

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Evaluación de la sanidad del suelo después de la aplicación de enmiendas agrícolas y su efecto en la resistencia a *Phytophthora infestans* en papa (*Solanum tuberosum*)

Adrián Alejandro Villalva Sánchez

Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero en Biotecnología

Quito, 17 de diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Evaluación de la sanidad del suelo después de la aplicación de enmiendas agrícolas y su efecto en la resistencia a *Phytophthora infestans* en papa (*Solanum tuberosum*)

Adrián Alejandro Villalva Sánchez

Nombre del profesor, Título académico

Antonio León, PhD

Quito, 17 de diciembre de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Adrián Alejandro Villalva Sánchez

Código: 00200302

Cédula de identidad: 1721670170

Lugar y fecha: Quito, 17 de diciembre de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Ecuador tiene uno de los rendimientos de papa más bajos en comparación con otros países de América latina. Esta baja productividad se ha atribuido, en parte, a *Phytophthora infestans*, un oomiceto que provoca la enfermedad del tizón tardío en cultivos de papa, generando la aparición de manchas negras en la planta y la pudrición de la misma. Por tanto, el control del cultivo con fungicidas se ha vuelto más recurrente, sin embargo, son varios los reportes de fungicidas que han perdido eficacia en contra de este patógeno. Por esta razón, se decidió utilizar enmiendas agrícolas en el suelo, con el fin de mejorar la salud biológica y verificar si inducen resistencia al patógeno. Se comprobó mediante el análisis de parámetros de sanidad biológica que, en general, todas las enmiendas utilizadas tuvieron un efecto positivo en parámetros fisicoquímicos y de sanidad biológica del suelo. Sin embargo, las enmiendas que fueron un aporte de carbono y nitrógeno (Suero y Humus) aumentaron en más del 100% la cantidad de carbón activo y la tasa de respiración basal con respecto al control. El suero de leche aumentó en 27.30% el valor de pH y en 788% la conductividad eléctrica del suelo. Esta enmienda también influyó de manera positiva en el crecimiento de los cultivos de papa, al aumentar un 124% la altura y en un 673% el peso fresco de la planta. Además, el uso de esta enmienda, redujo en un 80.9% la severidad de la infección provocada por *P. infestans*, por tanto, fue la única enmienda en inducir resistencia al patógeno en cultivos de papa. En conclusión el uso de enmiendas agrícolas influye positivamente en la sanidad del suelo, sin embargo no se puede atribuir que una mayor sanidad impacte positivamente en el crecimiento de cultivos y la resistencia al patógeno, ya que solo el suero de leche indujo resistencia a *P. infestans*, por lo que se debería realizar un análisis del microbioma de este suelo para tener un mejor entendimiento del mecanismo por el cual se induce la resistencia.

Palabras clave: Enmiendas agrícolas, sanidad, papas, resistencia, *Phytophthora infestans*.

ABSTRACT

Ecuador has one of the lowest potato yields compared to other Latin American countries. This low productivity has been attributed, in part, to *Phytophthora infestans*, an oomycete that causes late blight disease in potato crops, causing the appearance of black spots on the plant and its rot. Therefore, the control of the crop with fungicides has become more recurrent; however, there are several reports of fungicides that have lost efficacy against this pathogen. For this reason, it was decided to use agricultural amendments in the soil, in order to improve biological health and verify whether they induce resistance to the pathogen. It was verified through the analysis of biological health parameters that, in general, all the amendments used had a positive effect on physicochemical parameters and soil biological health. However, the amendments which had a contribution of carbon and nitrogen (Whey and Humus) increased the amount of activated carbon and the basal respiration rate by more than 100% with respect to the control. The whey increased the pH value by 27.30% and the electrical conductivity of the soil by 788%. This amendment also had a positive influence on the growth of potato crops, increasing the height of the plant by 124% and the fresh weight of the plant by 673%. In addition, the use of this amendment reduced the severity of the infection caused by *P. infestans* by 80.9%, therefore, it was the only amendment to induce resistance to the pathogen in potato crops. In conclusion, the use of agricultural amendments positively influences soil health; however, it cannot be attributed that greater health has a positive impact on crop growth and resistance to the pathogen, since only whey induced resistance to *P. infestans*, so an analysis of the microbiome of this soil should be carried out to have a better understanding of the mechanism by which resistance is induced.

Key words: Agricultural amendments, health, potatoes, resistance, *Phytophthora infestans*.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	11
2. Metodología	15
2.1 Estandarización de metodología de respiración basal	15
2.2 Estandarización de metodología de POXC	16
2.3 Metodología para medir pH y conductividad eléctrica	16
2.4 Diseño experimental de suelos tratados con enmiendas agrícolas.....	16
2.5 Evaluación del crecimiento.....	17
2.6 Evaluación de la severidad de infección de <i>Phytophthora infestans</i>	17
2.7 Análisis de datos	17
3. Resultados	18
3.1 Estandarización de metodología de respiración basal	18
3.2 Tasa de respiración basal en suelos de la sierra ecuatoriana	18
3.3 Media de pH y conductividad de suelos con enmiendas agrícolas.....	18
3.4 Parámetros de salud biológica en tratamientos con enmiendas agrícolas.....	19
3.5 Crecimiento de plantas de papa cultivadas en suelos con enmiendas agrícolas	19
3.6 Severidad de infección causada por <i>Phytophthora infestans</i> en cultivos de papa.....	20
4. Discusión.....	21
4. 1 Estandarización de metodología de respiración basal	21
4.2 Parámetros de sanidad biológica.....	22
4.3 Efecto de enmiendas agrícolas en la tasa de crecimiento de los cultivos	23
4.4 Efecto de enmiendas agrícolas en la resistencia a <i>Phytophthora infestans</i>	24
5. Conclusiones	25
6. Tablas.....	26
7. Figuras.....	28
8. Referencias bibliográficas.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información general de enmiendas agrícolas	26
Tabla 2. Diferencia relativa de todas las enmiendas agrícolas y cultivos de papa en relación al control, en parámetros fisicoquímicos, sanidad, crecimiento y resistencia	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estandarización de la metodología de respiración basal	28
Figura 2. Metodología de respiración basal aplicada a suelos de la sierra ecuatoriana	29
Figura 3. Valores de pH y conductividad de suelos con enmiendas agrícolas.....	30
Figura 4. Parámetros de salud biológica en tratamientos con enmiendas agrícolas.....	31
Figura 5. Media de crecimiento de plantas de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) cultivadas en suelos con enmiendas agrícolas.....	32
Figura 6. Severidad de infección causada por <i>Phytophthora infestans</i> en cultivos de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) sembradas en tratamientos con enmiendas agrícolas.....	33

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Esamble de la incubadora de respiración basal.....	37
ANEXO 2 Metodología de infección con <i>Phytophthora infestans</i>	38
ANEXO 3. Discusión completa del tiempo de incubación	39

INTRODUCCIÓN

Esta investigación se la realiza debido a la baja productividad de papa en Ecuador, a pesar de que este cultivo es fundamental en la dieta del país, especialmente en la región Sierra. Se ha registrado que en el año 2019 existió una producción de 450.000 toneladas de tubérculos. Mientras que, en un país vecino, como Perú, se registró ese mismo año una producción de 5.3 millones de toneladas de tubérculos (Reategui, et al, 2020). Al comparar estos datos, se determina que Ecuador tiene uno de los rendimientos más bajos en comparación con otros países de América latina, a pesar de la gran diversidad y condiciones climáticas favorables que posee el país de la mitad del mundo. Esta producción escasa en el país se ha atribuido a diversos factores como el uso de variedades de cultivos susceptibles al estrés , falta de tecnología y maquinaria, y presión de enfermedades como el tizón tardío, responsable de las mayores pérdidas de cultivos de papa en el mundo, ya que es la enfermedad más severa de este cultivo, ocasiona por el oomiceto *Phytophthora infestans*, el cual provoca la aparición de manchas negras en las hojas, tallos y tubérculo, lo que ocasiona la pudrición de estas zonas y por ende la pérdida total del cultivo (Medina, et al, 2014).

Por esta razón el uso de fungicidas en cultivos de papa se ha vuelto más recurrente, sin embargo, son varios los reportes de estos agentes antimicrobianos que han perdido eficacia en contra de este patógeno, además los químicos que se utilizan ocasionan daños en la salud y contaminación del medio ambiente (Chañag, et al, 2018). En este contexto, la búsqueda de alternativas para controlar esta enfermedad y mejorar el rendimiento de plantas de papa se ha vuelto indispensable. Una de estas alternativas al uso de fungicidas, podrían ser métodos para mejorar la salud biológica del suelo y de este modo que se genere mayor resistencia en los cultivos a este patógeno.

La salud del suelo se refiere a la capacidad de este para funcionar como un ecosistema que permita el desarrollo de una amplia diversidad de microorganismos, como bacterias y hongos, y macroorganismos, como invertebrados y plantas. Para que el suelo funcione de forma correcta, es importante el uso de prácticas de manejo encaminados a mejorar la sanidad del suelo y con ello lograr aumentar la productividad y rentabilidad de los cultivos. Desde la perspectiva agrícola y ambiental, la salud del suelo está directamente relacionada con propiedades físicas, químicas y biológicas favorables que promuevan el desarrollo de las plantas (Altieri & Nicholls, 2006). Por tanto, el concepto de sanidad se lo puede dividir en salud física, química y biológica del suelo.

La salud física se refiere al equilibrio que tiene el suelo en conservar y drenar agua, así como su capacidad de no restringir el crecimiento de las raíces de los vegetales. Estas capacidades estarán determinadas por parámetros como la textura, permeabilidad, porosidad y drenaje del suelo (Cabrera, et al, 2017).

La salud química se define como la capacidad que tiene el suelo para que los nutrientes estén en equilibrio y disponibles para las plantas. Además, que la acidez y alcalinidad de la tierra se encuentre en un rango óptimo para el cultivo (Cabrera, et al, 2017).

El ultimo eje de sanidad lo compone la salud biológica, que hace referencia a la actividad de seres vivos que lo componen, ya que interactúan millones de pequeños y grandes organismos. En el suelo se puede encontrar poblaciones de hongos, bacterias y otros microorganismos. La abundancia de los mismos está relacionada con el contenido de materia orgánica y por ende con el almacenamiento y suministro de nutrientes para las plantas. Además, suelos con alta cantidad de microorganismos descomponen de manera acelerada y eficiente los residuos de vegetales, lo que impacta positivamente en la salud química y física del suelo (Hernández, et al, 2010).

Para evaluar la sanidad biológica del suelo, se utilizan varios parámetros como el índice de proteínas en el suelo. Pero dos de los más importantes son la cantidad de carbón activo, utilizando la metodología de carbono oxidable por permanganato (POXC) y respiración basal, utilizando una metodología de titulación.

La metodología de POXC permite medir la cantidad de carbón activo, en los suelos, que es un indicador de la materia orgánica que puede servir como alimento disponible y fuente de energía para la comunidad microbiana del suelo (Moebius, et al, 2017).

Por otro lado, la respiración basal, se define como la absorción de oxígeno y la liberación de dióxido de carbono por acción de microorganismos, lo que representa, la mineralización de carbono. Por tanto, este método es un indicativo de que tan activo se encuentra la microbiota de un suelo respectivo. Un suelo tiene una buena tasa de respiración cuando presenta valores entre 0,8 y 2 miligramos de dióxido de carbono sobre hora por gramo de suelo (Moebius, et al, 2017).

Una manera de potenciar estos parámetros de salud es aplicando enmiendas agrícolas, que son un aporte de un producto fertilizante destinados a corregir la calidad de los suelos en los parámetros físicos, químicos y biológicos mencionados (Pinochet, et al, 2018).

Por tanto, el objetivo principal de este estudio es Evaluar la sanidad del suelo después de la aplicación de enmiendas agrícolas, su efecto en el crecimiento de cultivos de papa y su resistencia a *Phytophthora infestans*. Para esto se va a optimizar la metodología de respiración basal y aplicarla en suelos de la sierra ecuatoriana y se va a determinar el efecto de los cambios en la salud biológica del suelo, por acción de enmiendas agrícolas, sobre el crecimiento de las plantas y la resistencia a *P. infestans*.

Los resultados obtenidos en este trabajo, demuestran que la metodología de respiración basal, estandarizada, es replicable para todos los suelos de la sierra ecuatoriana. Además, todas las enmiendas agrícolas utilizadas tuvieron un efecto positivo sobre parámetros fisicoquímicos y de sanidad biológica del suelo. Mientras que las enmiendas que fueron un aporte de carbono y nitrógeno (Suero de leche y Humus de lombriz) mejoraron el crecimiento de los cultivos de papa. Y el Suero de leche, fue la única enmienda en inducir resistencia en las plantas a *P. infestans*. Estos resultados son relevantes porque ayudan a tener un mejor entendimiento de los beneficios de las enmiendas agrícolas en el suelo. Así mismo, se pueden utilizar enmiendas, no tan comunes, como el suero de leche, que es un desperdicio de la industria láctea, en el campo agrícola, de modo que se puede aumentar el rendimiento de los cultivos de forma ecológica y rentable.

2. METODOLOGÍA

2.1 Estandarización de metodología de respiración basal

Para obtener las condiciones óptimas para la medida de respiración basal, se estudió el efecto del tiempo de incubación y la adición de perlita para mejorar la aeración del suelo. Primero, se armó una incubadora de vidrio (Ver más detalle en ANEXO 1) donde se colocó el suelo del que se midió la tasa de respiración basal. Para el estudio del efecto del tiempo de incubación, se utilizó un suelo negro del páramo de Cayambe y 6 incubadoras de vidrio . Se añadió 20 gramos de este suelo a cada incubadora y se siguió todos los pasos descritos en (ANEXO 1). Pero se realizaron las medidas de respiración basal en dos tiempos de incubación diferentes, para esto se separó a las 6 incubadoras en dos grupos (3 incubadoras cada grupo). En el primer grupo se midió la respiración basal cada 48 horas y en el segundo grupo se midió cada 72 horas. Para el estudio del efecto de adición de perlita al suelo, se utilizaron 4 muestras con 20 gramos del mismo suelo y diferente porcentaje de perlita, un vidrio volcánico, que aporta mayor estructura al suelo. De este modo, el tratamiento A contenía (suelo y 50 % de perlita), el tratamiento B (suelo y 25% de perlita), el tratamiento C (suelo y 0% de perlita) y un tratamiento control (0% suelo y 100% perlita). Todos estos tratamientos se hicieron por triplicado y se colocaron en distintas incubadoras. Después, se siguió los mismos pasos descritos previamente para medir respiración basal. En este caso se utilizó un tiempo de incubación de 96 horas.

Una vez que fue probado y replicado este método, se decidió utilizar esta metodología para medir la respiración basal de una colección de suelos obtenidos del laboratorio de biotecnología agrícola, las muestras fueron recolectadas en el 2019 y se tomaron 14 puntos a lo largo de la sierra ecuatoriana, de cada punto se tomó un suelo agrícola y nativo. Se colocó 20 gramos de cada suelo con 50% de perlita, se utilizó tres replicas por cada muestra y se midió la respiración basal utilizando la misma metodología explicada previamente.

2.2 Estandarización de metodología de POXC

Se pesó 2,5 gramos del mismo suelo usado en la metodología de respiración basal. Luego, se añadió al suelo 20 ml de permanganato de potasio 0.02 M. Esta solución se agitó por 2 minutos para oxidar el carbón activo de la muestra. Se dejó reposar por 8 minutos y después se pipeteó esta solución en un tubo con agua destilada. Posteriormente se midió la absorbancia a 550 nm en un espectrofotómetro, y se transformó este valor a unidades de mg de carbono por kg de suelo. Este proceso se hizo por triplicado.

2.3 Metodología para medir pH y conductividad eléctrica

Para medir estos parámetros fisicoquímicos se mezcló 50 gramos de suelo con 100 ml de agua destilada en una tarrina plástica. Se homogenizó, utilizando una cuchara metálica, por 5 minutos y se dejó reposar la solución durante 30 minutos. Después de este tiempo, se utilizó un medidor de la marca Hanna modelo HI98129, que fue calibrado previamente, para medir los valores de pH y conductividad eléctrica. Estas medidas se hicieron por triplicado.

2.4 Diseño experimental de suelos tratados con enmiendas agrícolas

Se utilizó un suelo volcánico rico en materia orgánica proveniente de Cayambe y 6 enmiendas agrícolas, que se colocaron al 5% de peso del suelo (ver tabla 1 para más detalle). El diseño experimental se lo separó en 6 tratamientos y un control, con la misma cantidad de suelo en el que se colocó después una enmienda agrícola en específico, y el control fue solo suelo sin ninguna enmienda (21 réplicas por tratamiento). Para cada tratamiento se tamizó y se pesó 30 kilogramos de suelo, se lo mezcló con el 50% de perlita y se distribuyó esta cantidad en 21 macetas, es decir 1,5 kilogramos de suelo en cada maceta. Estas enmiendas se dejaron acondicionar por 1 semana y se separaron 3 réplicas de cada tratamiento para medir parámetros fisicoquímicos (pH y conductividad) y biológicos (carbón activo y respiración basal). Después de 15 días de acondicionamiento de las enmiendas, se cultivó tubérculos de papa de la variedad

súper chola, obtenidos de aeroponía, en 18 réplicas de todos los tratamientos. Se esperó un crecimiento de 2 meses hasta el desarrollo ideal del cultivo y se midió altura, calibre, peso fresco de cada planta, y la evaluación de la severidad de infección del patógeno en el cultivo.

2.5 Evaluación del crecimiento

Para la altura, se midió a partir de la base del tallo hasta la hoja más alta con una regla graduada (apreciación 0.1cm). Para el calibre del tallo, se utilizó un calibrador digital marca Truper, modelo Caldi-6MP (apreciación 0.01 mm) y se midió este valor en la base del tallo de la planta. Por último, para el peso fresco de cada planta, se utilizó una balanza de precisión (apreciación 0.01 g) con la que se tomó el peso en gramos de la planta, sin contar la raíz de la misma. Para estos parámetros de crecimiento se midió 18 réplicas de cada tratamiento

2.6 Evaluación de la severidad de infección de *Phytophthora infestans*

Se introdujo en cámaras húmedas a las plantas de todos los tratamientos y se utilizó una metodología optimizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP) , para infectar a los cultivos. Se inocularon 9 plantas por tratamiento con un aerógrafo, se utilizó 2 ml de la cepa *Phytophthora infestans* y se ajustó la concentración a 15000 esporangios por ml (Ver más detalle en ANEXO 2). Se dejó a los tratamientos por 2 semanas, con una humedad relativa alta y luego se evaluó la severidad de infección (de forma porcentual) utilizando una escala visual, también estandarizada por INIAP.

2.7 Análisis de datos

Para todos los parámetros mencionados previamente se realizó gráficas en Excel 2016 y Minitab 19, programa que también sirvió para el análisis estadístico, utilizando un análisis de varianza ANOVA y un análisis post-hoc de tukey ($P < 0,05$).

3. RESULTADOS

3.1 Estandarización de metodología de respiración basal

Para obtener las condiciones óptimas para la medida de respiración basal, se estudió el efecto del tiempo de incubación y la adición de perlita para mejorar la aeración del suelo. Los valores de respiración basal se estabilizan a partir de las 96 horas de incubación (Figura 1a). los tratamientos que tenían 50% y 25% de perlita tuvieron una media más alta de respiración basal en comparación al tratamiento que no tenía perlita. Es importante mencionar que no existió diferencia significativa en la tasa de respiración basal entre los tratamientos con perlita (Figura 1b). Por tanto, se determinó el tiempo ideal de incubación para la metodología de respiración basal utilizada y se concluyó que la perlita otorga mayor aeración al suelo, lo que aumenta la tasa de respiración basal del mismo.

3.2 Tasa de respiración basal en suelos de la sierra ecuatoriana

Para determinar si el método utilizado es replicable a cualquier tipo de suelo, se probó la misma metodología estandarizada en suelos de 14 localidades de la sierra ecuatoriana. La tasa de respiración basal es significativamente diferente entre la localidad Shical, perteneciente a la provincia de Cañar y la localidad Podocarpus, perteneciente a Loja, con respecto a las demás localidades. No se observa diferencia significativa entre suelos agrícolas y nativos de cada localidad y tampoco existe un gradiente en la tasa de respiración, al observar los suelos de norte a sur (Figura 2). Estos resultados, permiten comprobar que la metodología de respiración basal es replicable a cualquier tipo de suelo.

3.3 Media de pH y conductividad de suelos con enmiendas agrícolas

Para probar si los parámetros fisicoquímicos en los suelos tratados con enmiendas agrícolas se encuentran dentro de un rango ideal se midió valores de pH y conductividad eléctrica. Todos

los tratamientos, con excepción del Biochar, hicieron más alcalino al suelo. Sin embargo, el AH aumentó considerablemente la alcalinidad del suelo, al obtener una media de 7.87, por lo que fue la única enmienda en sobrepasar los valores óptimos de pH para cultivos de papa (Figura 3a). Todas las enmiendas agrícolas aumentaron la conductividad, a excepción del consorcio de microorganismos. Sin embargo, las enmiendas que más se destacan son el AH y Suero, que aumentaron el valor de conductividad eléctrica 5 veces con respecto al control (Figura 3b). Estos resultados sugieren que todas las enmiendas, a excepción del AH, tienen un efecto positivo en los parámetros fisicoquímicos del suelo.

3.4 Parámetros de salud biológica en tratamientos con enmiendas agrícolas

Para determinar el efecto de las enmiendas agrícolas en la salud biológica del suelo, se midió cantidad de carbón activo y respiración basal en cada tratamiento. Todos los tratamientos, a excepción de la melaza, presentan un aumento de carbón activo en relación con el control. Además, se destaca el tratamiento con humus de lombriz, ya que triplicó este valor con respecto al control (Figura 4a). Todas las enmiendas, a excepción de la melaza, presentan diferencia significativa en la tasa de respiración basal con el control. Sin embargo, se destaca el tratamiento con suero de leche, ya que duplicó el valor de respiración basal en comparación al control (Figura 4b). Con estos resultados se comprueba que todas las enmiendas agrícolas tienen un efecto positivo en los parámetros de sanidad biológica. No obstante, el Suero y Humus presentan un aumento notorio en la sanidad.

3.5 Crecimiento de plantas de papa cultivadas en suelos con enmiendas agrícolas

Para evaluar el efecto de las enmiendas agrícolas sobre el crecimiento de cultivos de papa, se midió altura, calibre y peso fresco de las plantas de cada tratamiento. solo los tratamientos con suero de leche y humus de lombriz presentaron un aumento significativo en los tres parámetros evaluados de la tasa de crecimiento del cultivo (Figura 5). Estos resultados sugieren que las

enmiendas que fueron un aporte de carbono y nitrógeno influyen de manera positiva en el crecimiento de los cultivos de papa.

3.6 Severidad de infección causada por *Phytophthora infestans* en cultivos de papa

Para evaluar si las enmiendas agrícolas utilizadas inducen resistencia en los cultivos de papa al patógeno, se midió la severidad de infección en las plantas de todos los tratamientos. Se destaca que solo el Suero presenta diferencia significativa en relación al control, y presenta la tasa de severidad más baja, (Figura 6). Por lo tanto el Suero fue la única enmienda en inducir resistencia a *P. infestans* en los cultivos de papa

4. DISCUSIÓN

4.1 Estandarización de metodología de respiración basal

El tiempo de incubación óptimo fue de 96 horas, ya que a partir de este tiempo los resultados fueron estables, antes de las 96 horas presentaron valores mayores a los reportados como normales en la literatura (0 a 2 mgCO₂/h*g) (Moebius, et al, 2017) debido a que el CO₂ liberado en las primeras horas de incubación pertenecen a otros factores y no al producido por acción de la microbiota del suelo (Ver más detalle en ANEXO 3). Por otro lado, en la figura 1b se determinó que los tratamientos con perlita tuvieron una mayor tasa de respiración basal que el tratamiento sin perlita. Este vidrio volcánico que aporta mayor estructura al suelo, podría brindar también mayor aireación en la tierra, lo que ayuda a que el agua y los nutrientes se distribuyan de manera más equilibrada, activando a mayor cantidad de microorganismos (Gómez, et al, 2019). Con respecto a la aplicación del método en los suelos de la sierra ecuatoriana, solamente las localidades Shical y Podocarpus muestran una tasa de respiración basal menor al resto de localidades evaluadas, estos suelos no presentaban un color tan negro como las otras localidades, por tanto, la microbiota de estos suelos carecía de una fuente rica en energía, lo que es crucial para que la comunidad microbiana se active. Según Mosquera y Peñuela (2009), suelos nativos presentan una mayor actividad de la comunidad microbioma, ya que en estos terrenos no se ha utilizado maquinaria agrícola que perjudique la supervivencia de microorganismos. Mientras que, en suelos agrícolas, donde el ser humano ya ha intervenido, se puede encontrar un suelo con menor sanidad biológica. No obstante, en los resultados obtenidos se determina que no existió diferencia en la actividad de la microbiota de estos dos tipos de suelos (Figura 2) por lo que se debería hacer una investigación más exhaustiva al respecto.

Es importante mencionar que los cultivos de papa se desarrollan de forma ideal en un rango de

pH entre 4,5 y 7,5 pero adquieren el mejor rendimiento en un rango de pH entre 6,5 y 7 y a una conductividad menor a 4 mS/cm. Por tanto, todos los tratamientos presentaron valores dentro del rango ideal (Jaurixje, et al, 2012), a excepción de AH, esta enmienda sobrepasó los valores óptimos de alcalinidad en el suelo (Figura 3) a pesar que el ácido húmico se utiliza en la agricultura para neutralizar a suelos ácidos y alcalinos. Quintero y colaboradores, utilizaron ácido húmico (70% de ácido fúlvico), con una dosis del 3% del peso de suelo con lo que determinaron que esta enmienda estabilizó el pH del suelo en 6,4 (2012). Al comparar estos resultados con los obtenidos en este proyecto, se atribuye que se utilizó una sobredosis de esta enmienda, ya que se colocó 5% de peso de suelo. Al colocar esta dosis elevada, se generaron problemas de drenaje en el suelo, lo que explicaría también el aumento en la conductividad eléctrica, pues se ha reportado que la conductividad en un suelo aumenta de forma directamente proporcional a la cantidad de humedad (Dimas, 2009). Mientras que la única enmienda que presenta las condiciones óptimas para los cultivos, son los tratamientos con Suero ya que tienen una media de pH de 6,6, que está dentro del rango óptimo para el crecimiento de papa, según lo mencionado.

4.2 Parámetros de sanidad biológica

De acorde a lo esperado, los tratamientos que aumentaron la cantidad de carbón activo también aumentaron la tasa de respiración. Como es el caso del Humus, que, al componerse netamente de materia orgánica, generó gran cantidad de carbono disponible para el consumo de los microorganismos y por ende aumentó la actividad de los mismos. Mientras el Suero aumentó significativamente la tasa de respiración basal, a pesar de no generar un valor tan alto de carbón activo. Lo que sugiere que el nitrógeno que brindo esta enmienda al suelo, fue un mejor nutriente que los hidratos de carbono, para que la comunidad microbiana tenga una mayor actividad (Siegenthaler, et al, 2021). Con respecto a la enmienda Melaza, esta no aumentó en

ninguno de los parámetros la salud biológica, a pesar que el principal componente de esta enmienda es fructosa y sacarosa. Posiblemente, la estructura de sus polímeros era muy grandes y no podían ser fácilmente oxidables, generando que el carbono se quede atrapado en las partículas del suelo, por lo que no estaba disponible la energía para el uso de los microorganismos y por ende generando una tasa baja de respiración basal (Baryga, et al, 2021).

4.3 Efecto de enmiendas agrícolas en la tasa de crecimiento de los cultivos

Las enmiendas que fueron un aporte de carbono y nitrógeno, entre otros nutrientes, (Suero y Humus) tuvieron el mejor efecto en la tasa de crecimiento de los cultivos de papa (figura 5, tabla 2). Como se mencionó el nitrógeno es un nutriente crucial para los microorganismos que habitan en el suelo e intervienen en el ciclo del nitrógeno, así como también es muy importante para el desarrollo de las plantas, ya que este compuesto interviene en procesos como la división celular, producción de clorofila y es una fuente de aminoácidos que estimulan el desarrollo de los cultivos. Cabe recalcar, que el suero de leche utilizado genera aporte de macronutrientes como potasio, calcio, fósforo para los cultivos y favorece la reposición en el suelo de nitrógeno, azufre y magnesio. Por tanto, el suelo que fue tratado con Suero, tuvo mayor disponibilidad de nutrientes, los cuales fueron aprovechados por la comunidad microbiana, lo que se refleja en el aumento de la sanidad biológica (figura 4, tabla 2). Resultados similares son reportados por Sharrat y colaboradores, que mencionan que el suero de leche tiene un efecto positivo en parámetros fisicoquímicos, en especial le brinda mayor estructura y aporta gran cantidad de macronutrientes al suelo (1959). Según Quirine y colaboradores de la Universidad de Cornell, mencionan que el suero de leche ácido tiene una infiltración en el suelo más rápida que el abono orgánico a base de estiércol por lo que brinda más rápido la disponibilidad de nutrientes a los microorganismos y cultivos. Con respecto al pH se ha reportado que inmediatamente después de la aplicación, desciende este valor en la tierra, y luego aumenta progresivamente, hasta que

logra estabilizarse. Por tanto, se recomienda retrasar la siembra de cultivos sensibles al pH durante al menos dos semanas después de la aplicación de esta enmienda para eliminar efectos de salinidad y acidez sobre la germinación de cultivos (2017). En el presente proyecto, se dejó acondicionar todas las enmiendas por 15 días antes de cultivar los tubérculos, por esta razón no se encontró problemas en el pH en los tratamientos con Suero.

Los tratamientos con AH fueron los únicos donde no germinaron plantas. Esto se podría atribuir a la sobredosis utilizada que hizo muy alcalino al suelo (Rivera & Domínguez, 2018).

4.4 Efecto de enmiendas agrícolas en la resistencia a *Phytophthora infestans*

Los resultados de severidad de la infección en los tratamientos (figura 6) muestran que solo el suero de leche induce resistencia a *P. infestans* en cultivos de papa. Se ha reportado en un estudio de cultivos de tomate que el suero fue efectivo en la funcionalidad del suelo, debido al incremento de las actividades enzimáticas deshidrogenasa, fosfatasa alcalina y ureasa. Estas actividades enzimáticas están correlacionadas con el aumento de la biomasa microbiana. El incremento de esta actividad se podría atribuir al aporte de carbono y nitrógeno que brinda esta enmienda. Además, en este mismo estudio, se determinó que el suero tiene un efecto fungicida y nematocida, por lo que controla selectivamente nemátodos del nudo de raíces de los cultivos y de esta forma se ha visto un aumento en la abundancia de varios grupos microbianos (Gram +, Gram -, hongos y actinomicetos), por lo que se sugiere que el aumento de estos microorganismos ayudó a controlar en un 70% al nemátodo agallador *Meloidogyne javanica* en cultivos de tomate (Ntalli, et al, 2019). Por tanto, al comparar los resultados de esta investigación con los obtenidos en este proyecto, se podría concluir que el Suero, al aportar nutrientes esenciales (carbono y nitrógeno), aumenta la actividad enzimática y en consecuencia la actividad de microorganismos benéficos, como hongos micorrízicos, que al asociarse con las raíces de los cultivos podrían inducir resistencia al patógeno (Gallou, et al, 2011).

5. CONCLUSIONES

Se ha logrado estandarizar un método para medir respiración basal por medio de titulación y se comprobó que el método es replicable porque puede ser utilizado en una variedad de suelos de toda la sierra ecuatoriana.

La mayoría de las enmiendas agrícolas utilizadas tuvieron un efecto positivo en los parámetros fisicoquímicos y de sanidad biológica en el suelo, sin embargo, los tratamientos con Suero y Humus aumentaron todos los parámetros evaluados, ya que aumentaron en más de un 100% la cantidad de carbón activo y la tasa de respiración basal. Mientras que el suero de leche aumentó en un 27.3% el valor de pH y en un 788% la conductividad eléctrica, lo que a su vez influyó positivamente en el crecimiento de los cultivos, ya que los tratamientos con suero aumentaron en 124% la altura y en un 673% el peso fresco de las plantas. Por tanto, el nitrógeno que brindan estas enmiendas al suelo podría ser un nutriente crucial, debido a todos los procesos biológicos en los que está involucrado, mejorando los parámetros de sanidad del suelo y por ende influyendo positivamente en el crecimiento de los cultivos.

El suero de leche fue la única enmienda en inducir resistencia en los cultivos de papa al patógeno *Phytophthora infestans*, ya que redujo la severidad de la infección en un 80.91% con respecto al control. Por lo que se recomienda realizar un análisis más exhaustivo sobre los mecanismos que podrían estar involucrados para que esta enmienda pueda inducir dicha resistencia. Por ejemplo, se podría realizar un análisis del microbioma de estos suelos para tener un mejor entendimiento de las interacciones de microorganismos que pueden ser responsables de la resistencia, al patógeno, inducida.

Por último, es importante destacar que las enmiendas agrícolas son un aporte valioso para la agricultura actual y podrían ser un recurso ecológico y rentable con el que se promueva la productividad de suelos y cultivos.

6.TABLAS

Tabla 1. Información general de enmiendas agrícolas con su dosis y codificación utilizadas.

Ingrediente Activo	¿Qué es?	Dosis utilizada por maceta	Método de aplicación	Codificación
Ácido Húmico	Extracto de la degradación de materia orgánica. Contiene 80% de ácido fúlvico	50 g	Directa en suelo	AH
Melaza	Residuos de la cristalización final del azúcar, obtenida de caña. (53% fructosa, 41,9 % sacarosa, 5,10% glucosa)	285 ml	Dilución en agua	Melaza
Biochar	Carbón vegetal obtenido de cascarilla de arroz	50 g	Directa en suelo	Biochar
Suero de leche	Proteína de los lácteos obtenida durante la coagulación de la leche	285 ml	Dilución en agua	Suero
Humus de lombriz	Vermicompost, obtenido de la degradación de materia orgánica por acción de lombrices	50 g	Directa en suelo	Humus
Consortio de microorganismos benéficos	Conjunto de microorganismos de: <i>Trichoderma</i> , <i>Paecilomyces</i> y <i>Bacillus</i>	285 ml	Dilución en agua	Consortio

Tabla 2. Diferencia relativa de todas las enmiendas agrícolas y cultivos de papa en relación al control, en parámetros fisicoquímicos, sanidad, crecimiento y resistencia.

Parámetros Tratamientos	Fisicoquímicos		Sanidad		Crecimiento			Resistencia
	pH	Conductividad	Carbón activo	Respiración	Altura de planta	Calibre de planta	Peso Fresco Planta	Severidad
Ácido húmico	51,34% ^a	800% ^a	91,93% ^a	91,82% ^a	-100% ^b	-100% ^b	-100% ^b	NA
Melaza	18,65% ^a	348,14% ^a	-23,50% ^c	18,77% ^c	-58,68% ^b	-13,89% ^b	-18,90% ^c	8,60% ^c
Biochar	-2,69% ^b	51,85% ^a	76,84% ^a	45,59% ^a	0,26% ^c	70,87% ^c	5,93% ^c	21,72% ^c
Suero	27,30% ^a	788,88% ^a	47,19% ^a	134,45% ^a	124,57% ^a	200,05% ^a	673,84% ^a	-80,98% ^b
Humus	1,73% ^a	103,70% ^a	291,22% ^a	91,82% ^a	62,64% ^a	156,02% ^a	231,86% ^a	6,96% ^c
Consortio	9,99% ^a	-37,03% ^b	85,60% ^a	69,92% ^a	12,59% ^c	55,74% ^c	-10,32% ^c	21,72% ^c

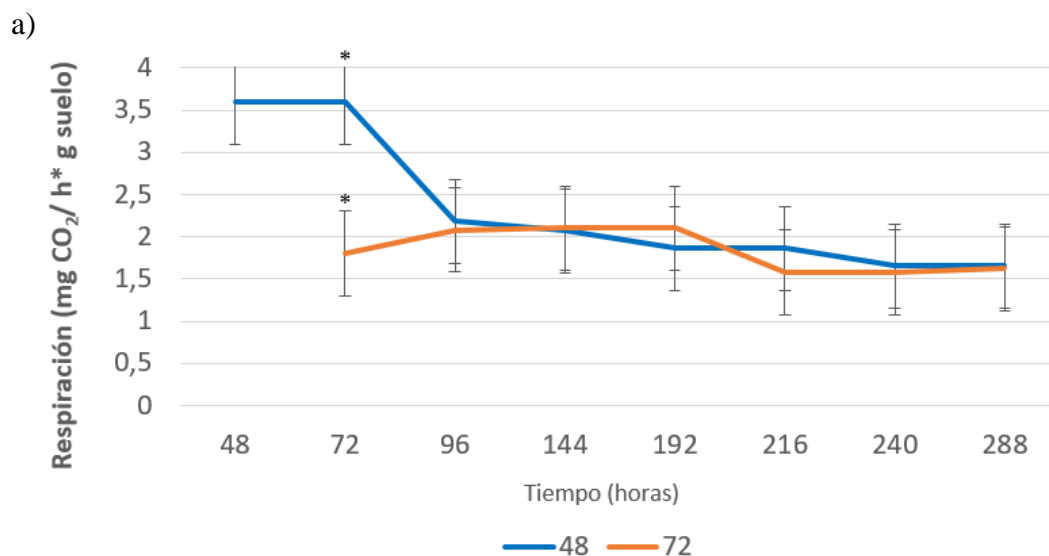
^a Aumento significativo en comparación con el control.

^b Disminución significativa en comparación con el control

^c No hay diferencia significativa en comparación con el control.

^{Na} No aplica.

7. FIGURAS



b)

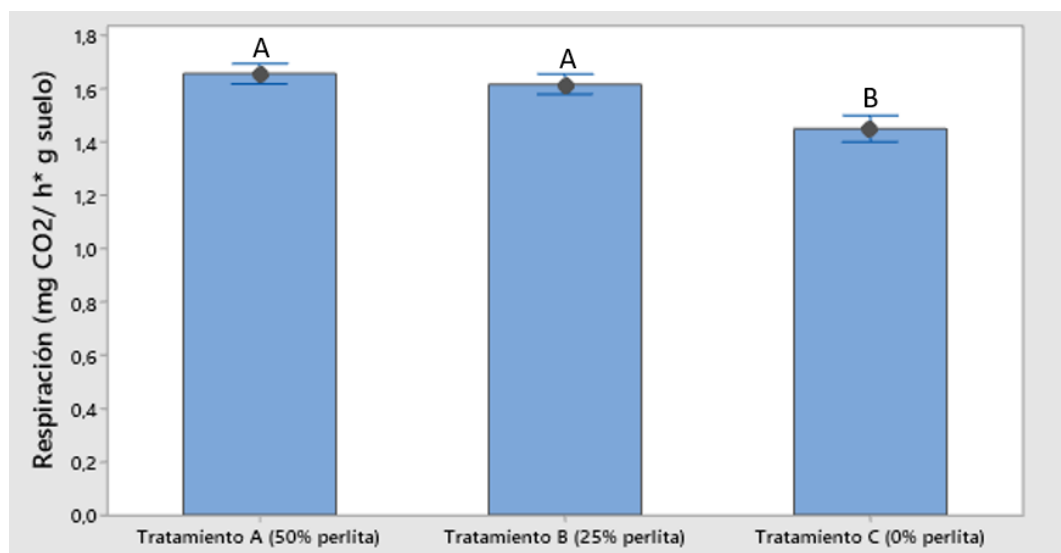


Figura 1. Estandarización de la metodología de respiración basal.

(a) Medias de respiración basal en relación al tiempo de incubación. (b) Medias de respiración basal de tratamientos con suelo y (50%, 25% y 0%) de perlita. Las barras de error muestran la desviación estándar ($n = 3$ réplicas de cada muestra). El asterisco y las diferentes letras indican diferencia significativa estadística determinada por ANOVA y prueba t de dos muestras ($p < 0,05$) y prueba de Tukey ($P < 0,05$).

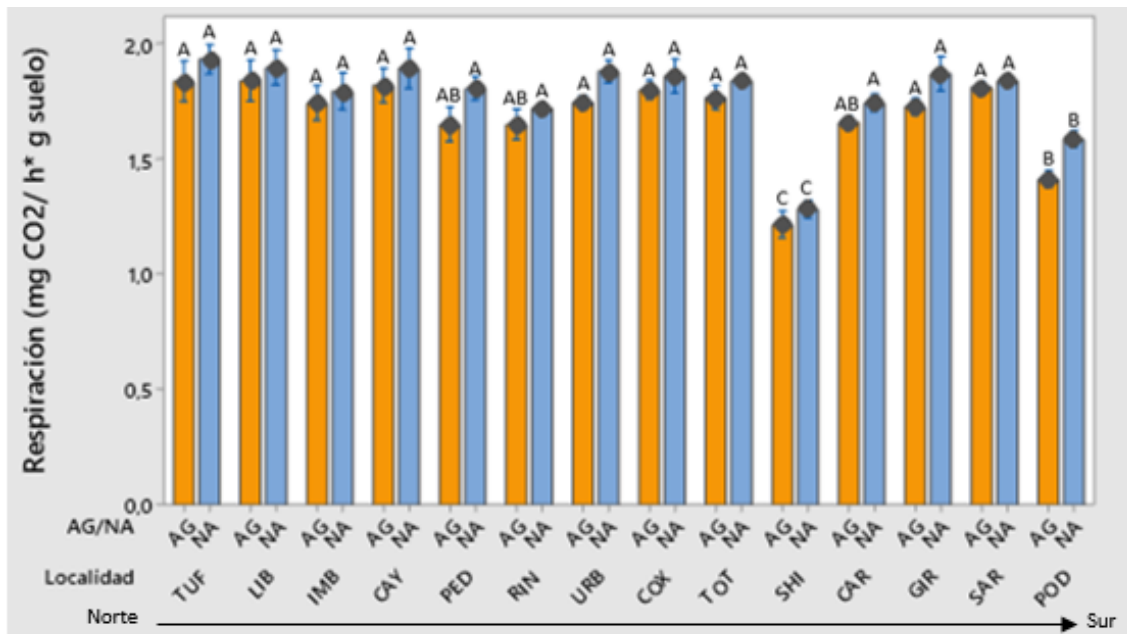
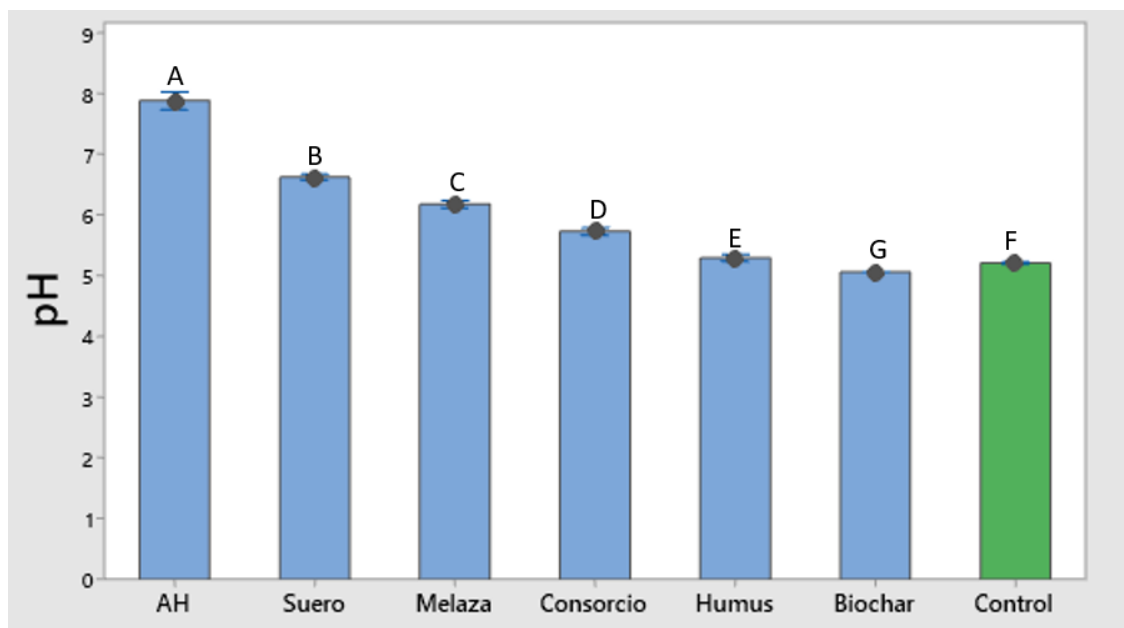


Figura 2. Tasa de respiración basal de suelos de la sierra ecuatoriana.

Medias de respiración basal en suelos agrícolas (AG) y nativos (NA) de 14 localidades de la sierra ecuatoriana. Las muestras están ordenadas de norte a sur, siguiendo la geografía ecuatoriana. Las barras de error muestran la desviación estándar ($n = 3$ réplicas de cada muestra). Las diferentes letras indican diferencia significativa estadística determinada por ANOVA y una prueba de Tukey ($P < 0,05$).

a)



b)

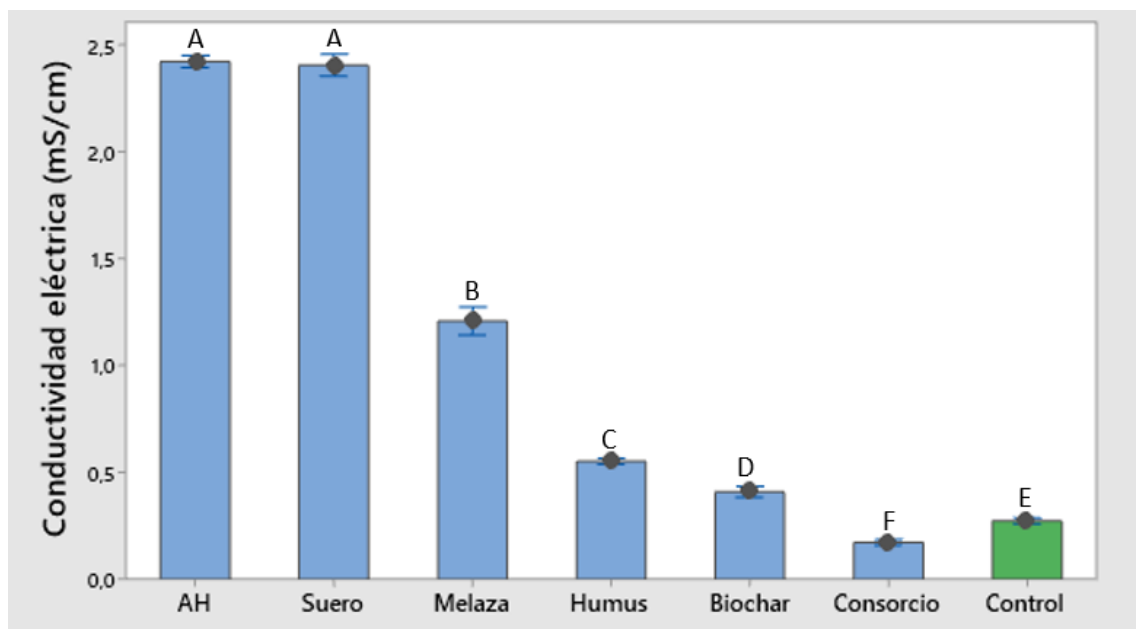
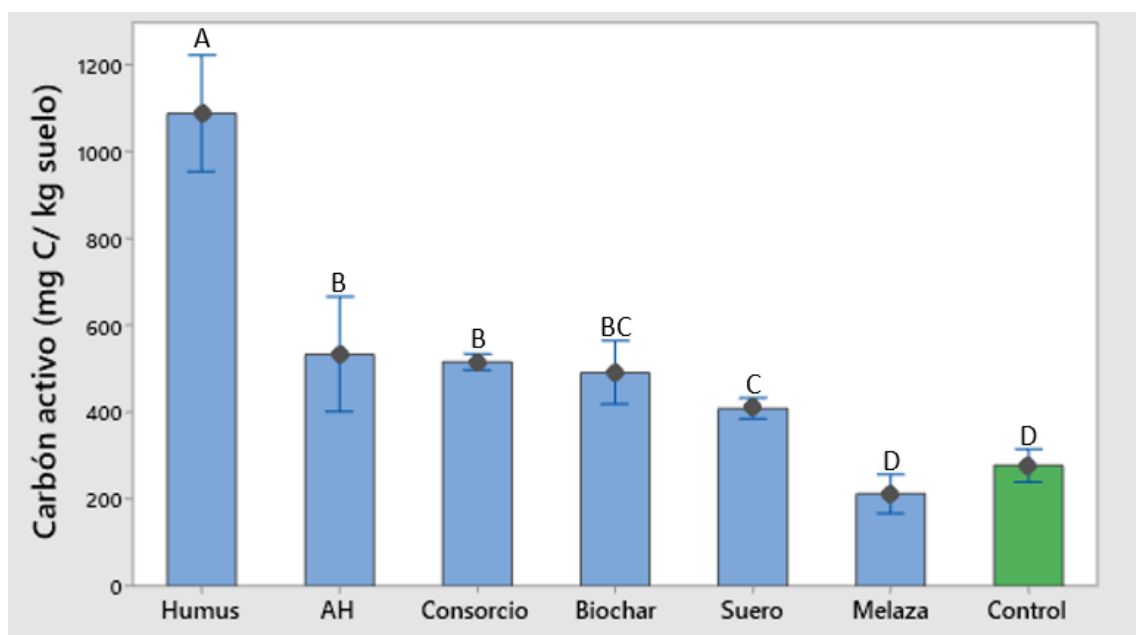


Figura 3. Valores de pH y conductividad de suelos con enmiendas agrícolas.

(a) Medias de pH y (b) medias de conductividad eléctrica de suelos con enmiendas agrícolas.

Las barras de error muestran la desviación estándar (n = 3 réplicas de cada tratamiento). Las diferentes letras indican diferencia significativa estadística determinada por ANOVA y una prueba de Tukey ($P < 0,05$).

a)



b)

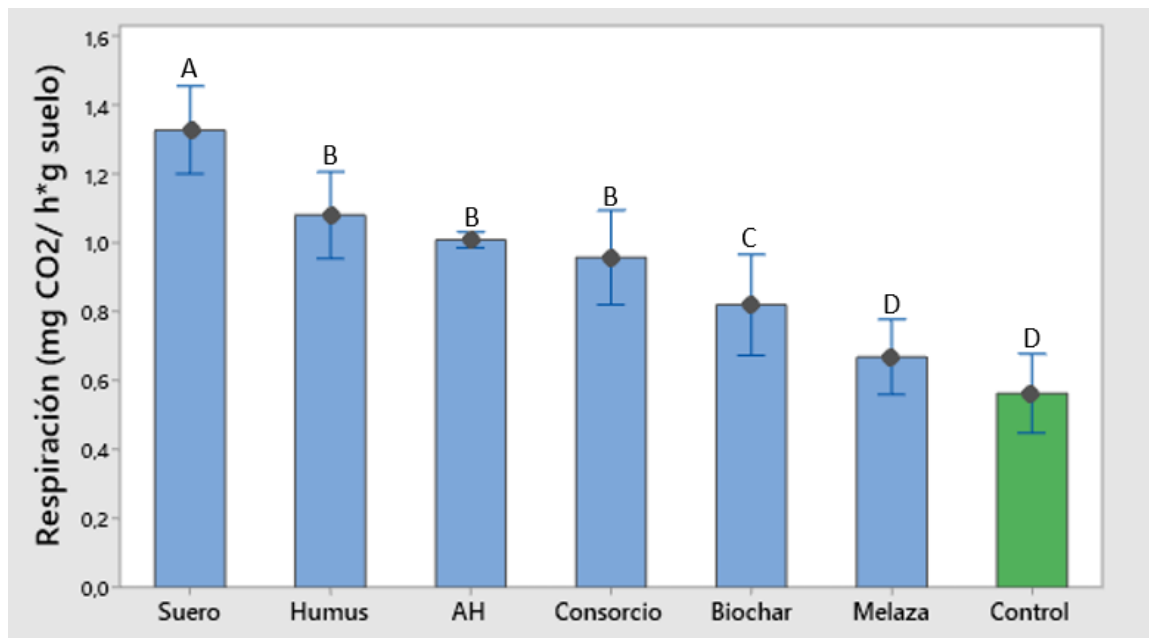
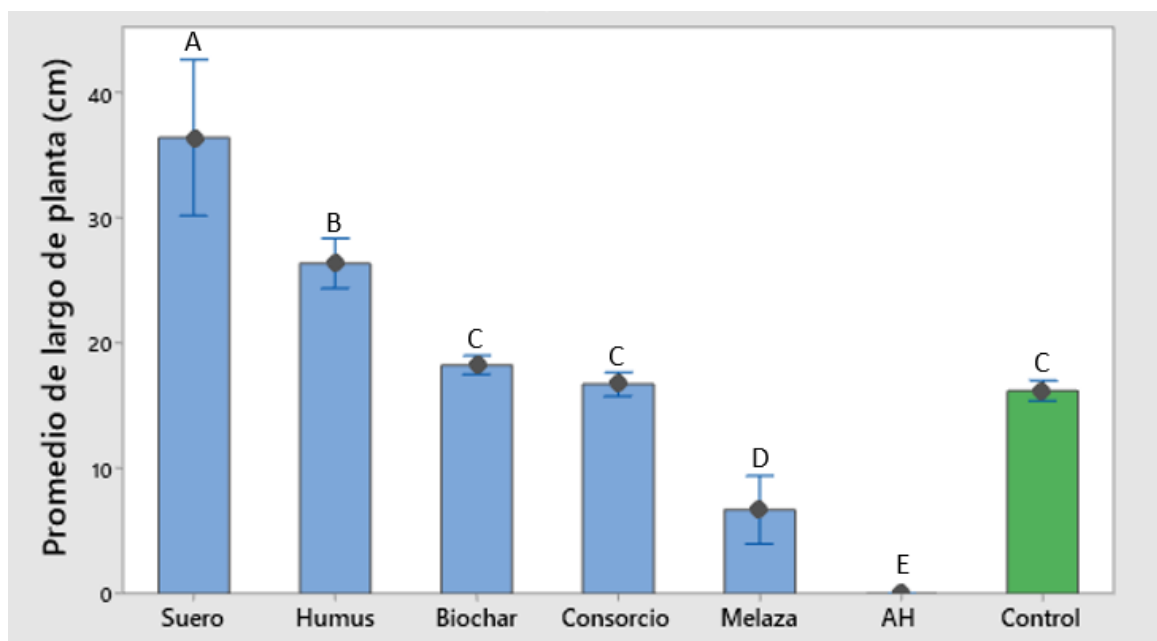


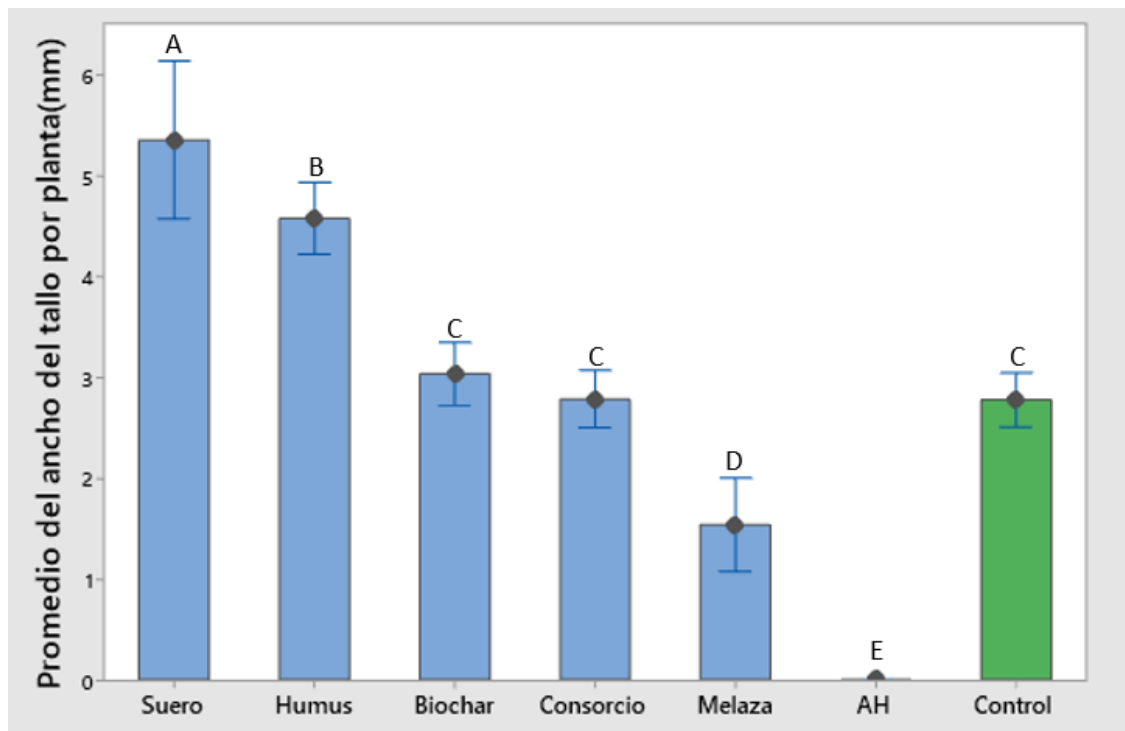
Figura 4. Parámetros de salud biológica en tratamientos con enmiendas agrícolas.

(a) Medias de carbón activo. (b) Medias de respiración basal de suelos con enmiendas agrícolas. Las barras de error muestran la desviación estándar (n = 3 réplicas de cada tratamiento). Las diferentes letras indican diferencia significativa estadística determinada por ANOVA y una prueba de Tukey ($P < 0,05$).

a)



b)



c)

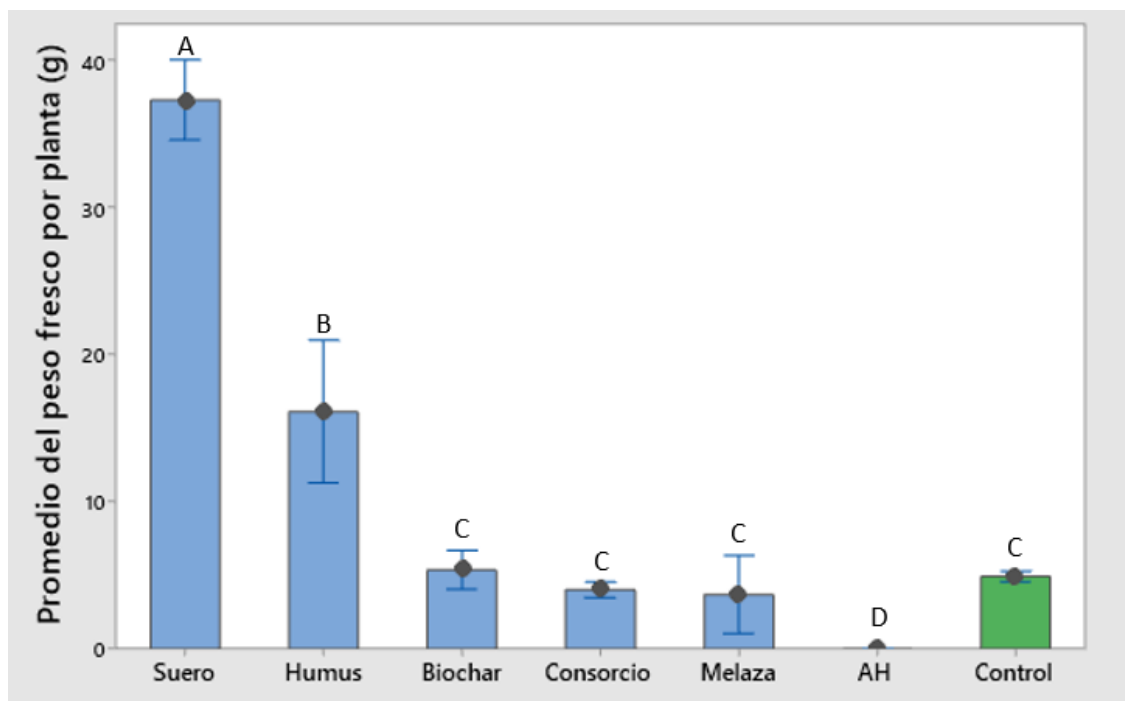


Figura 5. Media de crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum*) cultivadas en suelos con enmiendas agrícolas.

(a) Media de altura. (b) Media de calibre. (c) Media de peso fresco de cultivos de papa sembradas en suelos con enmiendas agrícolas. Las barras de error muestran la desviación estándar (n = 18 réplicas de cada tratamiento). Las diferentes letras indican diferencia significativa estadística determinada por ANOVA y una prueba de Tukey (P <0,05).

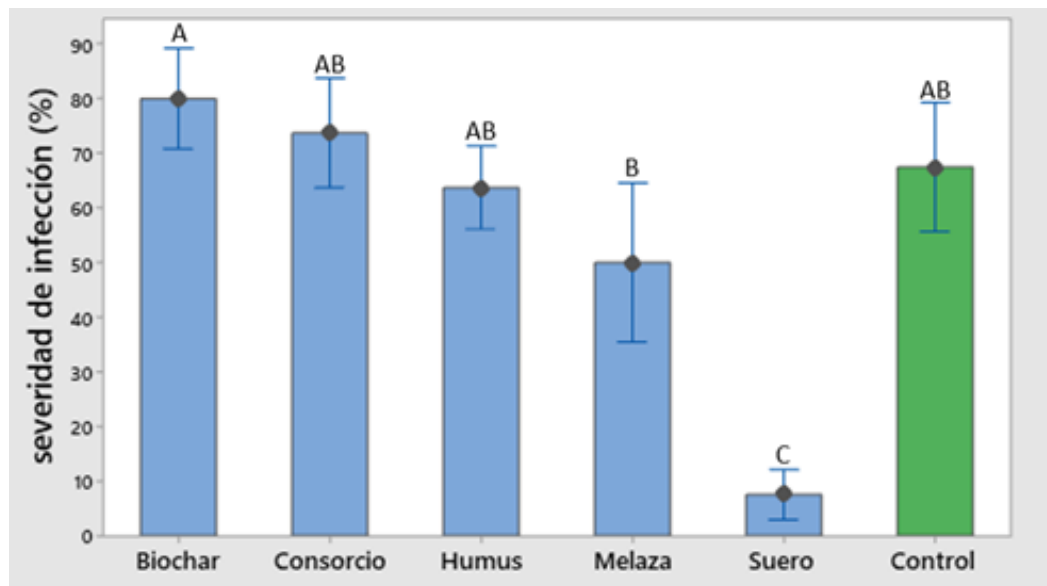


Figura 6. Severidad de infección causada por *Phytophthora infestans* en cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) sembradas en tratamientos con enmiendas agrícolas.

Media de severidad de la enfermedad del tizón tardío provocada por *Phytophthora infestans*, en cultivos de papa sembradas en suelos con enmiendas agrícolas. Las barras de error muestran la desviación estándar (n = 9 réplicas de cada tratamiento). Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA y una prueba de Tukey (P <0,05).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. (2006). Optimizando el manejo agroecológico de plagas a través de la salud del suelo. *Agroecología*, 1, 29-36.
- Baryga, A., Połec, B., & Klasa, A. (2021). The Effects of Soil Application of Digestate Enriched with P, K, Mg and B on Yield and Processing Value of Sugar Beets. *Fermentation*, 7(4), 241.
- Cabrera-Dávila, G, Socarrás-Rivero, A. A., Hernández-Vigoa, G., Ponce de León-Lima, D., Menéndez-Rivero, Y. I., & Sánchez-Rendón, J. A. (2017). Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 118-126.
- Chañag, H. A., Álvarez, S. L., Lagos, L. E., & Burbano-David, D. M. (2018). Sensibilidad de aislamientos de *Phytophthora infestans* procedentes de *Solanum tuberosum* a tres fungicidas sistémicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(3), 592-601.
- Gallou, A., Mosquera, H. P. L., Cranenbrouck, S., Suárez, J. P., & Declerck, S. (2011). Mycorrhiza induced resistance in potato plantlets challenged by *Phytophthora infestans*. *Physiological and molecular plant pathology*, 76(1), 20-26.
- Gómez-Jorin, L. A., Morales-Valdes, A., Dueñas-Vega, G., Dantin-Martínez, J. M., Chávez-Gonzalez, N., & Torres-Leblanch, M. (2012). Contenido de carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana en suelos de La Habana. *Agronomía mesoamericana*, 23(1), 179-187.

- Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., López-Díaz, J. C., & Arras-Vota, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(1), 1-6.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47-56.
- Ketterings, Q., Czymmek, K., Gami, S., Godwin, G., & Ganoë, K. (2017). Guidelines for land application of acid whey. *Department of Animal Science Publication Series*, (247).
- Medina, A., Koch, A., & Romero, P. (2014). Selección de actinomicetos aislados de suelos papeiros de la provincia de Loja, antagónicos a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary y *Rhizoctonia solani* Kühn, mediante ensayos in vitro y pruebas de invernadero en *Solanum tuberosum* L. *Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Sangolqui, Ecuador. Ingeniería en Biotecnología*, 1-8.
- Mosquera, R., & Peñuela, G. A. (2009). Biodegradación del malatión utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22(2), 189-198.
- Moebius-Clune, B. N., Moebius-Clune, D. J., Gugino, B. K., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Ristow, A. J., ... & Abawi, G. S. (2017). Comprehensive assessment of soil health. *The Cornell Framework Manual*, 3.

- Ntalli, N., Tsiafouli, M. A., Tzani, K., Mavridi, O., Oplos, C., Menkissoglu-Spiroudi, U., & Monokrousos, N. (2019). Whey: The soil bio-community enhancer that selectively controls root-knot nematodes. *Plants*, 8(11), 445.
- Pinochet, D., Ramírez, F., & Suárez, D. (2018). Evaluación de la calidad agrícola de cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas. *Agro Sur*, 33(1), 29-35.
- Plaza, Y. Paolini, J. & Cantero, M. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), 1-8.
- Quintero González, D., Huelva López, R., Hernández, O. L., Guridi Izquierdo, F., & LouroBarbara, R. (2012). El sistema de usos de los suelos Ferralíticos modifica la estructura y las propiedades de sus ácidos húmicos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 55-66.
- Reategui, K., Aguirre, N., Oliva, R., & Aguirre, E. (2019). Fenología y rendimiento de cuatro variedades de papa en el Altiplano peruano. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 265-274.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de iniciación científica*, 4, 101-105.
- Sharratt, W. J., Peterson, A. E., & Calbert, H. E. (1959). Whey as a source of plant nutrients and its effect on the soil. *Journal of Dairy Science*, 42(7), 1126-1131.
- Siegenthaler, M. B., Ramoneda, J., Frossard, E., & Mészáros, E. (2021). Microbial community responses to phosphorus and nitrogen inputs in the organic soil horizons of two contrasting temperate beech forests. *Applied Soil Ecology*, 172, 104357.

ANEXO 1: ENSAMBLE DE LA INCUBADORA DE RESPIRACIÓN BASAL

Se armó una incubadora de vidrio donde se colocó un papel filtro humedecido con 15 ml de agua destilada, encima se puso un plato de aluminio con 9 perforaciones en la base, el cual sirvió como soporte para todos los suelos (de los cuales se quería medir respiración basal). Posteriormente, se agregó un soporte de plástico que sostenía a un vaso de precipitación que contenía 5 ml de hidróxido de sodio 1M. Se cerró la incubadora y se dejó incubar por un tiempo. Pasadas las horas de incubación, se abrió la incubadora y se añadió cloruro de bario 0.05 M al hidróxido de sodio, para precipitar la solución a carbonato de bario, seguidamente se agregó 4 gotas de fenolftaleína y se tituló en la bureta con ácido clorhídrico 0.05 M hasta el punto final del indicador. La cantidad de ácido clorhídrico utilizado en la titulación se transformó a unidades de mg de dióxido de carbono sobre hora por gramo de suelo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{BAS} = \frac{M_c \times (V_b - V_s) \times 0.05}{S_{dw} \times t \times 5} \times 10^3$$

donde MC es el peso molar del carbono ($M_w = 12.01$). V_b y V_s el volumen, en ml, de HCl 0,05 M consumido en la titulación de los blancos (media de tres réplicas) y la muestra, respectivamente; S_{dw} corresponde a los gramos de peso seco del suelo y t es el tiempo de incubación en horas. Dado que se consumen 5 OH^- por CO_2 precipitado, se debe incluir un factor de 5 en la fórmula (Moebius, et al, 2017).

ANEXO 2: METODOLOGÍA DE INFECCIÓN CON *PHYTOPHTHORA INFESTANS*

En la estación Santa catalina del INIAP tienen una población de *Phytophthora infestans* conocida, lo que se hizo es tomar una muestra en campo, se llevó al laboratorio y apartir de allí se obtuvo el aislamiento en un medio de cultivo que se llama agar centeno, que es específico para este patogeno, además se colocaron antibióticos en el medio para que solo se aisele al patógeno de interés, luego se lo reactivó en tejido vegetal, usando rodajas de tuberculos de la variedad super chola, estas son lavaron con hipoclorito de sodio al 1% para no tener contaminacion. Esto se dejó en camaras humedas bien selladas a temperatura ambiente y después de una semana, aproximadamente, cuando el micelio ya creció, se lavó las rodajas, se filtró el micelio y se hizo un conteo de esporangios para ajustar la concentración en un microscopio utilizando una cámara de Neubauer .

ANEXO 3: DISCUSIÓN COMPLETA DEL TIEMPO DE INCUBACIÓN

El dióxido de carbono que se mide en las primeras horas de incubación no solo corresponde al dióxido de carbono liberado por acción de los microorganismos, sino que este gas puede provenir de fuentes externas como el aire del lugar donde se deja la incubadora, o este gas puede quedarse en la superficie del suelo. Por tanto, es necesario dejar incubar por más tiempo al suelo para que cese el CO₂ que no proviene de la acción de la microbiota del suelo (Plaza, et al, 2019). Las horas que se estipularon en este proyecto como las óptimas para el tiempo de incubación de la metodología, coinciden con lo reportado en la literatura. Se menciona que 4 días es el tiempo adecuado para medir la tasa de respiración basal de un suelo respectivo (Moebius, et al, 2017).