año 2006 desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria de México participó en la investigación, validación, capacitación y producción de fertilizantes a base de bacterias como *Azospirillum Brasilense* fijadora de nitrógeno y el hongo micorrizo *Glomus* que ayuda a la absorción de potasio y fósforo promoviendo un crecimiento vegetal, rendimiento y reducción de costos en una comunidad campesina (Inifap, 2009).

Del mismo modo, en México Maricela Constantino, Regino Gómez, José Álvarez, Juan Pat y Elda Espín, estudiaron el efecto de la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices* en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de viveros. Esto les permitió evaluar el efecto de la biofertilización y la materia orgánica en el crecimiento, biomasa y nutrición de plántulas de papaya por medio de una doble inoculación de los biofertilizantes, primero en las semillas y 30 días después en las plántulas. En el segundo experimento aplicaron una simple inoculación en plántulas de papaya con 30 días después del primer experimento. Finalmente, obtuvieron que la doble biofertilización en semilla y plántula, estimuló el crecimiento y biomasa de las plántulas en comparación a la simple biofertilización. Así mismo, la mejor opción para iniciar la biofertilización en el cultivo de la papaya es la inoculación directa a las semillas con *A. Chroococcum* y *G. Intraradices* (Constantino, Gómez, Álvarez & Espin, 2011)

Con el objetivo de evaluar diferentes formulaciones de prototipos del biofertilizante a nivel nacional, Johanna Rojas y Nubia Moreno en el trabajo de grado "Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oryza Sativa*)" (2008), aislaron *Azotobacter sp.* como ingrediente activo fijador de nitrógeno de suelos agrícolas de cultivos de arroz en el departamento del Tolima. La clasificación de esta cepa de bacterias la realizaron por su actividad metabólica como fuente de fijación de nitrógeno, puesto que influye en mayor proporción sobre la producción, aumenta el porcentaje de espiguillas rellenas, incrementa la superficie foliar y contribuye al aumento de calidad del grano. Para esto, llevaron a cabo ensayos de incubación donde se evaluó la biomasa en unidades de colonias por mililitro, las concentraciones de nitrógeno y carbono y cuantificación de solubilización de fosfatos, además de lecturas de pH, centrifugación y pruebas de espectrofotometría. Por último, evaluaron el producto aplicándolo a cultivos de arroz, confirmando que algunos de los productos formulados aumentan la estabilidad en almacenamiento y muestran buenos resultados de producción en campo. Llegando a la conclusión que las actividades específicas demostradas para este microorganismo sugieren que a futuro estos biofertilizantes pueden ser una alternativa, no solo para obtener beneficios económicos en el cultivo sino para permitir que se maneje una agricultura ambientalmente más sana y productiva (Rojas & Moreno, 2008).

Por otro lado, Cris Venner y María Martín (2009) en su proyecto de grado aislaron, identificaron y seleccionaron rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal que además de promover la germinación y el crecimiento de las plantas de Uchuva, tuvieron un efecto inhibitorio sobre el patógeno *Fusarium Oxysporum.* El aislamiento fue de *Pseudomonas Fluorescens,* bacterias del género *Bacillus* y de *Actinomyces*; realizaron diferentes pruebas como la de germinación, antagonismo y promoción de crecimiento en invernadero, evaluando variables como peso seco, longitud de tallo y raíz y número de brotes, encontrando diferencias significativas a favor de la inoculación (Venner & Martin, 2009).
Finalmente, se resalta la investigación "Efecto de prototipos de formulación a base de rizobacterias sobre la promoción de crecimiento vegetal y biocontrol de *Fusarium Oxysporum*, en Uchuva *Physalis Peruviana L*. en condiciones de invernadero" realizado en el 2014 por Sepúlveda Claudia Marcela y Díaz Andrés, quienes evaluaron 6 formulaciones de rizobacterias que mostraron resultados positivos en cuanto a promoción de crecimiento y actividad biocontroladora en Uchuva en invernadero y campo (Sepúlveda, 2014).

De la revisión bibliográfica realizada se observa que diferentes microorganismos pueden impulsar el crecimiento vegetal, sin embargo, se debe hacer un estudio previo del suelo y del cultivo para formular un bioinsumo eficiente y de alto alcance a la comunidad. Además, cabe resaltar que las rizobacterias son microorganismos que en el cultivo de la Uchuva promueven el crecimiento vegetal y el control del *Fusarium* y al formularlas en bioinsumos a gran escala se desarrollaría una práctica agrícola amigable con el medio ambiente y sustentable económicamente, además de ofrecer alimentos sanos y seguros a un costo razonable.

2. Marco conceptual-teórico

Actualmente la sostenibilidad en los sistemas de producción alimentaria ofrecen diferentes alternativas con un enfoque integral y de manera equitativa en el bienestar ambiental con aspectos como el manejo de suelos y aguas, manejo de agroquímicos, análisis de riesgos, entre otros; la equidad social con la seguridad alimentaria, educación ambiental y asociatividad; y la viabilidad económica con competitividad y comercio justo. Perspectiva que surge de la **agricultura sostenible**, la cual es definida por la FAO como una instrumento para fortalecer la seguridad alimentaria que orienta el desarrollo de las actividades productivas, implementa buenas prácticas agrícolas integrando el manejo de plagas y enfermedades, de cosecha y pos cosecha, innovación tecnológica y conservación de la biodiversidad (FAO, 2016).

De acuerdo a lo anterior, para una agricultura amigable **las prácticas de fertilización sostenible** implementan métodos de fertilización por medio del uso de insumos naturales (Materia orgánica descompuesta, excretas de animales, microorganismos como hongos y bacterias, etc.) con capacidad de estimular el crecimiento vegetal, facilitar el control biológico, reciclar nutrientes y degradar sustancias con el fin de mejorar la estabilidad del suelo, la eficiencia de los cultivos, promover la seguridad alimentaria y aumentar las ganancias por área cultivada (Carvajal & Mera, 2010).

Como insumo natural, **los microorganismos potenciales para el desarrollo de bioinoculantes** como las Rizhobacterias, son microorganismos promotores de crecimiento en plantas con capacidad de control biológico, las cuales promueven el crecimiento de la planta al suprimir los fitopatógenos (González & Fuentes, 2015). La formulación de inoculantes a partir de cepas de *Rhizobium sp.* pueden lograr una alta productividad con la disminución o la exclusión total de fertilizantes nitrogenados. Varios estudios han

demostrado que la inoculación de cepas seleccionadas de rizobios puede dar lugar a rendimientos iguales o superiores en comparación a la adición de fertilizantes nitrogenados (Rivera, 2012).

Igualmente, en procesos de biofertilización los **Actinomicetos** son protagonistas al ser bacterias con suficiencia biocontroladora productora de antibióticos, es decir, producen compuestos bioactivos con actividad antagonista contra microorganismos patógenos. Además, desarrollan actividades como degradación de materia orgánica, mejoramiento de la estructura del suelo; favorables en la interacción Microorganismo-Planta y benéficas en la fertilización sin perjudicar otros microorganismos rizosféricos manteniendo así el equilibrio. Así mismo, son catalogadas como microorganismos con potencial industrial al ser pioneras en la promoción del crecimiento vegetal y calificándose como bacterias PGPR (del inglés Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Franco, 2009).
Un género del filo Actinomicetos es ***Streptomyces,*** una bacteria aerobia, filamentosa y Gram positiva que habita principalmente en el suelo y por su supervivencia compite con microorganismos encontrados allí, por lo que produce gran cantidad de antibióticos. *Streptomyces* produce más del 80% de los antibióticos conocidos, así como otras sustancias antitumorales y anti parasitarias, además, contiene sistemas de regulación para la sobrevivencia y adaptación en condiciones ambientales variantes y adversos como la cantidad de nutrientes, la temperatura o la acidez del suelo (Yepes, 2011).

Por otro lado, con respecto a las **características de los biofertilizantes** estos deben tener una eficacia constante, una alta capacidad de retención de agua y ser adecuados para el mayor número de especies y cepas bacterianas como sea posible. Un buen inoculante es fácil de manejar, también debe proporcionar una rápida y controlada liberación de bacterias al suelo. Además de ser biodegradable, no debe ser un producto tóxico, ni contaminante, reduciendo al mínimo el riesgo al medio ambiente, como la dispersión de células a la atmósfera o aguas subterráneas (Estrada, 2008). Por tanto, se deben considerar como **parámetros de evaluación de los inoculantes** más importantes el recuento de los microorganismos en el inóculo a través de prácticas de laboratorio, la medición del pH y la humedad de los inoculantes por medio de secado (Estrada, 2008).

Generalidades de la Physalis Peruviana

La *Physalis Peruvian*a o Uchuva de género *Physalis,* es una fruta exótica originaria de América, de la cual se conocen más de 50 especies en estado silvestre. Esta planta crece en forma herbácea, luego del segundo año es un arbusto perenne y semileñoso con hojas simples, alternas y acorazonadas de tamaño entre 5 y 15 cm de largo y 4 a 10 cm de ancho, con altura promedio de 1,5 m. Los frutos son de color amarillo anaranjado, casi redondo con diámetro entre 1,25 a 2,5 cm y un peso entre los 4 y 10 g. Contienen elevades propiedades nutricionales y medicinales; su exquisito sabor atrae a los consumidores, conquistando en los mercados internacionales y volviéndose una alternativa de producción para Colombia al ser la segunda fruta más exportada en el país después del banano (Almanza, Fisher & Miranda, 2014).

No obstante los **Agentes patógenos y enfermedades s**on una problemática fitopatológica que sufre un cultivo durante el ciclo vegetativo, puede llegar a generar una gran incidencia en los costos de producción, cuando las pérdidas son críticas los organismos causantes de enfermedad adquieren importancia económica y se hace necesario implementar las medidas adecuadas de control. Las enfermedades características que se presentan en el cultivo de Uchuva son la Mancha gris, la muerte descendente, esclerotiniosis, mal del semillero, secamiento descendente de ápice del cáliz y nematodos. Entre los patógenos asociados a estas enfermedades se encuentran *Ralstonia Solanacearum, Xanthomonas Campestris y Fusarium Oxysporum* (Sepúlveda, 2014).

3. Marco normativo

La siguiente tabla presenta la legislación a nivel nacional aplicable al proyecto como regulación en la producción de insumos agropecuarios ecológicos, producción más limpia, conservación de suelos y estándares de calidad del cultivo. La primera columna corresponde a la norma, la segunda columna a quien la expide y título y la tercera a la descripción.

NORMA	QUIÉN EXPIDE Y TÍTULO	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	Presidente de la república de Colombia Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora. En la utilización de los suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación.
Ley 99 de 1993	El Congreso de Colombia Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental SINA y se dictan otras disposiciones	Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables.
Política Nacional de Producción más Limpia	Ministerio de Ambiente Política Nacional de Producción más Limpia	Desarrollo de las estrategias preventivas en el sector Agroindustrial Generar un "producto final más respetuoso con el medio ambiente".
Resolución 3079 del 19 de octubre de 1995	El Instituto Colombiano Agropecuario dicta las disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo y productos afines; plaguicidas químicos, reguladores fisiológicos, coadyuvantes de uso agrícola y productos afines.	Normas a las cuales se debe sujetar toda persona dedicada a la importación, producción, comercialización, uso y aplicación de abonos y fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo y productos afines; industria y comercio de bioinsumos y productos afines. Requisitos para el registro de rizobacteria promotora del crecimiento vegetal
NTC 4580 de 1999	Norma Técnica Colombiana Estándares de calidad en el cultivo de Uchuva	Exige al cultivador planear y organizar todas las actividades relacionadas con la siembra y cosecha informando de las deshierbas, podas, fertilizaciones, fumigaciones, riego, manejo de enfermedades, manejo de plagas, mantenimiento y recolección para su comercialización y exportación.

Resolución 187 de 2006	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Adopta el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empacado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación, comercialización, y se establece el Sistema de Control de Productos Agropecuarios Ecológicos	Garantizar a los consumidores que los alimentos ecológicos cumplen con lo establecido. Adopta principios en la producción y comercialización de alimentos ecológicos.
CONPES 3577	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector Agropecuario - Departamento Nacional de Planeación año 2009	Desarrollo de la capacidad nacional para la investigación, producción y comercialización de biofertilizantes.
Resolución 0698 de 2011	Instituto Colombiano Agropecuario Por medio del cual se establece los requisitos para el registro de departamentos técnicos de ensayos de eficacia, productores e importadores de bioinsumos de uso agrícola	Se aplica a las personas naturales o jurídicas que se dediquen a realizar ensayos de eficacia, produzcan o importen bioinsumos de uso agrícola para su comercialización o uso directo.

Tabla 1. *Marco normativo.*
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Es importante resaltar la importancia de la legislación que orienta a un modelo de fertilización ambientalmente sostenible por medio de una normativa que controla la producción de bioinsumos de uso agrícola, la cual garantiza no solo a los consumidores que los alimentos ecológicos cumplen con lo establecido sino además de que estos productos finales contribuyen a la conservación del medio del medio ambiente.

4. Marco geográfico

Suesca es un municipio de Cundinamarca (Colombia), ubicado en la provincia de Almeidas, a 59 km al noreste de Bogotá. Limita al Norte con Cucunubá y Lenguazaque, al Sur con Gachancipá y Sesquilé, al Oriente con Chocontá y al Occidente con Tausa y Nemocón. La altitud media del municipio es de 2584 m.s.n.m. Cuenta con una población de 15.410 habitantes y una temperatura de 14ºC (Alcaldía de Suesca - Cundinamarca). Su actividad económica principal se centra en los cultivos de flores, y la producción agropecuaria para el autoconsumo.

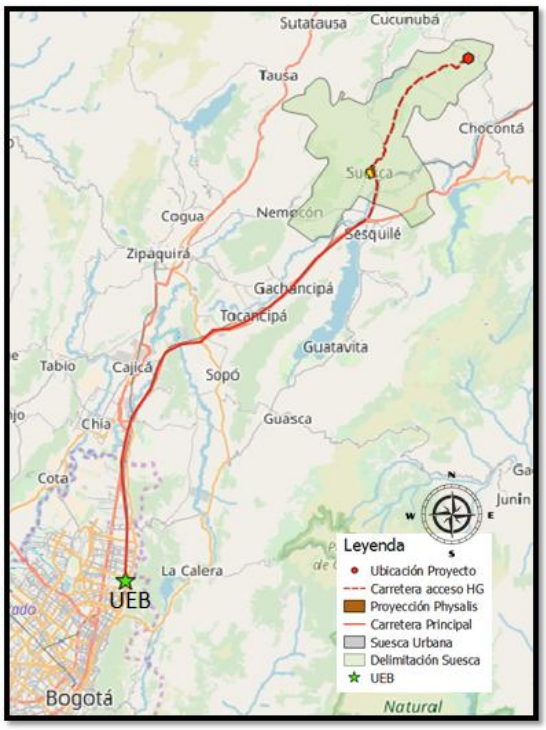

Figura 1. *Ubicación Municipio de Suesca, Cundinamarca.*
Fuente: Qgis 12.8

El proyecto estará ubicado en la vereda Hato-Grande, la cual está localizada a una distancia de 19 kilómetros del perímetro urbano. Cuenta con servicios de luz eléctrica, acueducto por agua tomada de la quebrada agua clara, puesto de salud e inspección de policía. Sus actividades económicas se basan en el sector agrícola y ganadero. Su potencial agro es la papa principalmente, seguido de cebada, maíz, arveja, trigo y uchuva, además se destaca por su explotación de arena y cascajo.

En cuanto a la hidrografía local de la vereda, se encuentran los nacederos Los Cajones, Mana y el Cerezo. Cuenta con producción de animales domésticos para el consumo, y transporte público que comunica con el municipio de Chocontá y la cabecera urbana de Suesca (Alcaldía de Suesca - Cundinamarca).

Figura 2. *Zona de estudio Finca La Esperanza Vereda Hato-Grande, Suesca.*
Fuente: Google Earth

5. Marco Institucional

Universidad del Bosque: El Bosque se consolida como una Universidad de formación, multidisciplinaria, con un foco que articula su desarrollo (primordialmente en la formación, e investigación) en la Salud y Calidad de vida, motivo por el cual la universidad en materia al programa de Ingeniería Ambiental suministra conocimientos y herramientas fundamentales para el diseño y gestión de tecnologías limpias en cuanto a la prevención, control y manejo de contaminantes en este caso para la variable suelo. Una de estas herramientas son los semilleros de investigación reconocidos por Colciencias y conformados por grupos con líneas de investigación definidas dentro de los cuales los estudiantes pueden desarrollar sus trabajos de grado.

El presente proyecto al proponer la formulación de un bioinoculante realizará actividades microbiológicas de caracterización de microorganismos potenciales y óptimos para el crecimiento vegetal y el control biológico las cuales se llevarán a cabo en los laboratorios de investigación del programa (Laboratorio de Química Ambiental - Piso 1, Laboratorio de Físico-Química y Suelos, Piso 1Bloque F), así mismo, se requerirá de información bibliográfica por medio de recursos de información como la base de datos ProQuest Central y la plataforma SiTiiO proporcionadas por la universidad.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Con función en su misión y autoridad ante entidades agropecuarias hace parte de la institucionalidad del proyecto al poseer cargos como la orientación y dirección de la formulación de los planes, programas y proyectos que requiere el desarrollo del sector Agropecuario, de manera que se referencia al Instituto Colombiano de Agricultura ICA y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA

- **ICA**: Institución que trabaja por la sanidad agropecuaria y la inocuidad agroalimentaria del campo colombiano, ejerce el control técnico de la producción y comercialización de los insumos agropecua-rios, material genético animal y semillas para siembra, con el fin de prevenir riesgos que puedan afectar la sanidad agropecuaria y la inocuidad de los alimentos en la producción primar.
- **CORPOICA**: Es una entidad pública descentralizada de participación mixta sin ánimo de lucro, de carácter científico y técnico, cuyo objeto es desarrollar y ejecutar actividades de Investigación, Tecnología y transferir procesos de Innovación tecnológica al sector agropecuario. Por medio de sus laboratorios ofrece servicios sobre el control de calidad de inoculantes y bioplaguicidas con el manejo de protocolos estandarizados para la identificación y cuantificación de microorganismos con potencial biofertilizante y pruebas de estabilidad del mismo.

Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible –MADS: Es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, una de sus funciones es la regulación de políticas nacionales como producción Limpia.

- **Política Nacional Producción Limpia**: el caso de los procesos productivos se orienta hacia la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y los desechos.

Alcaldía Municipal de Suesca Cundinamarca: Por medio del concejo municipal se adopta El Plan de Desarrollo municipal "Manos a la obra" durante el periodo 2016-2018, plan que puntualiza programas de fortalecimiento de los procesos productivos y en el sector ambiente articulando a los componentes de la gestión ambiental con la seguridad, el bienestar, la calidad de vida, el desarrollo sostenible y mitigación frente al cambio y variabilidad climática (Concejo Municipal Suesca, 2016).

Metodología

El enfoque metodológico es clasificado como enfoque mixto al llevar a cabo un análisis y medición de variables cualitativas y cuantitativas. Como variables cualitativas se contemplan prácticas agrícolas implementadas en Suesca, a partir de un estudio etnográfico realizado por medio de una entrevista y visitas a campo. Por otro lado, se tienen en cuenta variables cuantitativas en la medición de la eficiencia del bioinoculante formulado y sus efectos en el cultivo, de igual forma con fertilizante químico y abono orgánico para una efectiva comparación y un análisis más completo. Así mismo, posee un alcance correlacional debido a la asociación y relación de conceptos como crecimiento vegetal y control biológico en un solo producto como lo es el biofertilizante (Sampierí, 2010).
El método de investigación es analítico al ser un procedimiento que mediante la descomposición de un todo en elementos constitutivos llega a un resultado, parte de lo general (lo compuesto) a lo específico (lo simple) y establece la relación causa-efecto entre las partes. Este tipo de investigación como método científico se define como un contraste entre la teoría y la práctica, metodología que llevará esta investigación por la síntesis documental y el análisis en pruebas de laboratorio (Lopera, Ramírez, Zuluaga & Ortiz, 2010).

A partir de este proyecto se espera obtener una práctica de fertilización agrícola ambientalmente sostenible a partir de la propuesta de un bioinoculante en un cultivo de *Physalis Peruviana* en Suesca-Cundinamarca. Para poder llevar a cabo el proyecto es importante empezar con una revisión bibliográfica y un análisis documental, donde se consideren investigaciones del cultivo, del territorio (antecedentes) y de microorganismos a utilizar, su potencial en crecimiento vegetal y control biológico con la finalidad de proponer una práctica de fertilización ambientalmente sostenible.
A continuación se presentarán los procedimientos realizados durante el proyecto para el cumplimiento de cada objetivo.

1. Identificar las prácticas actuales de fertilización en el cultivo y en la vereda Hato - Grande Suesca.

1.1. Diagnóstico a partir de encuestas a productores agrícolas.

Se realizó un estudio etnográfico a partir de 15 encuestas a productores agrícolas de la vereda y observación de los participantes. Se tuvieron en cuenta conceptos relacionados al desarrollo de las prácticas agrícolas como cultivos frecuentes, preparación del terreno antes y después de la cosecha, sustancias utilizadas para el rendimiento y protección de cultivos, manejo seguro de productos agrícolas , conocimientos sobre productos ecológicos y asistencia técnica por parte de alguna entidad. Información general relevante para el diagnóstico del área de estudio.

1.2. Identificación de prácticas agrícolas en el cultivo de Uchuva.

Se realizó una entrevista teniendo en cuenta conceptos claves en las prácticas de fertilización en el cultivo.

• **Técnica**: Estudio etnográfico realizado a partir de entrevista semiestructurada dirigida a un agricultor de uchuva.

• **Categorías conceptuales**: para el establecimiento de categorías se realizará una categorización de conceptos, abierta, axial, selectiva y conceptual, se determinaron 4 categorías conceptuales:

- Fertilización
- Manejo Seguro de sustancias utilizadas para el rendimiento y protección de la Uchuva.
- Aprovechamiento del Suelo
- Seguridad alimentaria
- Agricultura y economía

• **Análisis:** análisis de frecuencias de las entrevistas realizadas, análisis observacional, análisis del discurso

2. Determinar la capacidad controladora e inductora de crecimiento vegetal de los microorganismos comparada con métodos de fertilización tradicional en una prueba piloto.

2.1. Reactivación de cepa

La cepa de *Streptomyces griseus* estaba en medio de conservación en el laboratorio de microbiología ambiental de la Universidad El Bosque, para su reactivación fue necesario realizar el medio de cultivo 65 Gym *Streptomyces* dispuesto en la página web de la colección alemana de microorganismos y cultivos celulares (https://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium65.pdf). Después de realizado el medio de cultivo se procedió a la siembra de la cepa en cámara UV y se llevó a estufa a 28 °C durante 7 días.

2.2. Caracterización Streptomyces griseus

La identificación microscópica se hizo por medio de Tinción de Gram y se observó las cualidades morfológicas, así mismo, para la identificación macroscópica se caracterizó las colonias bacterianas en la superficie de medios de cultivo sólidos (tamaño, forma, textura, olor y color).

2.3. Formulación del bioinoculo-caldo avena

Para el medio líquido del bioinoculo se hizo un caldo de avena, después en los Erlenmeyer que contenían el medio líquido se agregaron de manera proporcional las colonias bacterianas que estaban en la superficie del medio sólido. De esta manera, se llevó 1 litro de bioinoculante a la máquina de agitación durante 3 días. Ya estando el bioinoculante listo se depositó en 6 botellas plásticas de 600 ml distribuido equitativamente (Pardo & Quintero, 2017).

2.4. Determinación de solubilización de fósforo

En esta prueba se realizó la siembra de *Streptomyces* en agar SMRS1, identificando las colonias que presentaron halos. Determinando así su capacidad solubilizadora a partir de la prueba cualitativa de solubilización planteada por Becerra 2011, donde se tuvo en cuenta el diámetro de la colonia y el número de halos (Becerra, Quintero, Martínez & Matiz, 2011).

2.5. Determinación de fijación de Nitrógeno

Se realiza el aislamiento del microorganismo en medio de cultivo Ashby al ser un medio libre de nitrógeno permite identificar cepas con potencial Fijación del elemento (Ordoñez & Salazar, 2013).

2.6. Evaluación de inhibición de crecimiento de patógenos como Fusarium

Para conocer la capacidad de inhibición de crecimiento de *Streptomyces* contra *Fusarium* se realizó la metodología de enfrentamiento dual planteada por Pardo y Quintero 2017, donde se sembró el hongo y la bacteria a una distancia de 3 m entre ellos. *Fusarium* se obtuvo del banco de cepas del laboratorio de química ambiental de la Universidad El Bosque (Pardo & Quintero, 2017).

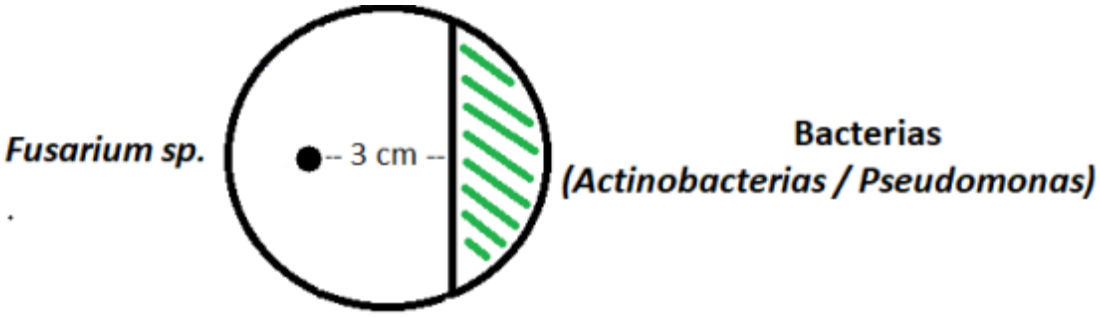

Figura 3. *Diseño del enfrentamiento entre Fusarium y Bacterias*
Fuente: Pardo & Quintero, 2017

Luego se midió el diámetro de crecimiento del hongo creciendo en presencia de la bacteria y del hongo sin la bacteria (control), Se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento mediante la siguiente fórmula:

$$P.I = \left(\frac{D.C.C. - D.C.P.}{D.C.C.}\right) * 100$$

Ecuación 1. *Porcentaje de inhibición*.

Dónde:
P.I - Porcentaje de inhibición.
D.C.C - diámetro de la colonia control.
D.C.P - diámetro de la colonia problema (con bacteria): 90mm de diámetro

2.7. Determinación del sustrato y concentración de microorganismo en el bioinoculante

Para determinar el sustrato se tiene en cuenta el favorable crecimiento de los microorganismos y su fácil acceso o preparación por parte del agricultor. La concentración de microorganismos en el bioinoculante se realizó el método de aislamiento en placa por diluciones sucesivas, el cual consiste en realizar diluciones sucesivas hasta 10^{-10} de una muestra de 1 mL de bioinoculante con el objetivo de sembrar con duplicado cada dilución en serie paralela en cajas de Petri. Después del período de incubación se procedió al conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) (Sanz, 2011).

2.8. Prueba piloto campo e invernadero (siembra de uchuva- aplicación y seguimiento)

Se realizó prueba piloto en campo y en invernadero. La prueba piloto en campo se realizó en una parcela en la vereda de Hato Grande en Suesca Cundinamarca, allí se sembraron 16 plántulas con diferentes métodos de fertilización (4 blanco, 4 fertilizante químico, 4 abono orgánico, 4 bioinoculante) distribuidas como se observa en la figura 4, donde el color naranja representa las plántulas con bioinoculante, el café fertilizante químico, el azul el blanco (es decir no contiene fertilización) y el verde abono orgánico.

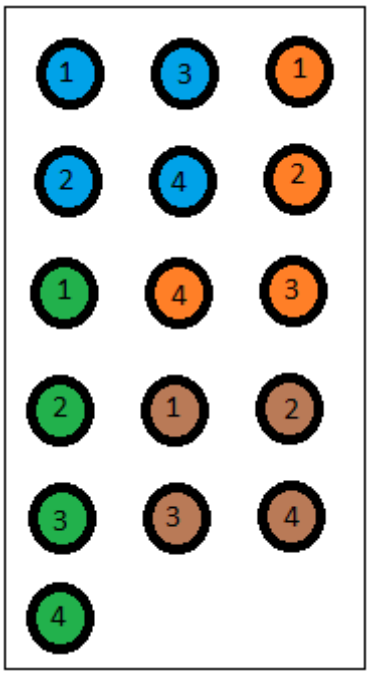

Figura 4. *Distribución de plantas de uchuva en prueba piloto en campo*
Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la prueba piloto de invernadero, 12 plántulas se sembraron en diferentes macetas y distinta fertilización (3 bioinoculante, 3 blanco, 3 fertilizante, 3 abono orgánico) en el siguiente orden:

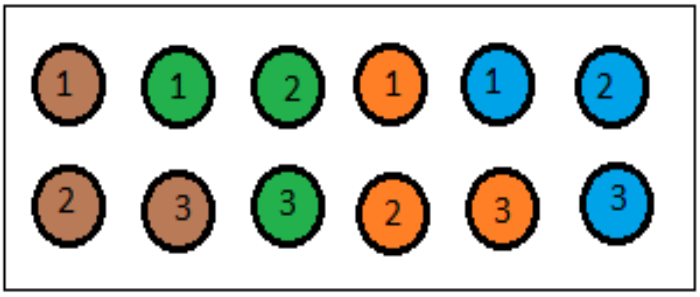

Figura 5. *Distribución de plantas de uchuva en prueba piloto en invernadero*
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para ambas pruebas piloto la aplicación de cada método de fertilización se empezó el día que se sembraron (día 0) y se siguió fertilizando cada 15 días.

2.9. Evaluación de crecimiento

Como seguimiento a la eficiencia de los métodos se midieron variables biométricas, cada 8 días en campo y cada 3 días en invernadero durante 12 semanas; de tal forma que se hizo la medición de altura y registro de número de hojas, así mismo en el primer y último día se estimó el tamaño de la hoja (promedio de largo y ancho) el área superficial, longitud de la raíz y el peso húmedo.

Figura 6. *Medición inicial y final de Physalis Peruviana*
Fuente: Autores, 2019

Del mismo modo, se determinó la tasa de crecimiento para cada una de las variables biométricas mencionadas anteriormente por medio de la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ crecimiento \frac{Medición\ Final - Medición\ inicial}{Tiempo_2 - Tiempo_1\ en\ días}$$

Ecuación 2.*Tasa de crecimiento.*

2.10. Peso seco

Para determinar el peso seco de las plantas se clasificó la muestra de cada tratamiento por secciones de la planta (raíz y tallo), se introdujo en una estufa a 70ºC por 24 a 48 horas hasta que se alcanzó un peso constante. Esta prueba se realizó iniciando la prueba piloto y finalizando (semana 0 y semana 12) (Azofeifa & Moreira, 2004).

2.11. Fijación de microorganismos en el suelo

Por medio de una muestra de suelo de siembra con cada tratamiento evaluado, se realizó el análisis de recuento de microorganismos en el suelo en medio líquido por diluciones seriadas planteada por Córdova en "Detección de bacterias benéficas en suelo con banano (Musa AAA Simmonds) cultivar 'Gran enano' y su potencial para integrar un biofertilizante", de esta manera se pudo determinar la actividad microbiana del suelo objeto de estudio**. (**Córdova, Rivera, Ferrera, Obrador & Córdova, 2009).

3. Proponer una práctica de fertilización agrícola ambientalmente sostenible

Plantear un método de fertilización agrícola a partir de la evaluación de las alternativas de fertilización por medio de una matriz calificando cada dimensión. Así mismo, proponer en el cultivo de uchuva un bioinoculante a base de microorganismos accesibles a la comunidad, como estrategia de prevención de contaminación y aprovechamiento del suelo.

Plan de trabajo

1. Cronograma

Ejecución del proyecto de investigación	**Resultado**	**Año 2018**											**Año 2019**			
		Feb	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**
Revisión bibliográfica	Sintesis documental, estado del arte, información del cultivo, microorganismos con potencial de crecimiento vegetal y control biológico.															
Estudio etnográfico	Observaciones en visita en campo, encuestas, entrevistas															
Micoorganismos potenciales	Reactivación de microorganismo															
Estudios de formulación	Formulación del fertilizante, evaluación de															
Evaluación de bioinoculante dentro del cultivo de interés alimentario	Medición y comparación de variables biométricas en cada tratamiento (bioinoculante,															
Propuesta de fertilización	Propuesta de formulación ambientalmente sostenible para el cultivo de Uchuva															
Síntesis de monografía	**Resultado**	**Año 2018**											**Año 2019**			
		Feb	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**
Lecturas de artículos	Recopilación de información															
Revisión bibliográfica y clasificación de información	Construcción de objetivos, planteamiento de problema, justificación.															
Análisis de datos	Estadística de resultados															
Discusión de resultados	Propuesta de formulación ambientalmente															

Tabla 2. *Cronograma.*
Fuente: Elaboración propia, 2018

2. Matriz de Objetivos

Objetivos específicos	Fase	Actividad	Técnica	Instrumento	Resultado esperado
- Identificar las prácticas actuales de fertilización en el cultivo y en la vereda Hato - Grande Suesca	Diagnóstico e identificación del problema	Identificación de técnica de fertilización en el cultivo	Recopilación de información recolectada en trabajo de campo	Encuestas	Técnicas de fertilización actuales en el cultivo de Uchuva
		Identificar el grado de afectación de la práctica agrícola en relación a variables ambientales	Recopilación de información bibliográfica	Bases de datos	Afectaciones por excesivo uso de fertilizantes químicos
		Análisis de muestra de suelo in situ		Guía RASTA	Tipo de suelo
Determinar la capacidad controladora e inductora de crecimiento vegetal de los microorganismos comparada con métodos de fertilización tradicional en una prueba piloto.	Identificación de variables ambientales y microbiológicas que influyen en el cultivo	Búsqueda bibliográfica de las enfermedades y patógenos que afectan el cultivo de Uchuva	Recopilación de información bibliográfica	Base de datos	Enfermedades y patógenos que afectan el cultivo de Uchuva
	Determinar el microorganismo eficiente	Búsqueda bibliográfica de microorganismos inductores de crecimiento vegetal y control biológico			Microorganismo eficiente
		Reactivar el microorganismo	Reactivación	Instrumentación de laboratorio de microbiología	Microorganismo
		Formular el bioinoculante (crear el medio líquido)	Siembra en medio líquido		Bioinoculante

	Evaluación de crecimiento en comparación a otros métodos de fertilización	Prueba piloto (siembra de blanco, fertilizante químico, bioinoculante y abono orgánico)	Siembra	área adecuada para siembra, pica, pala, manguera, materas, suelo, atomizador, jeringa, notas de campo	Análisis de crecimiento según práctica de fertilización (diferencias entre prácticas), identificación de variables influyentes en el crecimiento de las plantas.
Proponer una práctica de fertilización agrícola ambientalmente sostenible a través del uso de bioinoculante a partir de microorganismos accesibles a la comunidad, como estrategia de prevención de contaminación y aprovechamiento del suelo.	Proponer el bioinoculante como una prácticas de fertilización ambientalmente sostenible	Análisis de eficiencia del bioinoculante	Curvas de crecimiento, análisis de control biológico, beneficios al suelo y campesinos en su uso	Excel, notas de campo, revisión bibliográfica	Eficiencias del bioinoculante frente a factores ambientales

Tabla 3. *Matriz de Objetivos.*
Fuente: Elaboración propia, 2018.

3. Matriz de Variables

Dimensión	Variable	Aspecto de la variable	Indicador / Descriptor	Técnica	Instrumento
Social	**Asistencia técnica**	Frecuencia de asistencia técnica que los campesinos han recibido frente a la implementación de prácticas de fertilización y sus beneficios para el cultivo y el suelo	Número de visitas / tiempo -Contenidos de asistencia técnica (Descriptor)	Encuesta y entrevistas	Cuestionarios y guion
	educación conciencia ambiental	Nivel de conocimiento sobre las alternativas sostenibles	Número de personas que usan elementos de protección personal/ número total de personas encuestadas		
	Salud	Efectos a la salud	Número de efectos en la salud / # total de encuestados		
	Manejo de uso seguro de fertilizantes	Manipulación adecuada de fertilizantes en momento de mezcla y aplicación	Número de personas que usan elementos de protección personal/ número total de personas encuestadas		
Ecológico	**Suelo**	Características, químicas y biológicas	Materia orgánica, pH, textura, color y estructura, tiempo de recuperación del suelo	In situ y prácticas de laboratorio	Guía RASTA e instrumentos de laboratorio
		Inadecuadas prácticas agrícolas	Nivel de impacto	Entrevista	Guion

	Microorganismos	Caracterización microscópica y macroscópica	Forma, textura, color, UFC, Gram, Fosfato y Nitrato	Cultivo de bacterias, Tinción de Gram	Instrumentos e insumos de laboratorio, guías de laboratorio e identificación de microorganismos
		Control biológico	# hojas con manchas/# total de hojas, inhibición de crecimiento de fusarium	Observación y conteo, enfrentamiento dual	Instrumentos e insumos de laboratorio, guías de laboratorio e identificación de microorganismos, fotografías y libreta de campo
	Plantas	Inducción de crecimiento vegetal	Curva de crecimiento, #de hojas/ tiempo de cultivo, altura/tiempo, peso húmedo, peso seco	Observación y conteo, peso seco y peso húmedo	Metro, fotografías, libreta de campo
Económico	**Costos**	Fertilizante químico	Costo de fertilizante químico/total de costos	Visita a almacén de insumos agrícolas y encuestas/entrevistas a campesinos	Cuestionarios y guion, Excel y libreta de campo
		Fertilizante biológico	Costo de fertilizante biológico/total de costos	Presupuesto de formulación de bioinoculante	
		Fertilizante orgánico	Costo de fertilizante orgánico/total de costos	Presupuesto de inversión en abono orgánico	
	Eficiencia	Producción según cultivo	Tiempo y producción de cultivo/ superficie	Encuesta y entrevistas, curva de crecimiento/superficie	
	Ganancia	Ganancias por producto agrícola	G= Ingreso - Inversión	Encuesta	

Tabla 4. *Matriz de Variables.*
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Resultados, análisis y discusión de resultados

1. Identificar las prácticas actuales de fertilización en el cultivo y en la vereda Hato - Grande Suesca

1.1. Diagnóstico a partir de encuestas a productores agrícolas.

A partir de encuestas se logró identificar las prácticas de fertilización en la vereda, datos generales de los encuestados como nivel de educación, sexo y edad.
Como se puede observar en la gráfica 7, de la muestra poblacional estudiada se pudo determinar que el 80% de las personas que respondieron la encuesta son hombres en un rango de edad entre los 26 y 40 años, el 20% restante son mujeres. Según la Organización Internacional del Trabajo, en el panorama laboral en 2012 esto se debe a que la mujer tiene menos participación en el desarrollo de cultivos, principalmente los que necesitan de aplicación de productos agroquímicos con alto grado de toxicidad, siendo consideradas trabajadoras familiares no remuneradas o productoras para autoconsumo (International Labour Organization, 2012).
Así mismo, se evidencia un alto porcentaje de nivel de educación en primaria y secundaria (40% y 47%, respectivamente), lo cual acompañado a una baja asistencia técnica (representada en un 73%, gráfica 10) se puede relacionar a los limitantes para la implementación de buenas prácticas agrícolas debido a que en su mayoría los medianos y pequeños productores tienen un nivel de conocimiento reducido y no cuentan con los recursos necesarios para acceder a información que maneja el sector agrícola exportador, tienen desconocimiento de los riesgos de los agroquímicos y una limitada asistencia técnica de uso eficiente de productos químicos, siendo este otro factor que influye en la poca conciencia de los efectos adversos de estas sustancias en la salud y el medio ambiente (Izquierdo & Rodríguez, 2006).

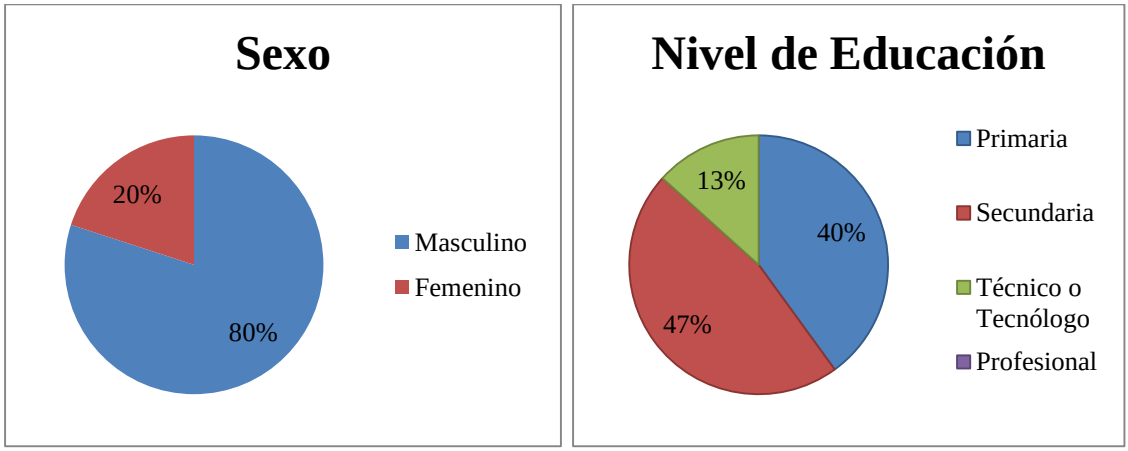

Figura 7. *Sexo y Nivel de Educación.*

En cuanto a los cultivos del área de estudio, el 54% de las personas encuestadas cultivan con mayor frecuencia la papa (Figura 8) debido a su adaptación en climas fríos y a alturas de 2.000 a 3.500 metros sobre el nivel del mar, además de la alta demanda de consumo en el país y su importancia en la base económica de las familias campesinas durante 1 o 2 años de producción; datos que se pueden asociar con el boletín de producción de papa en el 2018 publicado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, donde se afirma que del 90% de área sembrada de papa en Colombia, el porcentaje mayor se concentra en Cundinamarca con 37% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018), aunque sea un cultivo que por lo general trastorna intensamente el suelo, lo degrada, erosiona y lo satura de nitratos (FAO_1, 2008), considerando un gran problema al convertirse en un monocultivo el cual tiende a

incrementar la presión de las plagas y enfermedades, que induce a la utilización intensiva de plaguicidas (FAO_2, 2008). Sin embargo, se puede observar que en los dos últimos años disminuye la siembra de papa y se integran cultivos como arveja y huertas de Uchuva, continuando con la presencia de Fresa y Zanahoria. De esta forma, se puede ver una adopción de otros cultivos que del mismo modo generan ingresos económicos e indirectamente se emplea una rotación de cultivos que busca maximizar la productividad por unidad de superficie, optimiza el uso de los recursos, reduce la incidencia de plagas y enfermedades, aumenta nutrientes en el suelo y estimula la actividad de micorrizas de la rizosfera (Silva, Vergara & Acevedo, 2015).

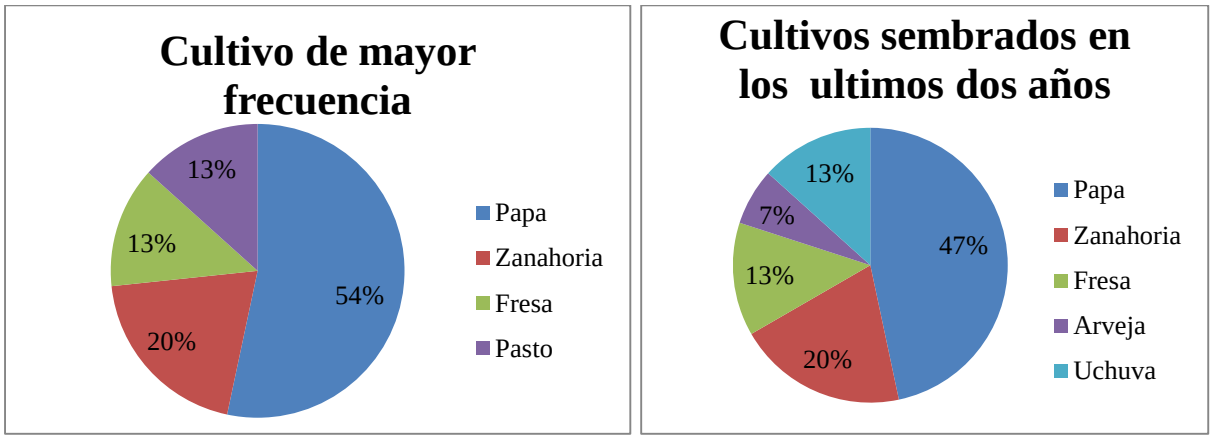

Figura 8. *Cultivo de Mayor Frecuencia y Cultivos sembrados en los últimos dos años*.

Con respecto a las generalidades de los cultivos, los entrevistados reconocen la preparación del terreno antes de la siembra, por otro lado, conocen plagas y enfermedades que afectan los diferentes cultivos como se puede apreciar en la tabla 5. Esto impulsa a que al presentarse variedad de enfermedades y plagas se implementen productos químicos para su control. En la Figura 9, podemos identificar que del 100% de las personas encuestadas, 87% utilizan fertilizantes químicos, 73% insecticidas y acaricidas, 53% fungicidas y bactericidas y 47% herbicidas. Para cualquiera de estos productos químicos no se cuenta con registro de aplicaciones, pero tienen en cuenta el periodo de tiempo de aplicación, que se aumenta en época de lluvias, además solo el 20% de la población cuenta con estudio de análisis físico químico. Es importante tener en cuenta que al no tener registro de aplicaciones ni análisis físico químico es posible que en algunos casos no se estén aplicando las cantidades apropiadas según el producto. El hecho de no tener control del uso de los productos, hace que haya una probabilidad de exceso de aplicación de manera que asegure el tratamiento de las plagas; esto a su vez genera un riesgo de pérdida de fertilidad del suelo, daño en el humus, acumulación y dispersión en medios acuáticos y organismos, los cuales no se biodegradan rápidamente y permanecen durante mucho tiempo en el entorno (García & Rodríguez, 2012).

Por otro lado, de acuerdo con Puerto 2014, una de las causas de la contaminación ambiental por plaguicidas está dada fundamentalmente por uso inadecuado de los mismos por parte de la población, cuando los plaguicidas ingresan en las cadenas alimentarias se distribuyen a través de ellas, se concentran en cada nicho ecológico y se acumulan sucesivamente hasta que alcanzan una concentración letal para algún organismo constituyente de la cadena, o bien hasta que llegan a niveles superiores de la red trófica (Puerto, Suárez & Palacio, 2014).

Información emitida por los entrevistados						
Cultivo	**Periodo de Cosecha (meses)**	**Clasificación de siembra**	**Preparación del terreno**	**Enfermedades o plagas conocidas que afectan el cultivo**	**Registro y periodo de tiempo de aplicación de agroquímicos**	
Papa	6	Semilla comprada	SI	Mosco, polilla guatemalteca, gusano blanco, gota	No hay registro de aplicaciones	8 0 15 días (depende de periodo de lluvias)
Zanahoria	4	Semilla comprada	SI	Gusano gris, Podredumbre negra en la raíz	No hay registro de aplicaciones	15 días
Fresa	12	Plántula importada	SI	Botrytis, araña blanca, garrapata, chiza, babosa	No hay registro de aplicaciones	8 días
Uchuva en huerta	8	Plántula	SI	Mosca de la fruta, marchitamiento	No hay registro de aplicaciones	N/A
Arveja	4	Semilla comprada	SI	Gusano y araña roja	No hay registro de aplicaciones	20 días

Tabla 5. *Generalidades de los cultivos según encuestados.*

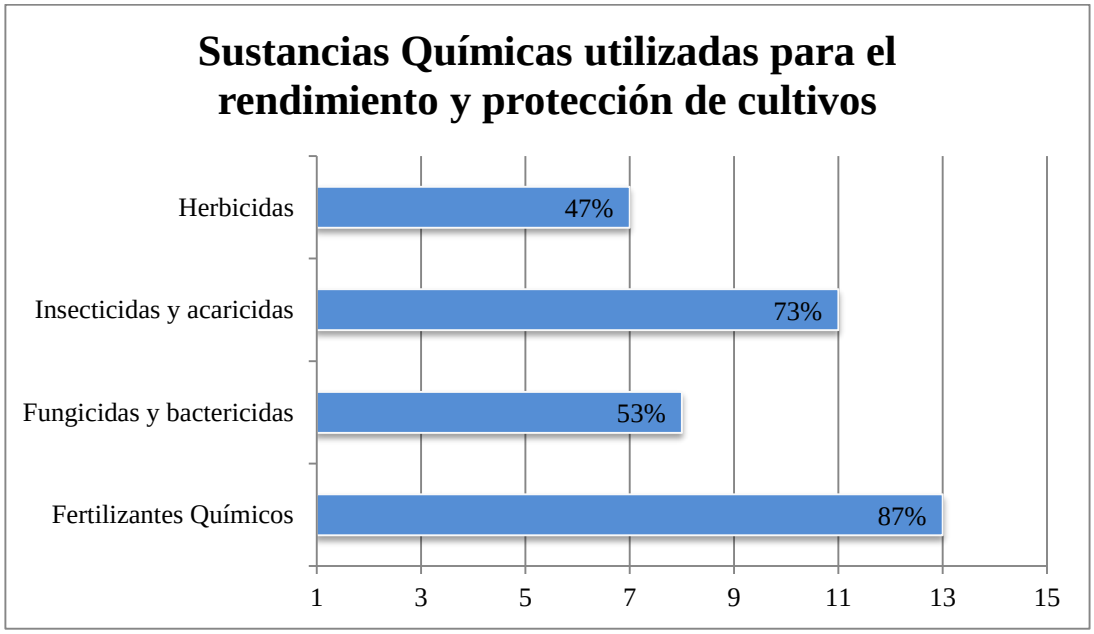

Figura 9. *Sustancia químicas empleadas en los cultivos.*

En este orden de ideas, así como el uso inadecuado de las sustancias químicas causa efectos sobre el medio ambiente este a su vez provoca efectos nocivos a la salud de los cultivadores que los aplican. Dentro de los cuidados en la preparación y aplicación de los productos, el 100% de los campesinos utilizan gorra o capucha (según ellos como medio de protección solar), 93% utilizan botas, 87% utilizan guantes y se lavan las manos después de la aplicación, 67% utilizan tapabocas, 47% hacen un adecuado manejo de envases, 40% revisan la etiqueta antes de manipular el producto, mientras que solo el 13% se duchan después de la aplicación, utilizan delantal impermeable, gafas o careta y overol (Ver figura 10). A estos factores y al inadecuado uso de los productos se relaciona el bajo porcentaje de asistencia técnica (27%); partiendo de que los trabajadores que se exponen a este tipo de sustancias químicas tienen un bajo nivel de conocimiento y concientización acerca de los daños a su salud. Un insuficiente acompañamiento de personal con competencias de manejo de agroquímicos hace que no todos los cultivadores implementen prácticas seguras, lo cual, dentro del manejo de las sustancias la persona que lo prepara y aplica corre riesgo de contraer efectos nocivos en su salud (Vásquez, León & González, 2015).

Se dice que un plaguicida tendrá un efecto negativo sobre la salud humana cuando el grado de exposición supere los niveles considerados seguros. En el caso de agricultores se refiere a una exposición directa de modo que se refleja en una toxicidad dérmica es decir riesgos tóxicos debidos al contacto y absorción del plaguicida por la piel, esta es menos evidente y sus dosis letales son siempre superiores a las orales, es por eso que presenta mayor riesgo para el manipulador que para el resto de la población (Puerto, Suárez & Palacio, 2014). Como fundamento a estos riesgos, en la revisión sistemática realizada por Vásquez, León & González 2015, se revela una problemática en salud a partir del uso indiscriminado de pesticidas, en este caso los efectos son interpretados por exposición directa a altas dosis, o crónicos por exposición a largo tiempo. Estos se presentan como síntomas en la función neurológica como también deterioro de la función motora y cognitiva en trabajadores expuestos a estas sustancias, además, algunos estudios realizados en trabajadoras agrícolas que se estaban en estado de gestación se encontraron que presentaban daños al sistema nervioso de sus hijos, demostrando que efectivamente la exposición de las madres a estas sustancias causa daños a la salud de sus niños (Vásquez, León & González, 2015).

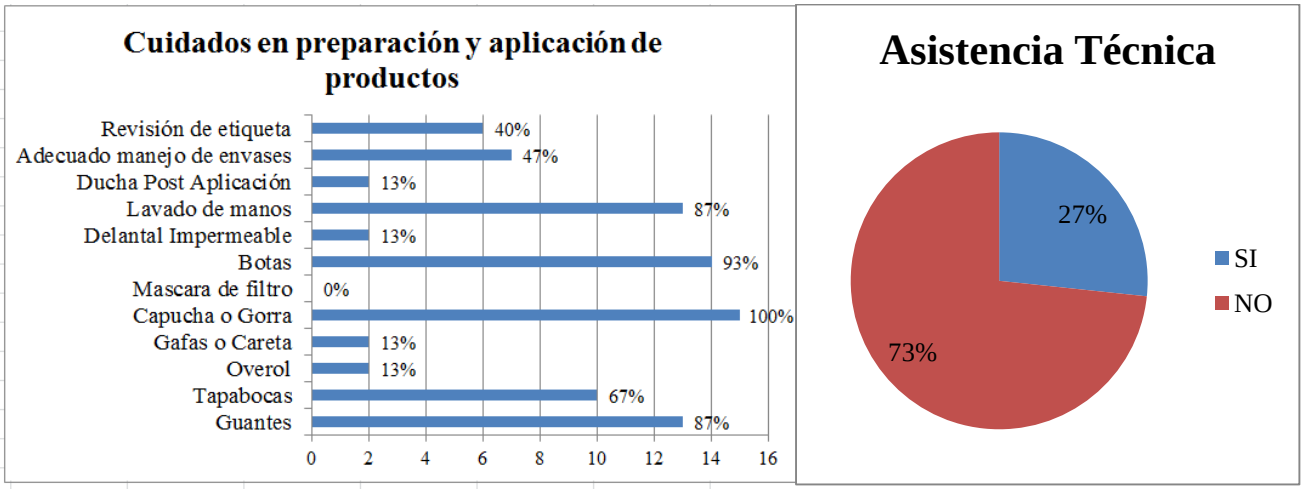

Figura 10. *Cuidados en preparación- aplicación de productor y asistencia técnica.*

Desde otro punto de vista, en las encuestas se consideró la utilización de productos ecológicos. Como se observa en la figura 11, se pudo determinar que el 33.3% han empleado algún tipo de abono orgánico en especial gallinaza, el 66.6% restantes no han recurrido a otros productos que no sean químicos en cultivos para comercializar. Según argumentos de las personas que emplean abono orgánico, lo hacen debido a que han notado mejor producción del cultivo y mejoramiento en la calidad del suelo, recordando que de acuerdo a información brindada por los cultivadores, por la utilización excesiva de productos químicos el suelo lo deben dejar descansar 2 años, de lo contrario lo invertido en la cosecha es perdido puesto que no crece nada. Dicha información se alinea a lo planteado por Véliz (2014), quien afirma que la gallinaza mejora la estructura del suelo, aumenta la infiltración de aire y agua, disminuye las pérdidas por erosión, aumenta la capacidad de retención de nutrientes y provee nutrientes esenciales a la planta (Véliz, 2014).

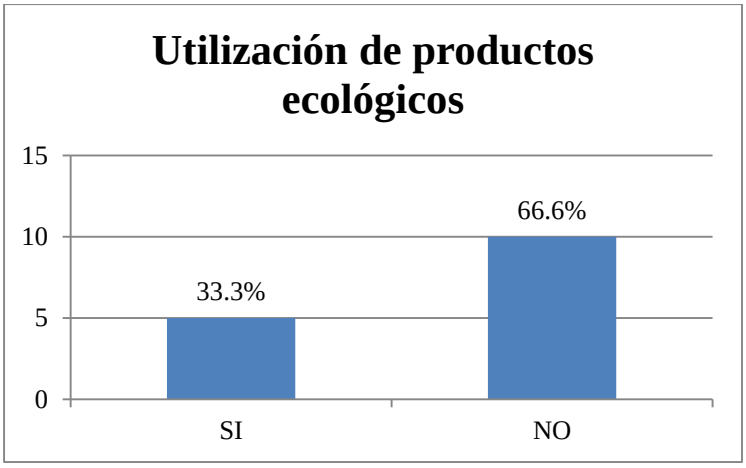

Figura 11. *Utilización de productos ecológicos.*

1.2. Identificación de prácticas agrícolas en el cultivo de Uchuva.

A partir de la entrevista se logró identificar un cultivador de Uchuva a mediana escala que implementa productos químicos en sus prácticas agrícolas, de esta forma se reitera la información recolectada en las encuestas analizadas anteriormente. La uchuva que el cultivador ha producido durante tres cosechas ha sido vendida al mercado nacional, por esto los requerimientos del producto no son tan exigentes como en el mercado internacional. Se puede apreciar un interés en el cultivo debido al tiempo de etapa reproductiva que en comparación a otros cultivos este es más reducido y su productividad continua durante varios meses.

Dentro del tiempo de producción el cultivador afirma que después de la siembra de la plántula se demoró en producir 7 meses, y el anterior cultivo al actual permaneció produciendo 10 meses, para lo cual frente al Manual Técnico del Cultivo de Uchuva Bajo Buenas Prácticas Agrícolas publicado por el SENA y la Gobernación de Antioquia donde dan a conocer que desde la siembra en campo hasta la primera cosecha transcurren en promedio 155 días, es decir 5 meses y medio, por tanto, se puede observar que la cosecha del cultivador entrevistado tuvo un tiempo adicional de 2 meses y medio. Además, según este soporte documental, si se cuenta con un adecuado manejo agronómico el cultivo puede alcanzar una vida productiva de hasta dos años, especialmente en lo relacionado con fertilización, podas, controles fitosanitarios y suministro de agua (Patiño, García, Barrera, Quejada & Rodríguez, 2014); esto se relaciona a que el cultivo no tuvo el tiempo de producción de un cultivo con manejo agronómico sostenible, partiendo que su fertilización se basó en productos químicos sin control y seguimiento técnico.

El deficiente control de la implementación de los productos químicos se pudo deber a que el cultivador no contó un análisis de suelo físico químico y microbiológico preliminar y con asistencia técnica frente a la aplicación de las dosis aptas según el estado de suelo. A su vez, en el manejo y manipulación de los productos se evidencia que las medidas de seguridad mínimas que tiene el cultivador y su esposa, según lo relata son un lavado de manos y utilización de guantes, reconociendo efectos nocivos en su salud cuando manipula productos químicos sin los elementos de protección necesarios, como picazón y resequedad en la piel.

Por otro lado, el cultivador reconoce las enfermedades y plagas más reconocidas en el cultivo, como lo son la mancha gris, el gusano y el mal de tierra. A su vez, relaciona la afectación al suelo por el inadecuado manejo de los productos químicos, sin embargo, no contempla a mayor escala todos los factores ambientales afectados. Para esto, da a conocer que si tiene conocimiento que los biofertilizantes son amigables con el ambiente, pero debido a la escasa asistencia técnica no sabe cómo mantener una adecuado manejo de los productos.

Los resultados obtenidos del estudio etnográfico son comparados con otros estudios uno de ellos es de Zuñiga A. (2015) donde a partir de la replicación de agricultores, infiere que la importancia del uso de fertilizantes en un 62% son para la mejora en la producción, un 31% para el crecimiento de cultivos y tan solo en un 7% cuidar el desgaste natural del suelo; el 57% nunca han hecho un análisis de suelo y además el 85% no tienen un manejo de nutrientes en la fertilización (Zúñiga, 2015), por lo que coincide con los agricultores del caso de estudio quienes muy pocos se preocupan y son conscientes del cuidado del suelo debido al aumento inadecuado de dosis de productos químicos para mejoras de la producción y prevenir pérdidas por clima sin tener una asistencia técnica, sin llevar registro de aplicación, sin análisis de suelo y sin sustituir a productos que favorezcan la fertilidad del suelo.

Por tanto, la intensificación de producción de alimentos conduce a un abuso de productos agroquímicos en especial plaguicidas, dando lugar a nuevas plagas o plagas resistentes, que acompañado con el inadecuado uso aumenta los riesgos en el ambiente convirtiéndose en residuos contaminantes para el sistema biótico como abiótico amenazando su estabilidad y representando en peligro de salud pública. Un ejemplo de esto es la contaminación en el suelo donde son de difícil eliminación persistiendo en el mismo en periodos de 5 a 30 años (Puerto, Suárez & Palacio, 2014).

Por otro lado, un estudio realizado por Montaña (2008) quien revisó el historial médico de una comunidad agricultora apreció un cierto número de intoxicaciones producidas por el manejo de insecticidas argumentando que la ausencia de precauciones al utilizar productos con alto grado de toxicidad química en su composición debido a la falta de conocimiento sin un equipo de protección, mal transporte, almacenamiento y destrucción de envases al momento de realizar una fumigación produce intoxicaciones y otros daños en la salud (Montaña, Montilla, Perdomo, Valera & Valenzuela, 2009).

2. Determinar la capacidad controladora e inductora de crecimiento vegetal de los microorganismos comparada con métodos de fertilización tradicional en una prueba piloto.

2.1. Caracterización Streptomyces Griseus

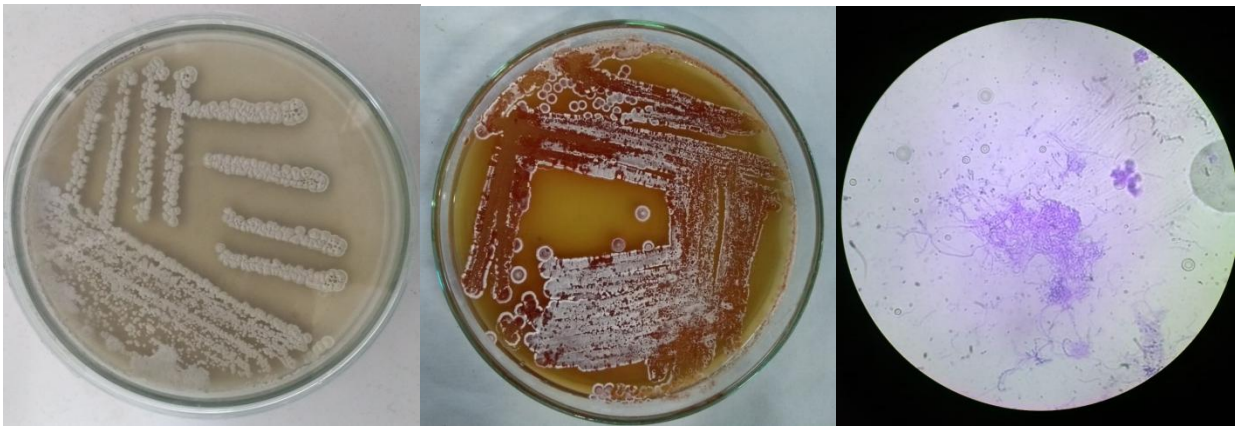

Figura 12. *Microscopía y Microscopía de Streptomyces Griseus.*

En la Figura 12 (1), se observa *Streptomyces Griseus* en agar Gym. Con base en la guía de morfología y estructura bacteriana de Pirez y Mota 2008, macroscópicamente la morfología colonial se caracteriza por ser una bacteria de color blanco inicialmente puntiforme, rugosa, de aspecto seco pulverulento, de consistencia dura y olor a suelo (Pírez & Mota, 2008), a medida que va madurando sus colonias se pigmentan a color grisáceo algo naranja, sin embargo, conservan colonias mates de color blanco pulverulentos. Microscópicamente por medio de la técnica Tinción de Gram se observan bacterias Gram-positivas formadas por filamentos largos y ramificados que se conforman de cadenas de esporas ovales.

2.2. Determinación de solubilización de fósforo

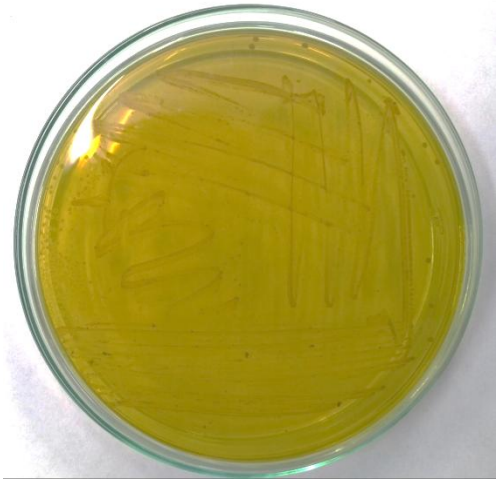

Figura13. *Streptomyces Griseus en agar SMSR1*.

.

La determinación de solubilización de fosfatos es una prueba cualitativa llevada a cabo por siembra directa en medio de cultivo SMSR1 (sólido de color azul violeta). Este agar contiene fosfato tricálcico que al solubilizarse permite identificar aclaramiento alrededor de las colonias (formación de halos), adicionalmente, este medio contiene azul de bromofenol como indicador de pH, lo cual permitió alrededor de 24 horas observar un cambio de coloración de azul a amarillo a causa de la acidificación del medio debido a que las bacterias hacen uso del fosfato como única fuente nutritiva (Tejera, Heydrich & Rojas, 2013).

La presencia de bacterias con esta capacidad son de gran valor para la formulación de biofertilizantes puesto que el aumento de iones de fósforo que al ser hidrolizado con enzimas como los fitasas, facilitan la movilidad de este elemento en el suelo y lo transforman en un compuesto accesible para la planta, siendo un componente esencial para el crecimiento y funcionamiento de la misma. Por tanto, es una prueba importante para la agricultura sostenible debido a que el empleo de biofertilizantes con microorganismos que solubilizan fosfatos demuestra eficacia en los suelos y disponen de mayor fósforo soluble la planta lo que involucra el desarrollo de la raíz, el crecimiento y la floración. El uso de estos productos puede minimizar el impacto ambiental que producen los fertilizantes químicos, no sólo limitando el uso de productos tóxicos que conducen a la erosión del suelo sino mejorando el rendimiento de los cultivos (Corrales, Arévalo & Moreno, 2014).

2.3 Determinación de fijación de Nitrógeno

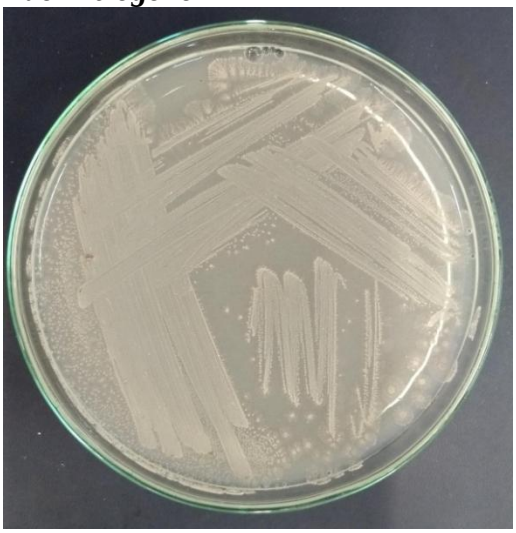

Figura 14. *Streptomyces Griseus en agar Ashby.*

Esta prueba se realizó en un medio de cultivo Ashby, al ser libre de nitrógeno permite identificar cepas con potencial de fijación del elemento, lo cual se evidencia en la Figura 14, donde se observa crecimiento de los microorganismos indicando que son capaces de sustituir su necesidad metabólica del nitrógeno haciendo uso del nitrógeno atmosférico presente en la micro atmósfera que encierra la caja Petri (Flores, 2018).

Se considera que dentro de los grupos de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno están los Actinomicetos, filo del cual hace parte *Streptomyces*, estas bacterias filamentadas nodulan raíces de diversas plantas viviendo en simbiosis con las mismas. Esta nodulación es de gran importancia para plantas no solo en aporte de nutrientes sino además compensa de nitrógeno atmosférico al suelo, actividad microbiana muy importante en suelos poco aireados (Calvo, 2011).

En este sentido, al ser el nitrógeno un elemento indispensable en la nutrición de las plantas (hace parte de las proteínas, aminoácidos, clorofila, enzimas, hormonas como vitaminas, entre otros) y al encontrarse de forma poco aprovechable es un factor limitante para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, al haber relaciones simbióticas entre planta y bacterias hay beneficios para ambos organismos: el actinomiceto ayuda a los bacteriodes de Rhizobium a la asimilación del hierro en la fijación de nitrógeno contribuyendo en crecimiento de la planta y ésta por su parte, fija carbono y aporta compuestos

carbonatados a las bacterias. Esto permite el enriquecimiento de los suelos con compuestos nitrogenados sin necesidad de aplicar fertilizantes químicos cuyo uso indiscriminado ha alterado significativamente los constituyentes orgánicos, vivos del suelo y con ello el equilibrio ecológico (toxicidad de cultivos) (Flores, 2018).

2.4. Determinación del sustrato y de la concentración de microorganismo en el bioinoculante

Se seleccionó sustrato Avena no solo por su bajo costo de producción para una factible comercialización sino además por su fácil acceso y elaboración por parte del pequeño productor. Además sus características favorecen o generar las condiciones óptimas para el desarrollo del microorganismo. Así mismo la siembra diluida en la superficie del medio obtuvo un valor promedio total de 7.9×10^7 UFC/mL.

Figura 15. *Medio líquido para bioinoculante.*

2.5. Evaluación de inhibición de crecimiento de patógenos

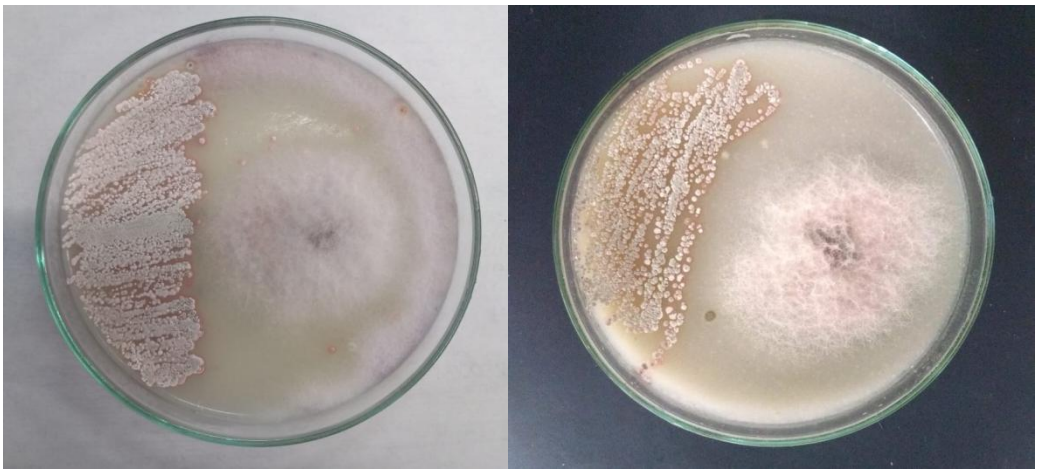

Figura 16. *Streptomyces Griseus en agar Avena.*

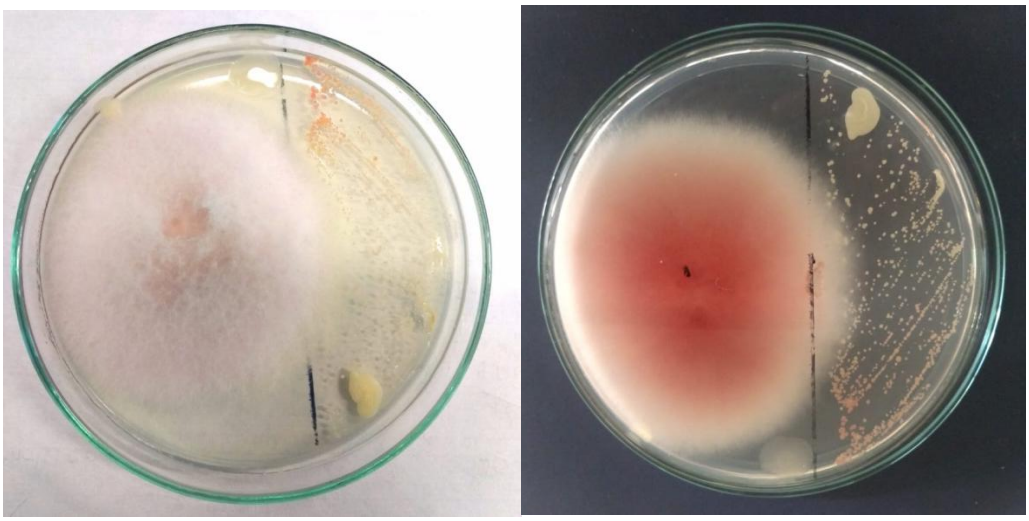

Figura 17. *Streptomyces Griseus en agar PDA.*

El porcentaje de inhibición presentado en Agar avena fue de 39% con una categoría de comportamiento medio de inhibición según la agrupación de Benítez 2007 y representa disminución en el crecimiento del patógeno. Por otro lado, en Agar PDA se evidenció un porcentaje de 23% clasificado como comportamiento bajo con ausencia de zona de inhibición, pero con disminución en el crecimiento del patógeno (Benítez, Bentley, Bustamante, Sánchez & Corrales, 2007). Aunque para *streptomyces* se reportan estudios como el de Márquez 2002, donde el porcentaje de inhibición fue mayor al 80% frente a *Fusarium Oxysporum* presentando halos de inhibición alrededor del fitopatógeno debido que la bacteria produce antibióticos y un largo espectro de sustancias fungistáticas (Márquez, Mercedes & Franco, 2002).

De esta manera el uso de microorganismos antagonistas se enmarcan como alternativas a una fertilización sostenible siendo económicas y ecológicamente amigables, además de que no existen agentes químicos eficaces y económicamente viables para el control de la enfermedad producida por *Fusarium Oxysporum* (Rodríguez, et al., 2017).

2.6. Evaluación en prueba piloto campo e invernadero (siembra de uchuva- aplicación y seguimiento)

Prueba piloto en Invernadero

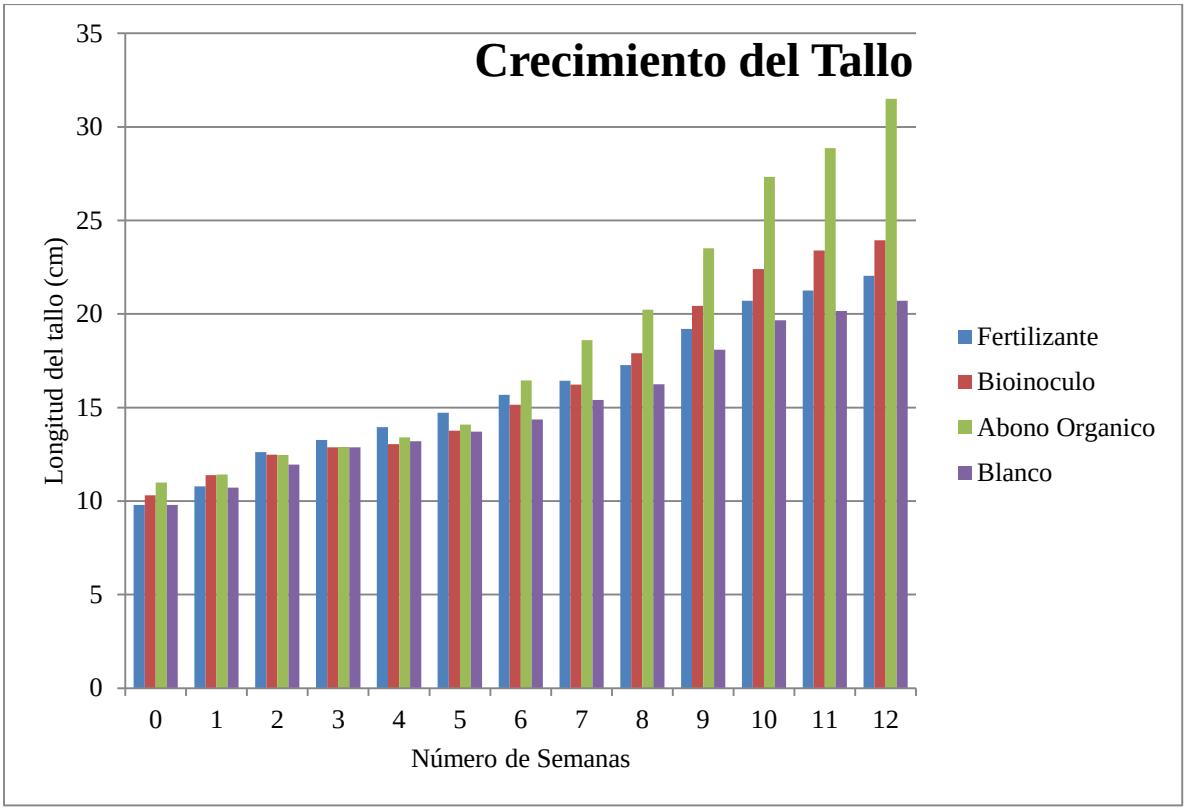

Figura 18. *Crecimiento en tallo por semanas en invernadero.*

Tiempo	Blanco	Bioinoculante	A. Orgánico	Fertilizante
92 días	0.11	0.15	0.22	0.13

Tabla 6. *Tasa de crecimiento por medición de altura de la planta en invernadero.*

En la Figura 18 se observa la relación entre las variables altura/tiempo, detallando el desarrollo que tuvo las plántulas de Uchuva en invernadero durante su crecimiento en las 12 semanas (92 días) que duró la prueba piloto. Además, se observa el crecimiento del tallo en cada tratamiento y se ve la tendencia a seguir creciendo especialmente en abono orgánico, en comparación a bioinoculante y fertilizante químico que en las últimas 3 semanas tuvieron un crecimiento significativo en contraste a las primeras semanas, pero aun así sin alcanzar ni sobrepasar al abono. En la semana 0, es decir al iniciar la prueba piloto, en promedio la longitud del tallo de las plántulas estaba entre 9 y 11 cm, siendo las de fertilizante y blanco las de menor tamaño, seguido de bioinóculo y abono orgánico las de mayor tamaño. En las siguientes 5 semanas, el fertilizante logra tener mayor crecimiento a comparación de las otras prácticas y del blanco, sin embargo durante las semanas 6 y 7 su crecimiento se estanca, al igual que el bioinóculo que entre las semana 2 a 5 no tiene un crecimiento significativo, contrario al abono orgánico que tuvo un crecimiento exponencial durante las semanas posteriores hasta la semana 12. Al finalizar la prueba piloto, el abono orgánico tuvo un crecimiento promedio de 31 cm, seguido del bionóculo con 24 cm, fertilizante químico con 22 cm y blanco con 21 cm.

Teniendo en cuenta estos resultados, en el cálculo de tasa de crecimiento (Tabla 6) efectivamente el abono orgánico se posiciona en primer lugar con una tasa de crecimiento de 0.22. Luego el bioinoculante, fertilizante químico y blanco con 0.15, 0.13 y 0.11, respectivamente.

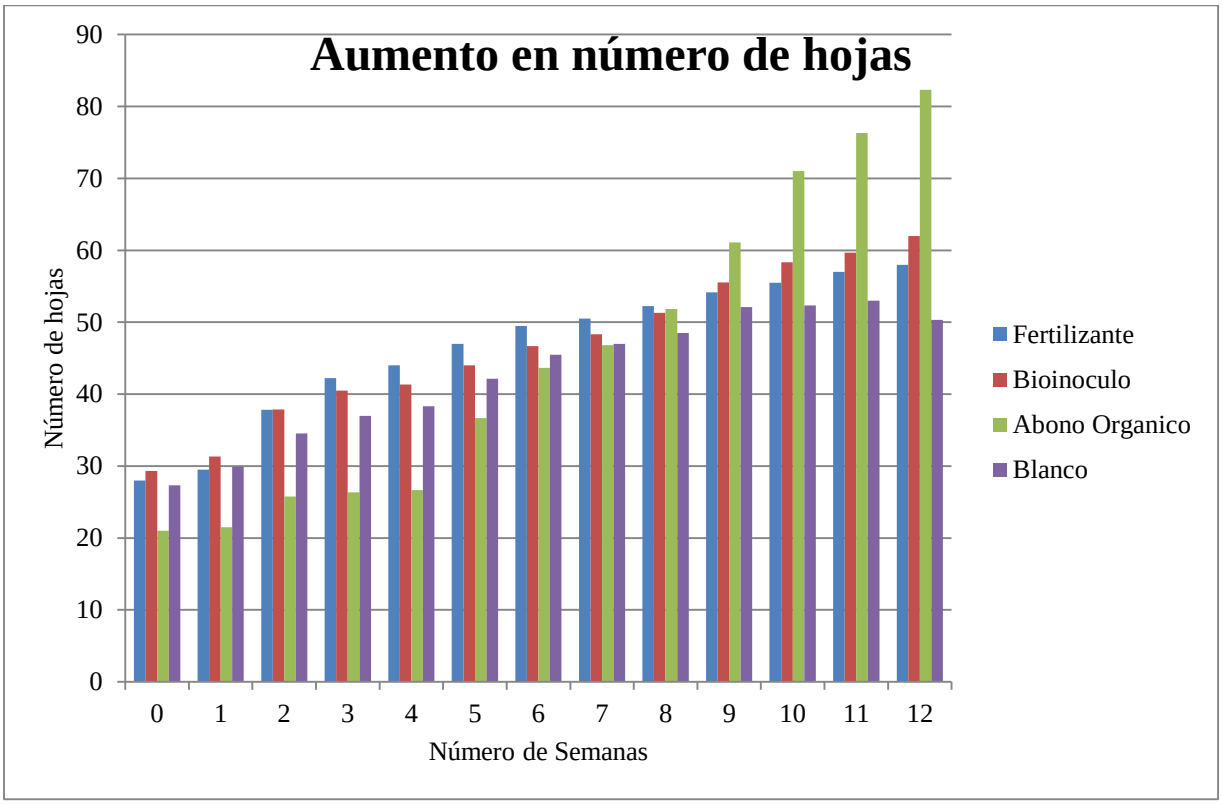

Figura 19. *Número de hojas por semanas en invernadero.*

Tiempo	Blanco	Bioinoculante	A. Orgánico	Fertilizante
92 días	0.25	0.35	0.66	0.32

Tabla 7. *Tasa de producción del número de hojas en invernadero*

En la Figura 19 se puede ver cómo a diferencia del tallo, inicialmente las plántulas de abono orgánico eran las que tenían menor número de hojas, seguido del blanco, fertilizante químico y las de mayor número de hojas las de bioinoculante presentando una mínima diferencia entre estos dos últimos. Después, en las semana de la 2 a la 7, el fertilizante químico es el que presenta mayor eficiencia en la producción de hojas; no obstante, el bioinoculante empieza a tener rendimiento relevante desde la semana 9. Al finalizar la prueba, se aprecia que el tratamiento más eficiente es el abono orgánico con una tasa de producción de número de hojas de 0.66, en segundo lugar, el bioinoculante con 0.35, siguiendo el fertilizante con 0.32 y de último blanco con 0.25 (Tabla 7).

Prueba piloto en Campo (Suesca, Cundinamarca).

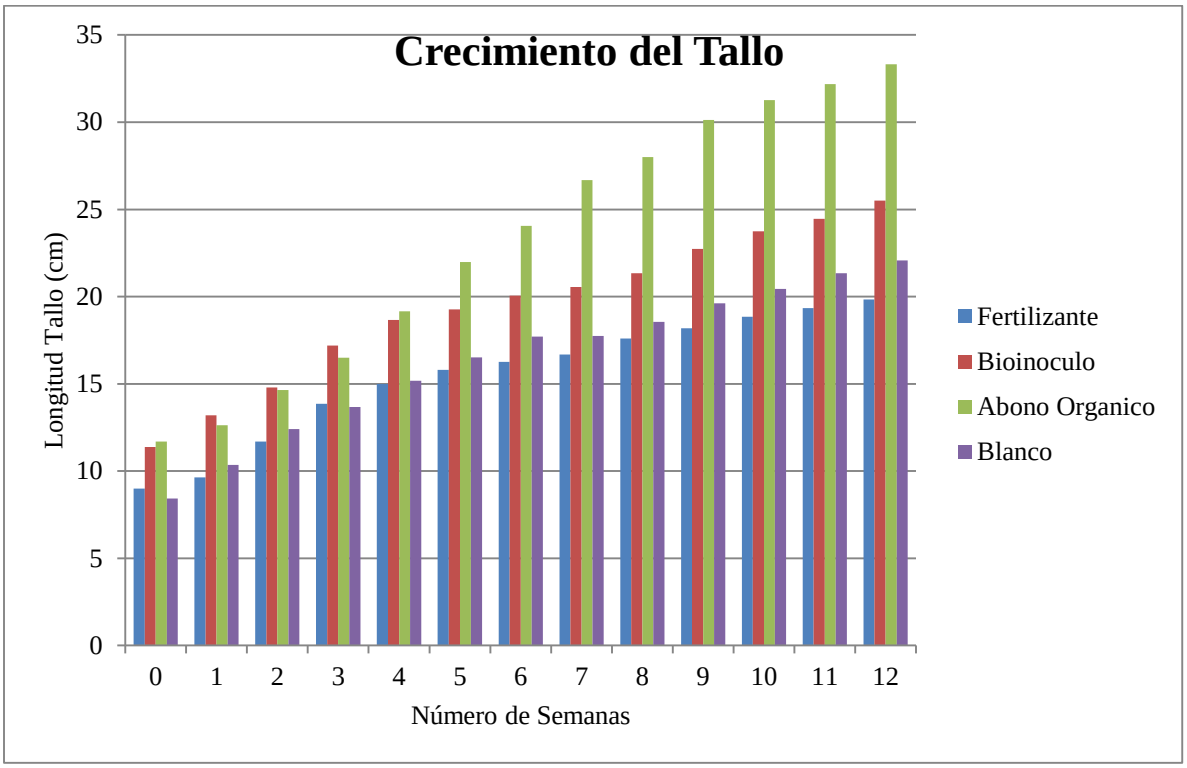

Figura 20. *Crecimiento de tallo por semanas en campo.*

Tiempo	Blanco	Bioinoculante	A. Orgánico	Fertilizante
85 días	0.14	0.17	0.25	0.12

Tabla 8. *Tasa de crecimiento por medición de altura de la planta en campo.*

Durante los 85 días de prueba piloto en campo, al igual que en la prueba en invernadero se pudo evidenciar que el tratamiento más eficaz en cuanto a crecimiento de tallo fue el abono orgánico, seguido del bioinóculo, que en esta ocasión tuvo mayor diferencia de crecimiento en referencia al tratamiento que le sigue, destacando que para este caso el blanco tuvo mayor crecimiento que el fertilizante químico (ver Figura 20). Al iniciar la prueba (semana 0), se puede ver el abono y el bionóculo con mayor longitud de tallo entre 11 y 13 cm, con una mínima diferencia entre estos dos, al igual entre el fertilizante y el blanco entre 8 y 9 cm. Todos los tratamientos mostraron una tendencia de crecimiento de tallo, sin embargo, es destacado el crecimiento exponencial que tuvo el abono orgánico que en promedio finalizó con una longitud de 34 cm y considerando una tasa de crecimiento de 0.25, seguido del bioinoculante con 0.17. Luego, el bioinoculante con una longitud promedio de 25 cm y una tasa de crecimiento de 0.17. En tercer lugar, se encuentra el blanco con una longitud de 0.22 y una tasa de crecimiento de 0.14, y de ultimo el fertilizante químico con un promedio de 19.8 cm y una tasa de crecimiento de 0.12 (Tabla 8).

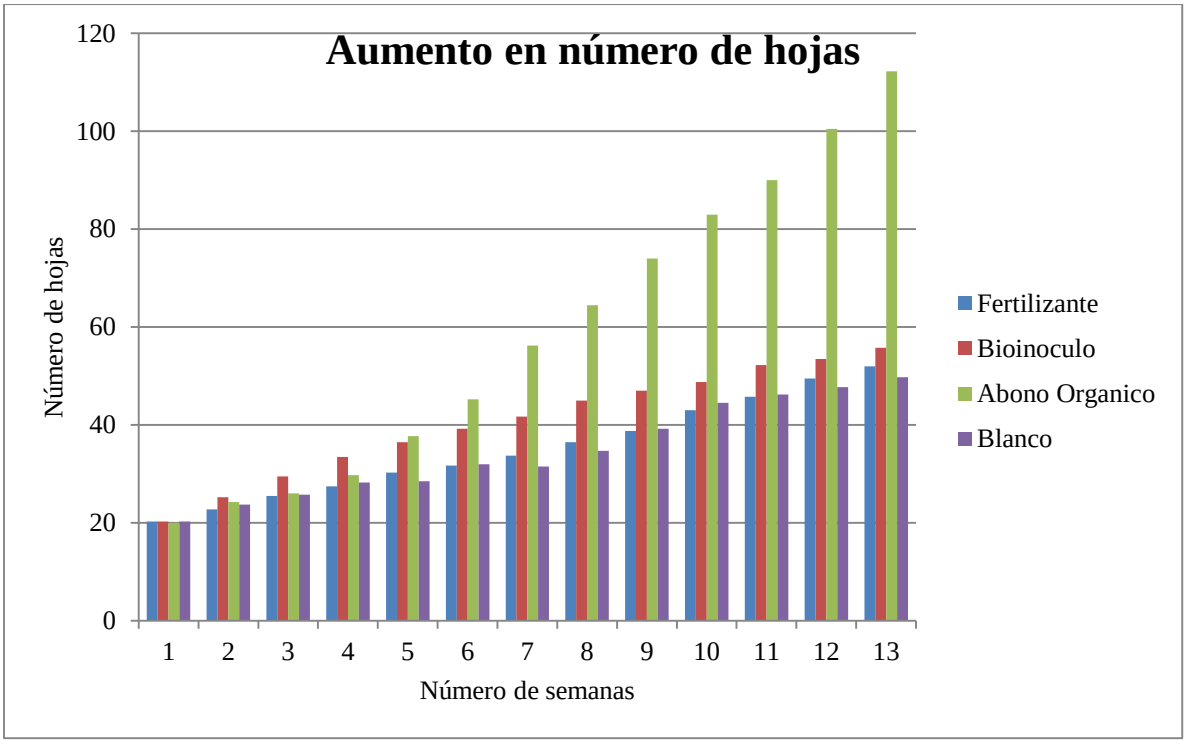

Figura 21. *Número de hojas por semanas en campo.*

Tiempo	Blanco	Bioinoculante	A. Orgánico	Fertilizante
92 días	0.34	0.41	1.07	0.37

Tabla 9. *Tasa de producción de número de hojas en campo*

De la producción de número de hojas, se observa una diferencia desmedida entre el número de hojas entre el abono orgánico y los otros tratamientos, que en general en la semana 13 tuvieron en promedio un número de hojas entre 50 y 55; y el abono aproximadamente 115 hojas. De la Tabla 8 se puede apreciar como la tasa de producción de número de hojas del abono orgánico sobrepasa el doble del que le sigue con un 1.07 y el bioinoculante con 0.41. Del fertilizante al blanco no hay gran diferencia en la tasa de producción de hojas, fertilizante cuenta con 0.37 y blanco con 0.34. Se destaca que las hojas de mayor tamaño son las de abono orgánico como se observa en la Tabla 9 (3).
Adicional al seguimiento de las mediciones de la longitud del tallo y el número de hojas tanto en invernadero como en campo; se realizó seguimiento del estado de las hojas y el tallo teniendo en cuenta características como la coloración y anomalías como puntos y agujeros en hojas y tallo. En la prueba piloto en invernadero ocasionalmente algunas plantas presentaban un tono amarillo en unas de sus hojas como se observa en la Tabla 10 (1 y 4) correspondiente a una planta de fertilizante químico y blanco, del mismo modo en la prueba piloto en campo se evidenció hojas de coloración amarilla o café y con agujeros en sus hojas, pero presentándose en mayor número de hojas.

Según el Manual Técnico de Buenas Prácticas en la etapa reproductiva, después de la maduración del fruto las hojas se amarillan y se caen pero esto ocurre una vez a pasada la etapa vegetativa, para lo cual durante la prueba piloto aún se encontraba en la mitad del proceso de esta etapa, por tanto, la causa de estas anomalías en las plantas son generadas por factores ajenos a ella. En este manual, detallan las plagas

más comunes que afectan el cultivo, como lo son la pulguilla saltona que forma agujeros redondos muy pequeños, la mosca blanca que produce amarillamiento y verde pálido en los diferentes órganos de la planta; y enfermedades como la mancha gris causada por un patógeno cuya presencia se puede observar en campo en forma de pequeños puntos necróticos que posteriormente forman manchas irregulares y luego se tornan redondeadas de color gris y la marchitez vascular causada por *Fusarium Oxysporum* que se observa por medio de un amarillamiento de las hojas basales, que posteriormente se marchitan, se secan pero permanecen adheridas a la planta (Patiño, García, Barrera, Quejada & Rodríguez, 2014). Ya comparando los síntomas de estas enfermedades y plagas con los presentados en algunas plantas de la prueba piloto, se puede deducir que el blanco, efectivamente al no tener ningún tratamiento de fertilización como soporte para enfrentar la exposición a plagas y patógenos fueron las plantas más afectadas presentando la mayor cantidad de estos síntomas. De los tratamientos de fertilización, el fertilizante químico fue la práctica que presentó mayor número de hojas afectadas, el abono orgánico y el bioinoculante presentaron agujeros en las hojas, pero se evidenciaba en menor proporción mostrando de tal manera mayor control a diferencia de los otros tratamientos.

Invernadero			
1 Fertilizante químico	**2** Abono orgánico	**3** Bioinoculante	**4** Blanco
Campo			
5 Fertilizante químico	**6** Abono orgánico	**7** Bioinoculante	**8** Blanco

Tabla 10. *Tratamientos de fertilización en invernadero y campo.*

Tasa de crecimiento características adicionales evaluadas en semana 0 y semana 12:

Tratamiento	Longitud de la Raíz	Tamaño de la hoja (Largo y Ancho)	Área superficial de la hoja	Peso Fresco
Blanco	0.147	0.007	0.0133	0.2352
Bioinoculo	0.190	0.033	0.0663	0.3001
Fertilizante	0.181	0.009	0.0134	0.2058
Abono Orgánico	0.216	0.038	0.1004	0.3794

Tabla 11. *Tasa de crecimiento (raíz, hojas y peso seco)*

A partir de las observaciones y el seguimiento realizado durante la evaluación en cada tasa de crecimiento de los tratamientos de fertilización (Tabla 11), se pudo identificar que el abono orgánico es un medio de fertilización eficaz en cuanto a la promoción de crecimiento vegetal y producción de hojas, según Reyes 2016 esto se pudo deber a que los abonos orgánicos contienen una carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos que favorecen el crecimiento de las plantas. Estas sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico, tiene alto contenido de ácidos húmicos, y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita el drenaje del suelo y los medios de crecimiento, ocasionando que las plantas mejoren sus características fisiológicas-biológicas (Reyes, et al., 2016).

Seguidamente, el bioinoculante mostró mayor rendimiento en crecimiento de la longitud del tallo en comparación al fertilizante químico y al blanco, siendo este en segunda medida eficiente en promoción de crecimiento vegetal; es de resaltar que las plantas de este tratamiento fueron las que menos presentaron cambios en la coloración y agujeros en las hojas. Esto se debe a la asociación del género Streptomyces con las raíces desempeñando un papel muy importante en la promoción y protección del crecimiento de las plantas al controlar o inhibir los patógenos. Son consideradas PGPR por su capacidad de producir ácido indolacético (AIA), proteasas extracelulares, antibióticos, VOC, sideróforos y solubilización de fosfato y se han reportado como promotoras de crecimiento en tomate, trigo, arroz, garbanzo y eucalipto. Además, comprobado por Dias (2017) en un estudio de Tomate seis aislamientos de Streptomyces spp. obtuvieron aumentos significativos en floración y longitud de raíz, efecto atribuido a la producción de COV por las bacterias, asimismo, demostraron ser eficaces para disminuir la incidencia de la enfermedad de la pudrición blanda. Por consiguiente, al ser bacterias catalogadas PGPR se caracterizan por al menos dos de los tres criterios: colonización competitiva de las raíces, estimulación del crecimiento y reducción de la incidencia de la enfermedad. (Dias et al., 2017)

2.7. Peso seco

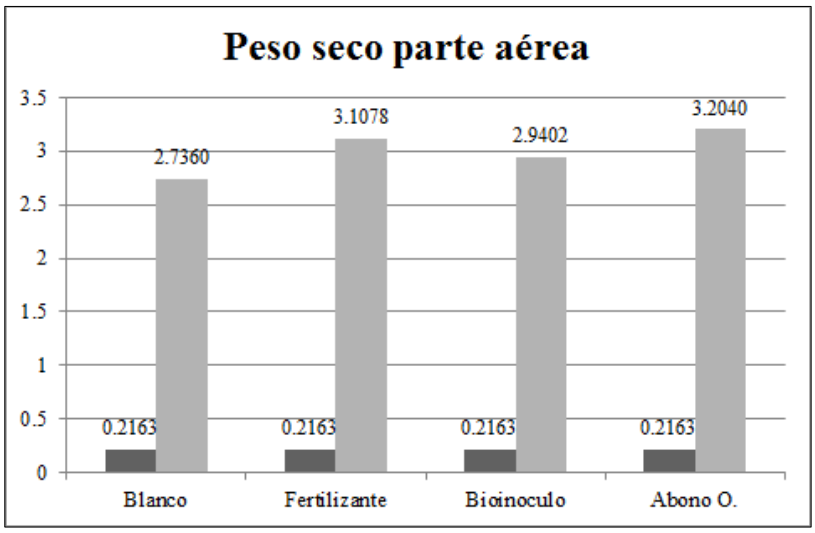

Figura 22. *Peso seco parte aérea.*

En la variable peso seco para tallo y hojas como se observa en la figura 22 el abono orgánico sigue mostrando los valores más altos en comparación con los demás tratamientos, así mismo, las características que más influyeron sobre la variable en la parte aérea fueron el número de hojas, altura y diámetro del tallo pues un incremento de estas características conllevan a un aumento del peso seco en las plantas. Igualmente, se evidencia ganancia de biomasa en 12 semanas para todas las plantas y con valores mayores en todos los tratamientos frente al Blanco y aunque el Fertilizante es el segundo valor más alto en peso seco no es relevante frente al bioinoculo.

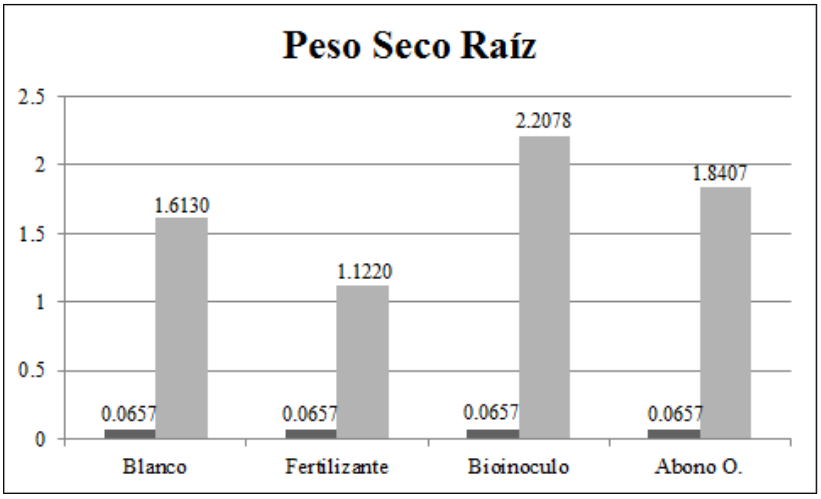

Figura 23. *Peso seco raíz.*

Por otro lado, como se muestra en la Figura 23 para el peso seco radical, se evidenció que el Bioinoculo es el tratamiento más significativo con un valor de 2.2078g, esto se debe posiblemente a presencia de PGPR asociadas a la rizósfera las cuales aumentan longitud de la raíz, la parte aérea, y el peso seco total. Además, se retribuye un efecto positivo de PGPR en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos deficientes de estos nutrientes aportando tanto en la nutrición como en el crecimiento vegetal (Criollo, Obando, Sánchez & Bonilla, 2012).

2.8. Fijación de microorganismos en el suelo

El uso del biofertilizante es evidente en el aumento de los microorganismos benéficos en el suelo, siendo importantes en la naturaleza, además de ser fitoestimulantes, mejoran la calidad y estructura del suelo, sustituyendo el uso indiscriminados de tóxicos mantienen la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad con condiciones de cultivo. Del mismo modo al mejorar la textura del suelo e incrementar su vida útil, lo mantiene en condiciones de cultivo óptimas y referente a Grageda (2012) los microorganismos en el suelo contribuyen a la formación de agregados estables, son mejoradores ecofisiológicos incrementando la resistencia al estrés tanto biótico como abiótico y son biorremediadores eliminando productos como pesticidas, herbicidas y fungicidas (Grageda, 2012).

3. Proponer una práctica de fertilización agrícola ambientalmente sostenible a partir del uso de un bioinoculante a base de microorganismos accesibles a la comunidad, como estrategia de prevención de contaminación y aprovechamiento del suelo.

Posterior a la evaluación de eficacia de cada tratamiento en la prueba piloto, se realizó una matriz de valoración según los resultados obtenidos. Para cada tratamiento se le asignó un valor según su eficacia y desviaciones presentadas en cada variable evaluada (ecológico, social y económico) como se observa en la Tabla 12. Se tuvo en cuenta una valoración de 1 a 3, donde 1 es poco óptimo y 3 muy óptimo (Tabla 12).

De esta evaluación de alternativas (Tabla 13), el mayor puntaje (26) corresponde al abono orgánico, es decir, este fue el tratamiento más eficiente en prueba piloto de invernadero y campo; sin embargo, el bioinoculante formulado obtuvo igual puntaje en las variables ecológica y social (10 y 9, respectivamente), partiendo que ambas prácticas promueven el mejoramiento de la calidad del suelo, pero resaltando que el abono tuvo mayor rendimiento en crecimiento de tallo en cuanto a las plantas lo cual lo hace resaltar frente a los demás, y como variables sociales tanto el abono como bioinóculo van alineados a prácticas agrícolas sustentables. Además, el abono es el más óptimo en costos debido a que sus componentes son derivados o residuos de otras actividades de los agricultores. Por otra parte, el menor puntaje (14) corresponde al fertilizante químico, práctica que al no tener su consumo controlado (uso excesivo) se convierte poco óptimo en las variables ecológicas y sociales al no cumplirse con protocolos de manejo seguro de fertilizantes.

Valoración	
3	Muy Óptimo
2	Óptimo
1	Poco Óptimo

Tabla 12. *Valoración matriz de alternativas.*

Alternativas	Ecológicas				Social				Económico			TOTAL
	Suelo		Plantas		Asistencia técnica	Manejo seguro de fertilizantes	Seguridad Alimetaria	Educación y conciecia ambiental	Costos	Eficiencia de producción	Ganancias	
	Carácteristicas físicas	Características microbiológicas	Crecimiento	Control Biológico								
Fertilizante Químico	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	14
Abono Orgánico	3	2	3	2	1	3	2	3	3	2	2	26
Bioinoculante	3	3	2	2	1	2	3	3	2	2	2	25

Tabla 13. *Matriz evaluación de alternativas.*

Finalmente, como objeto del proyecto se propone una práctica de fertilización que implemente abono orgánico y aplicación de bacterias PGPR como fuente de aprovechamiento y buen uso del suelo y sus potencialidades en el cultivo de Uchuva. Esta propuesta se debe a que los biofertilizantes elaborados con microorganismos en condiciones de suelos pobres no tienen un acondicionamiento y promoción significativa, lo cual en combinación con abonos orgánicos (recurso valioso para recuperar la fertilidad del suelo) promoverá la recuperación de materia orgánica del suelo y permitiendo la fijación de carbono en él, mayor capacidad de absorción de agua y asimilación de nitrógeno, fósforo, hierro entre otros nutrientes (Afanador, 2017); además, es importante tener en cuenta que estos productos al no tener en sus composición elementos químicos no serán factor de riesgo para la salud al momento de ser implementados por los agricultores (Gómez, 2013).
Del mismo modo, es importante resaltar que el abono orgánico obtuvo un crecimiento significativo en la planta tanto en invernadero como en campo seguido de la bacteria que no solo promociona el crecimiento vegetal sino además promociona el control de enfermedades al controlar o inhibir los patógenos como *Fusarium Oxysporum*. Alternativa considerada como económica y asequible por el empleo del sustrato avena para el bioinoculo y de Compost obtenido a partir de gallinaza y residuos agrícolas para el abono orgánico; además ecológica al fomentar el uso de dos recursos renovables y respetuosos del medio ambiente que promueven prácticas de fertilización ambientalmente sostenibles.

Por otro lado, se presenta las recomendaciones de manejo del biofertilizante en caso de ser presentado como un producto verde adquirido por la comunidad (Ver tabla 14).

Recomendaciones de manejo	
Composición	7 x 10^7 UFC/mL - Caldo Avena Dosis : 20 L / Ha
Aplicación	- Por sistema de riego o por aspersión - Aplicar en primeras horas de día o en la tarde - No aplicar con suelo deficiente en humedad
Almacenamiento	Conservación a temperaturas próximas a los 4°C (nunca en congelación) y sin exposición a la luz del sol
Manipulación	Se debe manipular con guantes y realizar un lavado de manos posterior a la aplicación y/o manipulación.

Tabla 14. *Recomendaciones de manejo del bioinoculante*

- El inoculante está integrado por cepas de *actinomyces* en un líquido que le sirve de soporte y protección en este caso Caldo Avena escogido por su fácil elaboración y además fácil manejo y aplicación por parte del agricultor. Así mismo, posee características nutritivas que previenen la pérdida gradual de la viabilidad de los microorganismos a introducir a los cultivos.
- El bioinoculante puede ser aplicado por sistema de riego directamente en los surcos después de que se haga la siembra o también la plántula puede ser inmersa en el líquido antes del trasplante (el mismo caso para la semilla), para el biocontrol el inoculante puede ser asperjado o suspendido desde la aplicación directa en los surcos. Lo indicado es aplicar en las primeras horas de día o en la tarde, además, no aplicar con suelo deficiente en humedad (Aguado, 2012).

- Si el envase es conservado a temperaturas próximas a los 4°C (nunca en congelación) y sin exposición a la luz del sol puede llegar a alcanzar una supervivencia mayor a un año.
- Nota: Debe evitarse el empleo de agroquímicos que afecten los microorganismos especialmente bactericidas para este caso (Aguado, 2012).

Según Aguado 2012 "la mayoría de los productos comerciales basados en bacterias refieren en su etiquetado valores de fluctúan entre 1.6 a 2 x 10 7 UFC/g o mL, concentraciones que se asumen aceptables en un biofertilizante, para estas concentraciones las dosis recomendadas a aplicar de esta bacteria son de 20 litros por hectárea" concentraciones cercanas a la composición del binóculo (Aguado, 2012).

Conclusiones

Por medio de encuestas y una entrevista se pudo identificar que en la vereda de Hato Grande en Suesca Cundinamarca, la mayoría de agricultores implementan productos químicos en sus prácticas de fertilización. Además, no tienen participación de asistencia técnica, lo que fomenta a un consumo inadecuado como uso excesivo y ausencia de hábitos de manejo seguro de fertilizantes; causando alta exposición a riesgos en la salud y deterioro de variables ecológicas.

En la evaluación de inhibición de crecimiento a patógenos en Agar avena, *Streptomyces griseus* tuvo un 39% de comportamiento de inhibición representado en la disminución de crecimiento de *Fusarium Oxysporum.* Contrario a la evaluación en Agar PDA donde se evidenció un porcentaje de 23% con ausencia de zona de inhibición pero con disminución en el crecimiento del patógeno.

En la determinación de fijación de nitrógeno en medio de cultivo Ashby, se pudo identificar que *Streptomyces griseus* tiene potencial de fijación del elemento, observando crecimiento de los microorganismos indicando que son capaces de sustituir su necesidad metabólica del nitrógeno haciendo uso del nitrógeno atmosférico presente en la micro atmósfera que encierra la caja Petri. Del mismo modo, se determinó que es solubilizador de fosfatos por su cambio de coloración en medio de cultivo SMSR1 (compuesto por fosfato tricálcico), debido a que las bacterias hacen uso del fosfato como única fuente nutritiva.

Por medio de la prueba piloto realizada en invernadero y en campo se pudo observar que a partir de la sexta semana el abono orgánico presenta mayor eficacia tanto en longitud de tallo como en número de hojas y peso seco, en comparación a los otros tratamientos evaluados. El bioinoculante es el segundo tratamiento más eficaz, caracterizándose por tener mayor control en coloración y aspectos característicos en las hojas, del mismo modo sobresalió frente a los tratamientos debido a los resultados obtenidos en el análisis de peso seco en raíz. A diferencia de estos dos tratamientos el fertilizante y blanco fueron los menos eficaces teniendo en cuenta que durante las 12 semanas de seguimiento y las pruebas de peso seco no presentaron resultados significativos.

Finalmente, en la evaluación de eficacia realizada a los tratamientos de fertilizante químico, abono orgánico y bioinoculante a base de Streptomyces griseus en el cultivo de Uchuva, el más eficiente fue el abono orgánico con un significante potencial en la promoción de crecimiento vegetal (longitud de tallo, número de hojas y peso seco). El segundo más eficiente y con mayor control sobre enfermedades y plagas fue el bioinoculante, por tanto se propone una práctica de fertilización que implemente abono orgánico y aplicación de bacterias PGPR.

Recomendaciones

Efectuar tratamientos combinados como el biofertilizante incorporado en materia orgánica, de diferentes fuentes, confirmando efecto benéfico y si responde con mejores resultados en los parámetros agronómicos medidos.

Seguir experimentando el biofertilizante con otros cultivos para evaluar si los rendimientos obtenidos en este estudio sirven en todo tipo de planta.

Por medio de un análisis anticipado a la aplicación del biofertilizante evaluar la calidad del suelo para certificar mejoras en las condiciones del mismo y mayor rendimiento en el cultivo.

Referencias Bibliográficas

Acuña, O. (2003). El uso de biofertilizantes en la agricultura. Costa Rica: Centro de investigaciones agronómicas.

Afanador, L. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. Universidad Central. Volumen 2, Pág. 66.

Aguado, G. (2012). Introducción al Uso y Manejo de los biofertilizantes en la agricultura. Instituto Tecnológico de Roque. México.

Alcaldía de Suesca - Cundinamarca. (n.d.). Alcaldía Municipal. Por: http://www.suescacundinamarca.gov.co

Almanza, P., Fischer, G. & Miranda, D., (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana L.*). Rev. Bras. Frutic. vol.36 no.1 Jaboticabal.

Azofeifa, A. & Moreira, M. (2004). Análisis de crecimiento del chile jalapeño *(Capsicum annuumL. cv.Hot)*, en Alajuela. Costa Rica: Agronomía Costarricense.

Banco de patentes SIC. (2014). Tecnologías relacionadas con biofertilizantes. Colombia: Industria y Comercio Superintendencia.

Becerra, J., Quintero, D., Martínez, M. & Matiz, A. (2011). Caracterización de microorganismos solubilizadores de fosfato aislados de suelos destinados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana L.*). Revista Colombia de Ciencias Hortícolas. Vol 5. No. 2.

Benítez, S., Bentley, J., Bustamante, P., Sánchez, L., & Corrales, L. (2007). Aislamiento de los microorganismos cultivables de la rizósfera de *Ornithogalum umbellatum* y evaluación del posible efecto biocontrolador en dos patógenos del suelo. Nova 5 p:147- 153.

Calvo, S. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. Universidad de Salamanca.

Carvajal, J. & Mera A. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible.

Castiblanco, C. (2018). Mercado de la Uchuva, Producción Nacional. Asociación Nacional de Comercio Exterior.

Concejo Municipal de Suesca, (2016). Plan de desarrollo "Manos a la obra" para el municipio de Suesca, Cundinamarca, durante el periodo 2016-2019.

Constantino, M., Gómez, R., Álvarez, J., & Espin, J. P. (2011). Efecto de la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices* en el crecimiento en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de viveros. México.

Corrales, L., Arévalo, Z. & Moreno, V. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. Vol. 12 No. 21. Colombia.

Córdova, Y., Rivera, M., Ferrera, R., Obrador, J. & Córdova, V. (2009). Detección de bacterias benéficas en suelo con banano (Musa AAA Simmonds) cultivar 'Gran enano' y su potencial para integrar un biofertilizante. Universidad y ciencia vol.25 no.3.

Criollo, P., Obando, M., Sánchez, L. & Bonilla, R. (2012). Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) asociadas a *Pennisetum clandestinum* en el altiplano cundiboyacense. Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Vol 13. No 2.

Dias, M., Bastos, M., Xavier, V., Cassel, E., Astarita, L. & Santarém, E. (2017). Plant growth resistance promoted by *Streptomyces spp*. in tomato. Plant Physiology and Biochemistry. Vol 118.

Estrada, G. (2008). Calidad de inoculantes almacenados a diferentes temperaturas: efecto sobre la población, humedad y pH del producto.

FAO_1. (2008). La papa y la conservación del suelo. División de Producción y Protección Vegetal de la FAO.

FAO_2. (2008). Gestión de las plagas y enfermedades. División de Producción y Protección Vegetal de la FAO.

FAO, (2016). Agricultura sostenible. Una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe.

Flores, I. (2018). Evaluación de Biofertilizante a base de Biochar y Actinomicetos Fijadores de Nitrógeno. Universidad Politécnica de Puebla. México.

Franco, M. (2009). Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. Rev. Peru. biol. 16(2): 239 – 242.

García, C. & Rodríguez, D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable. Vol. 8, Número 3. México.

Gómez, K. (2013). Evaluación del efecto de los fertilizantes químicos y orgánicos en el suelo, caso de estudio: cultivo de Jitomate en invernadero tipo túnel. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

González, H. & Fuentes, N. (2016). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. Revista de ciencias agrícolas.

Grageda, O., Díaz, A., Peña, J. & Vera, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista Ciencias Agrícolas. Vol. 3 No. 6. México.

Guzmán, A., Obando, M., Rivera, D., & Bonilla, R., (2012). Selección y caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) asociadas al cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*). Revista Colombiana de Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia.

Inifap. (2009). Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Chiapas, México. Folleto Técnico Centro de investigación regional pacífico sur.

International Labour Organization. (2012). Panorama Laboral 2012. América Latina y El Caribe.

Izquierdo, J. & Rodríguez, M. (2006). Buenas Prácticas Agrícolas. En busca de sostenibilidad, competitividad y seguridad alimentaria. FAO.

Lopera, J., Ramírez, C., Zuluaga, M. & Ortiz, J. (2010). El Método Analítico Como Método Natural. Universidad de Antioquia. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas, Vol 25.

Márquez, M., Mercedes, M. & Franco M. (2002). Aislamiento de *trichoderma sp*. y *actinomycetes* a partir de suelos de clavel (*dianthus caryophyllus*) y evaluación de su capacidad antagónica in vitro sobre *fusarium oxysporum. f. sp. dianthi*

Márquez, D. (2008). Residuos químicos en alimentos de origen animal: problemas y desafíos para la inocuidad alimentaria en Colombia. Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). La producción de papa en 2018 podría llegar a 2 millones 690 mil toneladas.

Montaña, M., Montilla, J., Perdomo, V., Valera, Y. & Valenzuela, J. (2009). Causas y efectos del mal manejo de los insecticidas sobre la salud del agricultor. Revista Científica Juvenil. Vol 7. Venezuela.

Nivia, E. (2004). Semillas en la economía campesina. Grupo Semillas. Edición, (21): 14.

Ordoñez, C. & Salazar, N. (2013). Aislamiento e identificación de actinomicetos fijadores de nitrógeno en suelo del jardín botánico de la Universidad tecnológica de Pereira.

Pardo, M. & Quintero, D. (2017). Formulación de una propuesta de bioinoculante que promueva el crecimiento vegetal, con el fin de trabajar bajo un marco de producción agrícola sostenible. Universidad El Bosque.

Patiño, D., García, E., Barrera, E., Quejada, O. & Rodríguez, H. (2014). Manual Técnico del Cultivo de Uchuva Bajo Buenas Prácticas Agrícolas. SENA & Gobernación de Antioquia. Colombia.

Pírez, M. & Mota, M. (2008). Morfología y Estructura Bacteriana. Instituto de Higiene, Facultad de Medicina. Uruguay.

Puerto, A., Suárez, S. & Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Rev cubana de Higiene Epidemiológica. Vol 52, Número 3. Ciudad de la Habana.

Reyes, J., Luna, R., Reyes, M., Suárez, G., Ulloa, C., Rivero, M., Cabrera, D., Alvarado, A. & González, J. (2016). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo de la COL (Brassica oleracea L). Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Vol 18. No 3.

Rivera, D. (2012). Formulación de un prototipo de biofertilizante con base en *Rhizobium s*. Tesis de Maestría. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

Rodríguez, L., Acosta, M., Alvarado, Y., Bermúdez, I., Cruz, M. & Pichardo, T. (2017). Antagonismo in vitro de cepas de *Bacillus spp*. frente a *Fusarium oxysporum f. sp*. Cubense. Instituto de Biotecnología de las Plantas. UCLV. MES.

Rojas, J., & Moreno, N. (2008). Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Bogotá: Revista Colombiana de Biotecnología.

Sampieri, R. (2010). Metodología de la investigación, quinta edición. México.

Sanz, S. (2011). Prácticas de Microbiología. Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones.

Shaff, A. (2013). Uso de pesticidas y toxicidad: relevamiento en la zona agrícola de San Vicente, Santa Fe, Argentina. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina: Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.4.

Sepúlveda, C. (2014). Efecto de prototipos de formulación a base de rizobacterias sobre la promoción de crecimiento vegetal y biocontrol de *Fusarium oxysporum Schltdl*, en Uchuva *Physalis peruviana L.* en condiciones de invernadero. Bogotá: Universidad El Bosque, Biología.

Silva, P., Vergara, W. & Acevedo, E. (2015). Rotación de Cultivos. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Tejera, B., Heydrich, M. & Rojas, M. (2013). Aislamiento de *Bacillus* Solubilizadores de Fosfatos asociados al cultivo de Arroz. Agronomía Mesoamericana. Vol 24(2):357-364.

Vásquez, C., León, S. & González, R. (2015). Agroquímicos y Afectaciones a la Salud de Trabajadores Agrícolas: Una Revisión Sistemática. Revista Colombiana de Salud Ocupacional, Vol 5(1). Colombia.

Véliz, H. (2014). Efecto de tres abonos orgánicos sobre el rendimiento y precocidad de la cosecha en el cultivo de Sábila; Guastatoya, El Progreso. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.

Venner, C., & Martin, M. (2009). Aislamiento y selección de rizobacerias promotras de crecimiento vegetal en cultivos de uchuva con capacidad antagónica frente a *Fusarium*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Yepes A., (2011). Novel Two-Component Systems Implied in Antibiotic Production in *Streptomyces coelicolor*. PLoS ONE 6(5): e19980.

Zúñiga, A. (2015). Análisis prospectivo de una línea productiva con fertilizantes granulados para la empresa Solvesa Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

Glosario

Agricultura ecológica o sostenible: Es un sistema alternativo de producción agrícola que permite obtener alimentos (de origen animal y vegetal) de la máxima calidad y libres de residuos químicos, respetando el medio ambiente y conservando o mejorando la fertilidad del suelo mediante la utilización óptima de recursos naturales, sin el empleo de productos químicos de síntesis y asegurando el bienestar de los animales.

Bioinoculante: Productos biológicos que son aportados a través del tratamiento de semillas, contienen microorganismos que ayudan a los cultivos a capturar nutrientes como por ejemplo nitrógeno y/o fósforo. Estos productos incluyen rizobios y otros microorganismos que contribuyen a la fijación biológica de nitrógeno (FBN) y a la solubilización de fósforo en el suelo entre otras cosas, mejorando de esta manera el rendimiento de los cultivos.

Biotecnología: Conjunto de técnicas, procesos y métodos que utilizan organismos vivos o sus partes para producir una amplia variedad de productos.

Control biológico: Fenómeno natural que consiste en la regulación del número de plantas y animales por medio de enemigos naturales (parásitos, predadores y patógenos); por otro lado, al Control Aplicado de Plagas, técnica que incluye la manipulación de esos agentes naturales por el hombre para reducir las pérdidas en agricultura, forestación o productos comerciales.

Salud ambiental: Es aquella disciplina que comprende aquellos aspectos de la salud humana incluida la calidad de vida y el bienestar social, que son determinados por factores ambientales físicos; químicos, biológicos, sociales y psico-sociales. También se refiere a la teoría y práctica de evaluar, corregir, controlar y prevenir aquellos factores en el medio ambiente que pueden potencialmente afectar adversamente la salud de presentes y futuras generaciones (Ministerio de Ambiente).