

TERRA SABIA: Caso de bioinnovación en la medición del estado de la red ecosistémica del suelo como servicio para la producción agrícola.

Nicolas Montoya

Asesora: Laura Sierra Zapata, Ph.D

2020

Índice general

1. Introducción	1
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. Alcance del proyecto	5
4. Marco referencial	6
4.1. Biología del suelo y producción agrícola	7
4.2. Microscopía al servicio de la agricultura	8
5. Metodología	11
5.1. Metodología para el objetivo 1	11
5.1.1. Sitio de estudio	11
5.1.2. Toma de muestras de suelo de soporte	12
5.1.3. Toma de muestras de suelo rizosférico	12
5.1.4. Microscopia óptica	12
5.2. Metodología para el objetivo 2	12
5.2.1. Cálculos de índices de red ecosistémica del suelo	12
5.2.2. Tabla de correlación de datos y análisis estadístico	13

5.3. Metodología para el objetivo 3	13
6. Resultados	14
6.1. Las variables de rendimiento de cultivo en las plantas de <i>Lactuca sativa var. crispata</i> no presentan diferencias significativas entre las diferentes prácticas de cultivo en el momento de cosecha.	14
6.2. Estado de la red ecosistémica del suelo y producción agrícola	16
6.3. Brochure de Terra Sabia	18
7. Conclusiones	20
8. Anexos	21

Índice de figuras

1.	Relación entre las amenazas de las propiedades del suelo y la función que cumple el suelo para la producción de plantas.	6
2.	Interacciones de la rizosfera.	7
3.	Distribución y uso principal del área continental de Colombia.	9
4.	Porcentaje de productores que reciben asistencia técnica agropecuaria en cultivos referencia.	10
5.	Diámetro y número de hojas promedio por planta en dos momentos diferentes de producción agrícola. (a) Semana 3 y (b) Semana 5.	15
6.	Peso promedio por planta en el momento de cosecha (semana 5 y media).	16
7.	Comparación de resultados de los índices de la red ecosistémica de suelos con los variables de producción agrícola.	17
8.	Morfologías observadas promedio de los diferentes grupos tróficos del suelo en el momento de cosecha.	21
9.	Ocurrencia promedio de los diferentes grupos tróficos del suelo en el momento de cosecha (sin incluir el grupo trófico bacterias).	22
10.	Ocurrencia promedio de bacterias del suelo en el momento de cosecha.	22

Índice de tablas

1. Comparación de resultados de los índices de la red ecosistémica de suelos con los valores ideales y mínimos para el cultivo de *Lactuca sativa var. crispata*. 17

Capítulo 1

Introducción

Dentro de los recursos más importantes del planeta está el suelo (FAO e ITPS 2015). Este, es un elemento indispensable para producir alimentos, fibra y agua dulce; para contribuir a la sostenibilidad energética y climática del planeta, y mantener la biodiversidad y la protección general de los ecosistemas (ibíd.). El suelo se encuentra en alta afectación actualmente, con tasas de degradación de 10 a 40 veces más rápido de lo que se está formando (Cornell 2020). Se han identificado como principales amenazas que afectan sus propiedades: la acidificación, la disminución de la biodiversidad, erosión, contaminación principalmente por microplásticos y metales pesados, compactación, salinización, desbalance de nutrientes, pérdida de carbono orgánico, sellado y anegamiento (FAO e ITPS 2015). Globalmente estas problemáticas están causando pérdidas por más de 400 billones de dólares (Cornell 2020). Colombia no es la excepción a esto, con 58,11 % de los suelos del país siendo de carácter no apto para agricultura, además para el caso de Antioquia se reportó que de las 6.200.000 hectáreas que posee, el 30 % de los suelos registra grados medio y alto de degradación (IDEAM 2019; Colombiano 2020).

Una de las industrias que más presión ejerce en este recurso invaluable es la producción de alimentos o agricultura, industria responsable del 19 al 29 % de los gases de efecto invernadero en el mundo (Bager, Bruce y Vermeulen s.f.). Esto se debe a una consecuencia imprevista de la revolución verde que vivió el sistema de producción de alimentos a mediados del siglo XX, iniciativa importante que incrementó la productividad agrícola de manera significativa (FAO 2020). Durante esta, se fomentó la adopción de tecnologías sintéticas, entre las que se incluyen el uso extensivo de fertilizantes químicos, herbicidas y plaguicidas. El uso extensivo de estos agroquímicos está ocasionando un impacto considerable en el medio ambiente, la calidad de vida de las personas y la salud de los suelos alrededor del mundo (FAO e ITPS 2015; Erisman y col. 2013), debido especialmente a su carácter artificial que crea un desbalance en los ciclos naturales de nutrientes y una acumulación de dichas sustancias o sus derivados en este ecosistema edáfico (FAO e ITPS 2015; Erisman y col. 2013). Las afectaciones al agroecosistema por parte de estos agroquímicos incluyen: desbalance nutricional, problemas asociados a la acidificación del suelo y una preocupante pérdida en la diversidad microbiana (FAO e ITPS 2015).

Esta pérdida en diversidad microbológica afecta de manera directa muchos de los servicios ecosistémicos que presta el suelo como el reciclado de nutrientes; como ejemplo de estos se encuentran los

ciclos del nitrógeno, carbono y fosfato teniendo una consecuencia directa no solo en el calentamiento global, sino en la barrera biológica que representan los microorganismos del suelo en la propagación de la resistencia a antibióticos (Erisman y col. 2013). Adicionalmente el uso desmedido de estos agroquímicos como los nitrogenados-potasio-fósforo (NPK) derivan en otros fenómenos como la eutrofización, desequilibrando los ecosistemas acuáticos por la concentración elevada de nitrógeno y fosforo provenientes de lixiviados agrícolas (EPA 2012; *Pesticides in Produce* 2020). El modelo de producción agrícola actual afecta la calidad de vida de las personas del campo, causando aumento en la incidencia de enfermedades degenerativas y de agentes poluyentes en sus metabolismos, teniendo como consecuencia un incremento en la incidencia de afecciones de salud (Report, Fao y Bizzarri s.f.; Cornell 2020).

En esta misma línea de producción limpia, los productores agrícolas de Colombia tienen hoy en día como uno de sus principales objetivos exportar productos de la agrobiodiversidad nacional, debido principalmente a que les representa un aumento de ganancias e ingresos por productos con mayor valor agregado, una diversidad mayor de mercados y la no dependencia de economías locales, experiencia y alianzas con empresas extranjeras, y ventas en mayor volumen (*ProColombia* 2020).

Aún así, la exportación de productos agrícolas trae nuevos retos ya que se deben cumplir los límites y tolerancias establecidos para pesticidas, herbicidas y metales pesados (plomo, cadmio, mercurio y contaminantes químicos) presentes en los productos alimenticios, los cuales son regulados por entidades con altos estándares como la *Food and Drugs Administration* (FDA) (Forero y col. 2014) en el caso de EE. UU. y la Unión Europea (EU 2020). Adicionalmente se debe tener en cuenta que existe una creciente atención por las condiciones sociales y ambientales en las áreas productoras (ibíd.).

Se puede concluir entonces que la producción mundial de alimentos realizada de manera convencional con el uso intensivo de agroquímicos amenaza la estabilidad del clima, la resistencia del ecosistema y constituye el principal impulsor de la degradación ambiental y la transgresión de las fronteras planetarias (The Eat-Lancet Commission 2019). En los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en 2015 como norte para que la humanidad migre a una relación armónica con los sistemas naturales, la economía y el bienestar social, se hace especial énfasis en la urgencia de adopción de nuevos modelos sostenibles de producción para los alimentos que garanticen no solo bajo o nulo impacto ambiental sino a su vez productos de alto valor nutricional (The Eat-Lancet Commission 2019; United Nations 2015; UNICEF 2018).

Para lograr esto se han comenzado a generar nuevas aproximaciones para el manejo de los cultivos, siendo una de ellas un enfoque basado en interacciones biológicas el cual busca restablecer la ecología de los suelos y dejar de lado los insumos químicos para el manejo de los cultivos. Este tipo de metodologías presenta grandes beneficios para el agricultor y el medio ambiente, entre los que están (*E. Ingham* 2020; Suelo y col. 2012):

- Mayores rendimientos y menores costos de insumos.
- Menos necesidad de riego.
- Mejores tasas de supervivencia durante condiciones climáticas extremas (inundaciones, sequías, olas de calor, etc.).
- Mayor salud de los cultivos y de resistencia contra plagas y malezas.

- Puede eliminar la necesidad de rotación de cultivos.
- Conversión rápida de cultivo químico a orgánico.
- Mayor calidad de productos cosechados en términos de nutrientes disponibles y más bajas deficiencias.
- Mejor salud de los animales de crianza para producción de proteína, lácteos y derivados, además de disminución en el costo de producción, derivados de una mejor calidad en su alimento y la gestión de desechos.
- Secuestro de carbono y mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI).
- Control efectivo de la erosión.
- Menor uso y producción de fertilizantes químicos tóxicos, junto con pesticidas, herbicidas y residuos de fungicidas.

Este trabajo busca entonces estandarizar la técnica para determinar el estado ecosistémico de suelos, basada en la detección de la presencia de los principales grupos microbianos a través de microscopía, con el fin de ofrecer el servicio tecnológico a través de la iniciativa empresarial Terra Sabia. Este nuevo emprendimiento buscará ofrecer soluciones para la adopción de modelos sostenibles de producción agrícola que fomente el restablecimiento del microbioma del suelo y lograr así un manejo más eficiente, responsable y rentable de los cultivos por parte de los agricultores.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo General

Estandarizar una metodología innovadora de medición del estado de la red ecosistémica microbiana del suelo en un cultivo modelo de *Lactuca sativa var. crispata*.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el estado de los primeros grupos tróficos de suelos de cultivos de *Lactuca sativa* manejados bajo diferentes prácticas agronómicas, mediante una metodología innovadora, basada en la determinación de la red alimenticia del suelo.
- Relacionar el impacto de la práctica de cultivo en el estado de la red ecosistémica microbiana con variables de rendimiento de cosecha.
- Estructurar un brochure o cartilla basado en los resultados obtenidos, que sirva como base para la promoción y venta del servicio tecnológico de base biológica a potenciales clientes agricultores.

Capítulo 3

Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto será la estandarización de una metodología basada en microscopía para la medición de la red ecosistémica de los primeros grupos tróficos del suelo, lo cual es una práctica innovadora en agricultura y constituye un soporte científico para buscar la comercialización de este servicio innovador a través de la start-up TERRA SABIA. Adicionalmente, se pretende plasmar todo el conocimiento adquirido a través del análisis de los resultados científicos y de la implementación de herramientas de innovación en un prototipo de material de promoción y concientización de la importancia de estas técnicas para migrar a una agricultura moderna y biológica. Esto último buscando aportar a la consolidación del portafolio de la start-up TERRA SABIA que ofrecerá soluciones para orientar a los productores en la adopción de modelos sostenibles de producción agrícola.

Los resultados a presentar serán:

- Estandarización de protocolos de medición de la red ecosistémica microbiana del suelo por microscopía (Objetivo 1).
- Índices del estado de la red ecosistémica microbiana del suelo obtenidos en los cultivos modelo bajo diferentes prácticas agrícolas (Objetivo 2).
- Análisis estadístico de mediciones indicadoras de rendimiento del cultivo en función del estado de la red ecosistémica de los primeros grupos tróficos de suelo (objetivo 2).
- Diseño del brochure sobre el servicio técnico de base biológica, sus beneficios e importancia (Objetivo 3).

Capítulo 4

Marco referencial

Los suelos actualmente tienen protagonismo en el cambio ambiental global y el reto está en lograr predecir cómo responderán ante el cambio climático, la vegetación, la erosión y la contaminación. Para esto se necesita una mejor comprensión del rol que cumplen los suelos en el sistema de la Tierra (Tarbuck y Lutgens 2012) . Estas problemáticas según este informe de la FAO afectan de diferente manera las funciones del suelo para la producción vegetal (Fig. 1) (FAO e ITPS 2015).

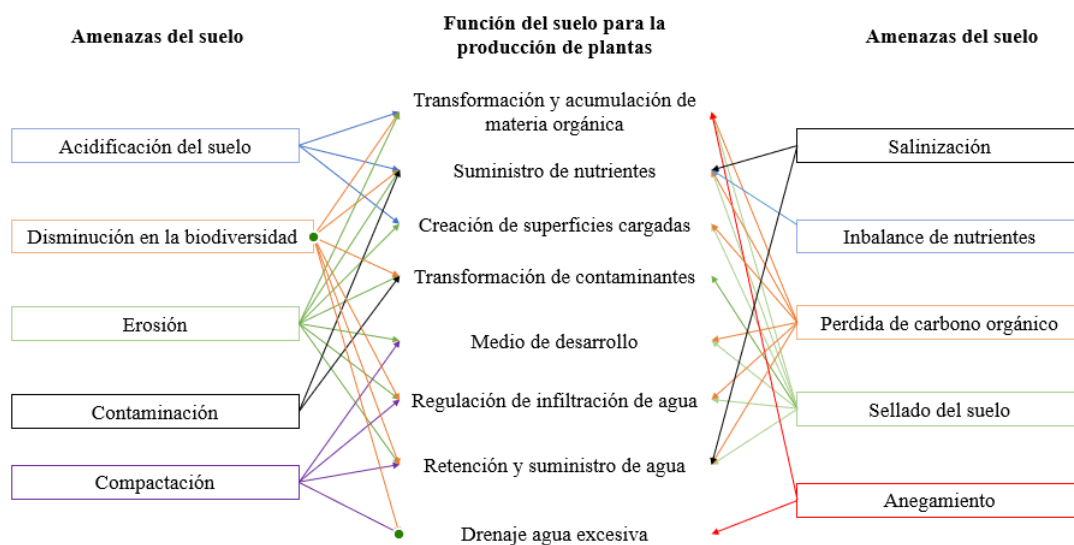


Figura 1: Relación entre las amenazas de las propiedades del suelo y la función que cumple el suelo para la producción de plantas.

Fuente: Construcción propia adaptado de (FAO e ITPS 2015).

4.1. Biología del suelo y producción agrícola

El suelo no solo provee una matriz de anclaje para el desarrollo de las plantas, ya que cuando hablamos de suelo también se tiene en cuenta los millones de organismos que allí habitan. Allí se genera una relación simbiótica para estos organismos y la planta, donde estos juegan un papel fundamental para el sistema al contribuir en funciones cruciales que éste brinda como: ser un reservorio de nutrientes, regular el drenado, retención e infiltración del agua y adicionalmente contribuye en la acumulación y la transformación de materia orgánica importante para un buen desarrollo vegetal (Tarbuck y Lutgens 2012; FAO e ITPS 2015). Esta relación planta-microorganismo es mediada por la planta proporcionando a los microorganismos del suelo con exudados de raíz que se utilizan como sustratos y moléculas de señalización (Bais y col. 2006). Las plantas incluso pueden seleccionar estos microorganismos a lo largo de su desarrollo según su interés a través de estos exudados (Yuan y col. 2015). En la Figura 2 se ejemplifican algunas de las interacciones en la rizosfera:

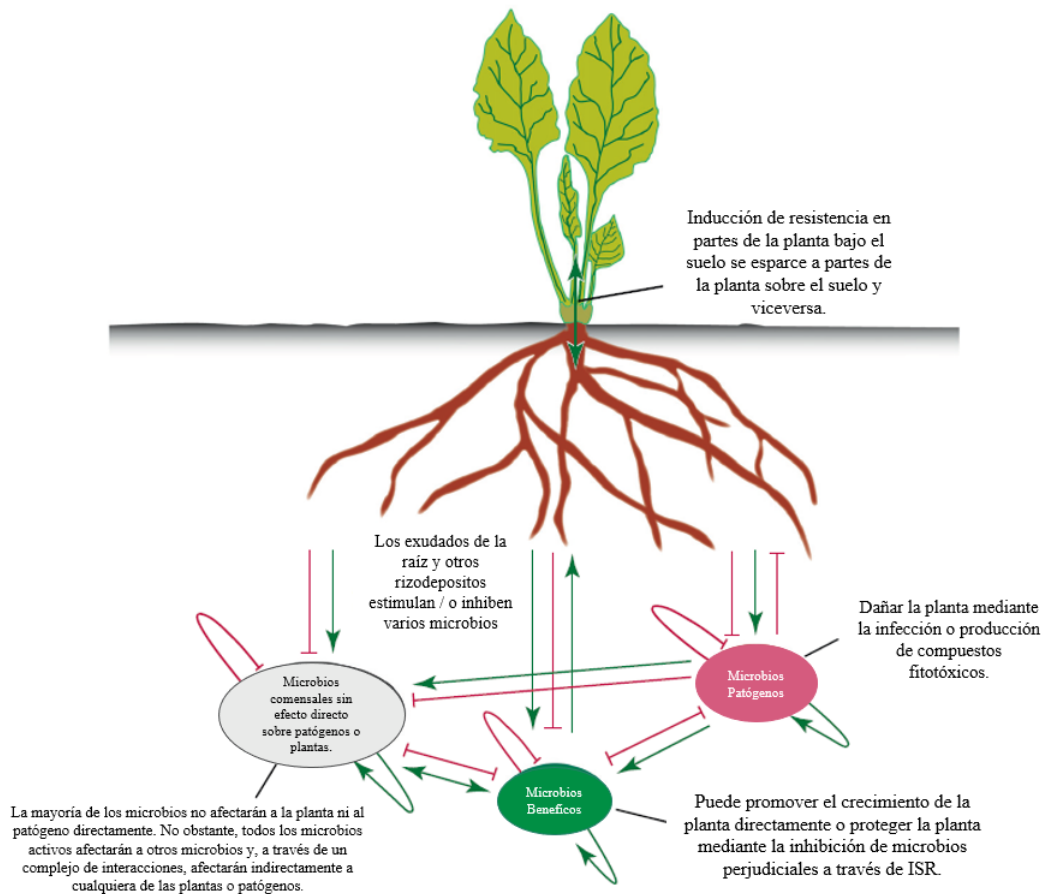


Figura 2: Interacciones de la rizosfera.

Fuente: Construcción propia adaptado de (Berendsen, C. M. Pieterse y Bakker 2012).

Estas interacciones planta-microorganismos desempeñan roles importantes en una serie de pro-

cesos vitales no solo para las plantas sino a su vez para los ecosistemas, como pueden serlo:

- El secuestro de carbono y el ciclo de nutrientes (Singh y col. 2004).
- La supresión de enfermedades en plantas (Haas y Défago 2005; Mendes y col. 2011).
- Aumento de disponibilidad y aceptación nutrientes para las plantas (Lugtenberg, Chin-A-Woeng y Bloemberg 2002; Morrissey y col. 2004).
- Una mayor tolerancia a los cambios en factores bióticos y abióticos (Zolla y col. 2013; Zamioudis y C. M. J. Pieterse 2012).

Adicionalmente se ha demostrado que la estructura de la comunidad microbiana rizosférica cambia según:

- El genotipo de la planta (Lugtenberg, Chin-A-Woeng y Bloemberg 2002; Broeckling y col. 2008; Bulgarelli y col. 2012).
- Exposición a suelos supresores de enfermedades (Mendes y col. 2011).
- Composición de exudado de la raíz (Badri y Vivanco 2009; Badri, Chaparro y col. 2013).
- Señalización de hormonas vegetales (Carvalhais y col. 2013).

El uso extensivo de agroquímicos está ocasionando un impacto considerable en el medio ambiente y la salud de los suelos alrededor del mundo. Estos agroquímicos han llevado a un rápido declive en la diversidad de la flora y fauna microbiana. En algunos casos, estas altas concentraciones de nitrógeno aumentan la producción de gases nitrogenados reactivos y N₂O en el suelo (favoreciendo así el incremento en gases de invernadero), al descompensar el balance de las comunidades microbianas que se encuentran allí favoreciendo a aquellas que utilizan el nitrógeno como recurso esencial para su proliferación (FAO e ITPS 2015; Erisman y col. 2013). Se ha sugerido además que el fósforo inorgánico de estos agroquímicos disminuye la capacidad de los microbios solubilizantes de fósforo para proporcionar este elemento de forma natural a la planta (Rudrappa y col. 2008).

4.2. Microscopía al servicio de la agricultura

El sector agroindustrial en Colombia representa el 10 % del PIB nacional con US \$28.325 millones, de los cuales 65 % corresponde a la producción agropecuaria y 35 % a actividades de la industria manufacturera (ANDI 2017). Este sector presenta hoy en día presiones fuertes desde varios ámbitos mencionados en secciones anteriores. Por lo tanto, se hace necesario repensar el modelo productivo e innovar a tal punto que el desarrollo del sector no avance en contravía de la sostenibilidad social, económica y ambiental (BioinTropic, Universidad EAFIT y Silo 2018; Villanueva-Mejía D 2018). Esto representa para Colombia una oportunidad única, debido a varios factores como su ubicación geográfica, sus recursos hídricos, su diversidad climática y la extensión de tierra para ampliar la frontera agrícola sin necesidad de realizar deforestación, contando con más de 44 millones de hectáreas disponibles para la producción agropecuaria (BioinTropic, Universidad EAFIT y Silo 2018;

Villanueva-Mejía D 2018) Figura 3. Además, su ubicación privilegiada en el cono norte de Sur América favorece los procesos de exportación, permite menores tiempos de tránsito, mayor velocidad en las entregas y fletes competitivos internacionalmente. De acuerdo con datos de la (*ProColombia* 2020), en el año 2014 se ubicó como el 55 país exportador mundial de alimentos, es decir que hay posibilidades de aumentar su participación como proveedor internacional.

Distribución y uso principal de las 111.5 millones de hectáreas que conforman el área continental de Colombia.

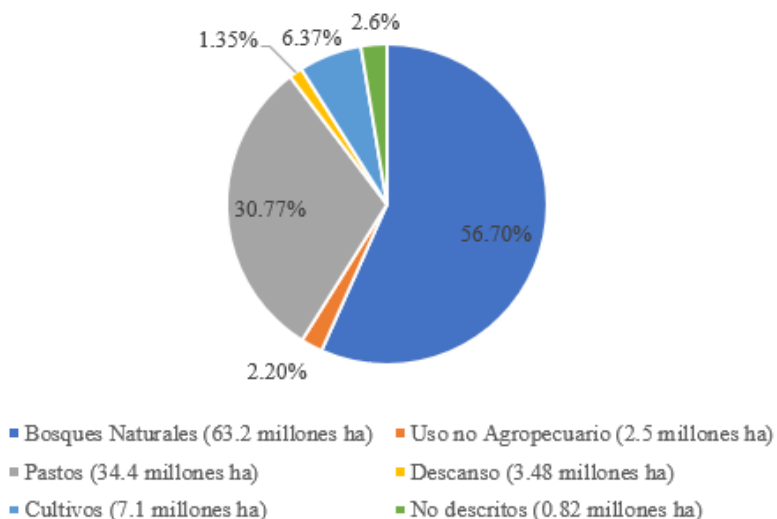


Figura 3: Distribución y uso principal del área continental de Colombia.

Fuente: Construcción propia adaptado de (Villanueva-Mejía D 2018).

Sumado a lo anterior, hoy en Colombia la situación de pobreza, en los términos del índice de pobreza multidimensional (IPM), es casi 3 veces mayor en la ruralidad que en las zonas urbanas. Si contrastamos las cifras del 2018 con la del 2016 vemos que no hay mejorías, sino que, por el contrario, el IPM se ha incrementado en un 2,3 % (DANE 2018). Es este 22 % de la población nacional de Colombia, la población rural, encargada de la mayor parte de la producción agrícola, donde la tecnificación y asistencia técnica en producción es mínima, un ejemplo de esto es la asistencia técnica en suelos la cual no supera el 3 % del sector agropecuario Figura 4 (Abel y Flórez s.f.).

Porcentaje de productores que reciben asistencia técnica agropecuaria en cultivos referencia, 2014

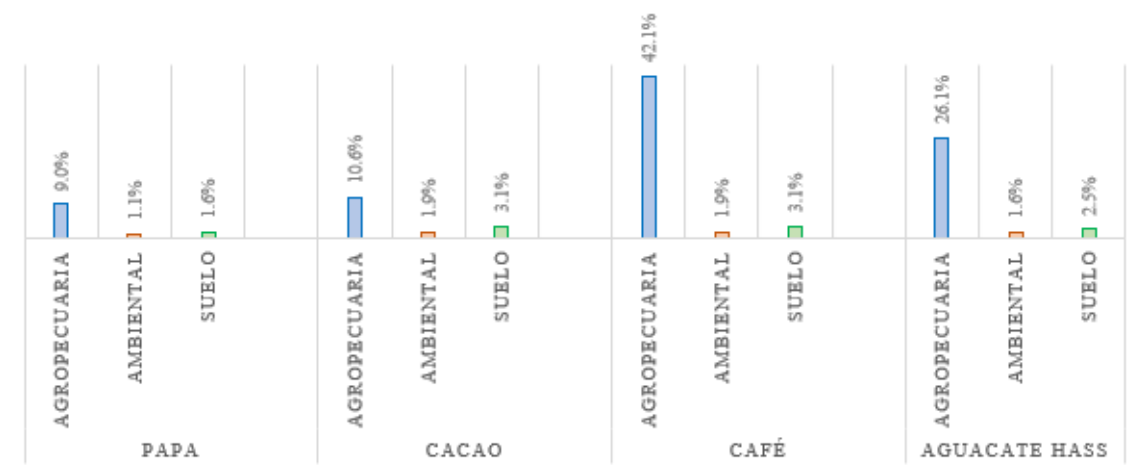


Figura 4: Porcentaje de productores que reciben asistencia técnica agropecuaria en cultivos referencia.

Fuente: Construcción propia adaptado de (Abel y Flórez s.f.).

La microscopía como servicio técnico ha sido una herramienta fundamental para la investigación y análisis en diferentes sectores económicos tales como la industria (materiales, textil, mecánico, etc.), la medicina (histología, genética, cirugías, etc.) y agropecuaria (fitopatología, genética, fisiología, etc.) (A. McDoogeburger 2020; New York Microscope Co. 2020; R. RIVAS 2020). Pero aún, no se tiene una propuesta comercial en Colombia para la agricultura, como servicio técnico para la medición del estado ecosistémico de los suelos. Esta técnica presenta ventajas en la observación de viabilidad celular y como servicio tecnológico resulta idóneo al ser de bajo costo y alta efectividad para lograr orientar a los productores en la adopción de modelos sostenibles de producción agrícola que fomente el restablecimiento del microbioma del suelo para que así logren un manejo más eficiente, responsable y rentable de sus cultivos.

Capítulo 5

Metodología

5.1. Metodología para el objetivo 1

5.1.1. Sitio de estudio

Para alcanzar el objetivo de estandarizar la metodología de medición del estado ecosistémico de los suelos, se estableció un cultivo temporal de *Lactuca sativa var. crispata* (lechuga crespata verde). Se seleccionó este cultivo como modelo inicial para la validación de estas metodologías teniendo en cuenta su rápido tiempo de cosecha, la oportunidad y potencial que presenta para Colombia en el mundo. El sitio en donde se lleva a cabo el estudio es un predio en el barrio San Sebastián situada en el municipio Envigado, Antioquia. El área de investigación está situada en 6°9.774' N, 75°33.989' W a 1750 msnm en donde la temperatura anual promedio en el día es de 27° mientras la mínima es de 17° y la precipitación anual promedio es de 104.12 mm.

El montaje experimental está compuesto de 2 camas por tratamiento, cada una con 40 réplicas de lechugas provenientes de TecniPlantas, vía don diego-llano grande, las cuales se diferenciarán por el tratamiento aplicado (C: control, T: enmienda biológica TERRA SABIA y Q: tratamiento convencional químico de casa comercial). Los tratamientos consistieron en: C= consistente en suelo orgánico sin tratamiento, T= se prepararon biofertilizantes líquidos con bokashi y microorganismos nativos y Q = tratamiento químico convencional con adición de 4 gramos de complejo NPK Yaramila™. Este proceso tuvo dos repeticiones en el tiempo, nombrando los tratamientos de la primera repetición C1, T1 y Q1, mientras los de la segunda repetición C2, T2 y Q2.

Las variables a medir semanalmente consistieron en:

Semanalmente

- Numero de hojas por planta.
- Diametro de cada planta.

Las variables a medir al final de cada ciclo de producción (semana 5 1/2):

Fin de cada ciclo de producción

- Peso fresco por planta.
- % plantas Arrolladas.

5.1.2. Toma de muestras de suelo de soporte

Se usó un núcleo de suelo (1,5 cm a 3 cm de diámetro) para tomar 15 muestras aleatorias de cada tratamiento indicado previamente. Se retiraron los restos de plantas de la superficie muestra, y se colocó solamente la parte superior (8-12 centímetros) del suelo en el cubo. De cada muestra compuesta se tomaron 300gr para su almacenamiento a 4 °C hasta su procesamiento, donde cada bolsa se etiquetó con la fecha, tratamiento y replica (nombre de la muestra).

5.1.3. Toma de muestras de suelo rizosférico

En el momento de cosecha de las plantas, durante la semana 5 y media de desarrollo, estas se retiraron de forma manual y cuidadosa para mantener el suelo adherido a la raíz. Se agitó vigorosamente la planta para separar el suelo rizosférico (adherido a la raíz) y este se separó cuidadosamente con un pincel. De cada muestra de suelo compuesta se tomaron 300gr para su almacenamiento a 4 °C hasta su procesamiento, donde cada bolsa se etiquetó con la fecha, tratamiento y replica (nombre de la muestra).

5.1.4. Microscopia óptica

Esta medición se realizó basado en el protocolo descrito por (*E. Ingham* 2020). Tomando 1 gramo (o un mililitro de volumen) de la muestra y adicionando 4 mililitros de agua al recipiente que contiene la muestra sólida (dilución 1:5). Luego se agitó vigorosamente el recipiente durante 1 minuto. Finalmente, se tomó una alícuota con la pipeta y se dispusieron una o dos gotas en el portaobjetos, continuando con la observación de 20 campos visuales por muestra.

5.2. Metodología para el objetivo 2

5.2.1. Cálculos de índices de red ecosistémica del suelo

El índice por grupo trófico se realiza con base a los conteos hechos de cada uno (bacterias, hongos, protozoos y nematodos) en los 20 campos visuales donde se estiman los promedios de cada grupo por campo visual y se tienen en cuenta otros parámetros como morfologías observadas, presencia de materia orgánica y agregación de partículas del suelo.

5.2.2. Tabla de correlación de datos y análisis estadístico

Para el reporte de los datos, se realiza una tabla resumen de correlación de los datos obtenidos de la observación de la red alimenticia del suelo con las variables agronómicas por cada tratamiento. Se incluyen valores de referencia de los valores mínimos aceptados e ideales propuestos en la literatura para cada índice ecosistémico para el cultivo modelo *Lactuca sativa var. crispa*, para facilitar el análisis y poder establecer los indicadores calificativos de los datos.

Los datos fueron analizados en el software R studio, con un código de creación propia. Se realizó una evaluación de cumplimiento de supuestos de la ANOVA para cada set de datos y en caso de no cumplirlos, se realizó dicho análisis de un solo factor (one-way ANOVA) paralelamente al análisis post-hoc de significancia de Tukey para encontrar diferencias entre grupos. Si los datos no cumplían los supuestos de la ANOVA se analizaron por la prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis y las diferencias entre grupos homogéneos se hallaron con un análisis post-hoc con el método de Dunn.

5.3. Metodología para el objetivo 3

Se realizó un brochure sobre el servicio técnico con material educativo y precio del servicio de medición de índices de red ecosistémica del suelo. Este material será ofrecido a los productores y contiene datos de un ejercicio de vigilancia tecnológica en donde se definió un objeto y unas estrategias para realizar la búsqueda, y se realizó una organización y análisis sistemático de la información en los segmentos de interés.

Capítulo 6

Resultados

6.1. Las variables de rendimiento de cultivo en las plantas de *Lactuca sativa var. crispa* no presentan diferencias significativas entre las diferentes prácticas de cultivo en el momento de cosecha.

El ciclo de producción de la *Lactuca sativa var. crispa* es generalmente de 25 a 35 días, alrededor de las semanas 5-6, sin embargo, en los resultados obtenidos bajo las dos diferentes prácticas agrícolas evaluadas y el control (Figura 5) es posible evidenciar cambios en algunas variables de rendimiento de cultivo como el número de hojas y diámetro por planta desde las semanas 3-4.

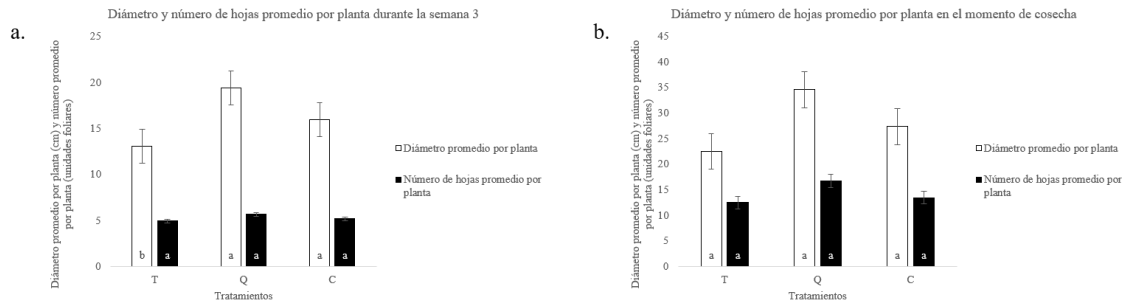


Figura 5: Diámetro y número de hojas promedio por planta en dos momentos diferentes de producción agrícola. (a) Semana 3 y (b) Semana 5.

Las barras de intervalo representan errores estándar de la media ($n = 140$), los ensayos se repitieron dos veces independientemente en el tiempo. Las barras que comparten letras no difieren estadísticamente en sus valores, determinado por ANOVA seguido de una prueba de Tukey para grupos homogéneos con un nivel de confianza del 95 % (para a y b). Diámetro promedio por planta semana 3 (P-value = 0.0196), Número de hojas promedio por planta semana 3 (P-value= 0.18), Diámetro promedio por planta semana 5 (P-value = 0.0613) y Número de hojas promedio por planta semana 3 (P-value= 0.2044).

Específicamente respecto a las diferencias de las variables de cultivo observadas en los ensayos de este estudio, en la semana 3 (Figura 5 a), observamos diferencia significativa en la variable de cultivo del diámetro promedio de las plantas, mientras no se observaron diferencias significativas en el número promedio de hojas por planta durante esta misma semana. En las variables diámetro y número de hojas promedio por planta en el momento de cosecha (semana 5 y media, Figura 5 b) no se logra apreciar una diferencia significativa en ninguna de las dos variables. Adicionalmente, al graficar la variable de peso promedio por planta (Figura 6) se evidencia que no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

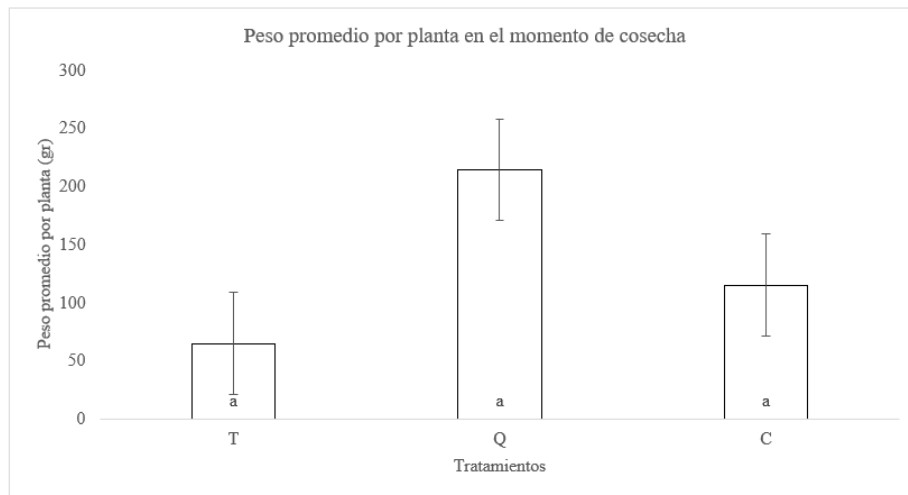


Figura 6: Peso promedio por planta en el momento de cosecha (semana 5 y media).

Las barras de intervalo representan errores estándar de media ($n = 140$), los datos vienen del consolidado de dos ensayos independientes en el tiempo cada uno constaba de dos camas con 35 réplicas. Las barras que comparten letras no difieren estadísticamente en sus valores, determinado por ANOVA seguido de una prueba de Tukey para grupos homogéneos con un nivel de confianza del 95 %. P-value = 0.1036.

6.2. Estado de la red ecosistémica del suelo y producción agrícola

En la tabla 1, se pueden observar los valores de los diferentes índices para los grupos tróficos del suelo por tratamiento graficados como un mapa de calor (cada color se encuentra descrito en la leyenda de la Figura 7), incluyendo los valores de referencia mínimos e ideales de dichos indicadores para el cultivo modelo (*Lactuca sativa var. crispata*). Al observar dichos resultados, es posible concluir que se no se encuentra una diferencia significativa en los diferentes valores para los índices de grupos tróficos del suelo luego de realizar un análisis estadístico por ANOVA seguido de una prueba de Tukey para grupos homogéneos con un nivel de confianza del 95 % (Figura 7, Anexos Fig. 8, Fig. 9 y Fig. 10). Esto se puede interpretar como una ausencia de diferencias en grupos tróficos del suelo entre prácticas agrícolas de acuerdo a los valores matemáticos de los índices, pero si es posible observar una diferenciación de estos valores al compararlos con los estándares mínimos y óptimos para cada índice, evidenciando una mayor inclusión en los valores óptimos de índices de red ecosistémica del suelo para el tratamiento químico.

Índices de la red ecosistémica del suelo.		Tratamientos del suelo				
		Tratamiento (T)	Químico (Q)	Control (C)	Valores mínimos	Valores ideales
Índ. de Bacterias	Ocur. prom. x cv	397.5	541.5	432.5	300-500	1000-1500
	Morf. obs.	9.5	12.5	10.5	3 a 10	5 a 15
Índ. de Hongos	Ocur. prom. x cv	0.43	0.685	0.37	0.1 - 0.2	0.17 - 0.27
	Morf. obs.	2.5	4.5	2.5	1 a 2	3 a 10
	Diam. Hifa	2.63	2.955	2.66	> 2.5	>3
Índ. de Ciliados	Ocur. prom. x cv	0.185	0.14	0.13	< 0.05	<0.05
	Morf. obs.	1.5	1.5	1.5	<1	<1
Índ. de Ameoba	Ocur. prom. x cv	0.47	0.6	0.565	0.13 - 0.19	0.2 - 0.63
	Morf. obs.	3	4.5	3.5	N/N	N/N
Índ. de Flagelados	Ocur. prom. x cv	0.12	0.235	0.17	0.13 - 0.19	0.2 - 0.63
	Morf. obs.	1	2	2	N/N	N/N
Índ. de Nematodos	Ocur. prom. x cv	0.025	0.015	0.03	0.01 - 0.1	0.1 - 0.5
	Morf. obs.	2	1	2.5	N/N	N/N

Tabla 1: Comparación de resultados de los índices de la red ecosistémica de suelos con los valores ideales y mínimos para el cultivo de *Lactuca sativa var. crispata*.

En donde Índ: índices, Ocur. prom.x cv: Ocurrencia promedio por campo visual, Diam. Hifa: Diametro promedio por hifa (micrometros) y Morf.obs.: Morfologías observadas. * valores mínimos e ideales determinados por el referente de la técnica *E. Ingham 2020*.

En la Fig. 7 a, se puede observar un resumen de las últimas líneas del párrafo anterior, donde se hace un recuento de las veces que un índice estuvo entre los valores de clasificación de la Fig. 7 b; en la categoría excelente (verde oscuro), muy bueno (verde intenso), aceptable (verde claro), oportunidad de mejora (naranja claro) y alerta (rojo), para cada tratamiento y cada índice de red ecosistémica del suelo. Adicionalmente, se presenta un promedio final de cada variable de rendimiento del cultivo. Interesantemente, se puede apreciar una potencial relación causal de tener un mayor número de valores de índices de red alimenticia del suelo en la categoría excelente con unos mejores valores de rendimiento de cultivo. Esto puede deberse a una mayor salud de suelo que se traduce en un aumento en la producción agrícola (*E. Ingham 2020*; Suelo y col. 2012).

a.

TRATAMIENTOS DEL SUELO	Variables de Cultivo en el momento de cosecha			Distribución de los índices por categorías				
	Peso promedio por planta (gr)	Diámetro promedio por planta (cm)	Número de hojas promedio por planta (unidad foliar)	Excelente	Muy bueno	Aceptable	Oportunidad de mejora	Alerta
Tratamiento (T)	64.64	22.52	12.53	1	3	2	4	0
Químico (Q)	214.16	34.595	16.75	4	3	0	3	0
Control (C)	115.015	27.39	13.505	1	4	2	3	0

b.

Alerta	Muy por fuera del del rango aceptable o ideal
Oportunidad de mejora	Por fuera del del rango aceptable o ideal
Aceptable	En el mínimo aceptable
Muy bueno	En el mínimo aceptable y rango ideal
Excelente	Perfecto

Figura 7: Comparación de resultados de los índices de la red ecosistémica de suelos con los variables de producción agrícola.

Aunque los resultados de este experimento no confirman la causalidad de una mayor producción agrícola con un mejor estado de la red ecosistémica, permiten tener un primer punto de partida para replantear el modelo experimental y comprobar la hipótesis. Para este, se recomendaría medir las variables de producción agrícola de la planta a evaluar, junto con el estado de la red ecosistémica adicionando pruebas de fluorescencia que permitan además confirmar la actividad y viabilidad celular de grupos como bacterias y hongos. Además, medir otras variables de interés para la producción agrícola que pueden generar factores de ruido al interactuar con los microorganismos del suelo y con

la planta de no ser incluirlas como lo son: la luminosidad en el cultivo (tiempo e intensidad), perfil fisicoquímico y contenido nutricional del suelo, humedades relativas del suelo y del aire y la medición de variables nutricionales en el tejido de las plantas para correlacionarlas con la red ecosistémica del suelo. Esta última debido a que la literatura resalta, el aumentado valor nutricional que tienen los alimentos orgánicos al tener una absorción de nutrientes mejorada, homogénea en el tiempo, y más concentrada en una menor biomasa. Es decir, los alimentos orgánicos son más densos en nutrientes, y por lo tanto es posible obtener una buena dosis de sus cualidades nutricionales con menor cantidad The Eat-Lancet Commission 2019.

6.3. Brochure de Terra Sabia

¿Quiénes somos?

Somos una empresa dedicada a la prestación de servicios en métodos innovadores que restablecen los ecosistemas del suelo, transformando la manera en que producimos alimentos y cuidamos de las plantas, cambiando a la vez la forma en que entendemos y nos conectamos con la vida en los suelos.

Para lograr esto, proponemos un conjunto de soluciones personalizadas integrando metodologías biológicas con tecnologías de vanguardia, además de acompañar y brindar las herramientas necesarias para lograr productos agrícolas más rentables y eficientes.

Respetamos la naturaleza, dejando que ella se encargue de cuidar de los productos agrícolas y las plantas como solo ella sabe, permitiendo que la agroindustria se convierta en una práctica sana y sostenible.

Un suelo sano es una planta sana, una planta sana es una persona sana.

CREEMOS UNA AGROINDUSTRIA MÁS EFICIENTE, CONSCIENTE Y RENTABLE.

Beneficios

- Mayores **rendimientos** y **menores** costos de insumos.
- **Reducción** en costos de producción.
- Mayor **calidad de productos cosechados** en términos de nutrientes disponibles y más bajas deficiencias.
- **Mayor salud** de los cultivos y de resistencia contra plagas y malezas.
- Mejores tasas de **supervivencia** durante condiciones climáticas extremas.
- **Reducción** en consumo agua.
- **Diferenciación** y valorización del producto agrícola
- **Reducción** en trazas químicas
- **Control** efectivo de la erosión.
- **Mejor salud** de los animales de crianza para producción de proteína, lácteos y derivados, además de disminución en el costo de producción, derivados de una mejor calidad en su alimento y la gestión de desechos.
- **Secuestro de carbono** y **mitigación** de los gases de efecto invernadero (GEI).

TERRA SABIA
—VIDA Y CONEXIÓN—

☎ (+57)305-402-2023
✉ contacto@terrasabia.com
🌐 www.terrasabia.co
📷 @terra_sabia

VIDA Y CONEXIÓN

ACOMPañAMIENTO, ADAPTACIÓN DEL ECOSISTEMA DEL SUELO Y SOSTENIBILIDAD.

En Terra Sabia nos enfocamos en acompañar tanto a productores como aficionados a través de nuestras líneas Agro y Home, con el objetivo de implementar nuestras metodologías personalizadas a cada uno de ellos.

Línea AGRO

Mejoramos la rentabilidad, eficiencia y calidad en los cultivos mientras se cuida la salud de los involucrados y a su vez del medio ambiente a través de nuestros productos:

- Bio reactor Terra Sabia TM
- Beerkashi
- Polvo de hadas
- Herramientas / Accesorios
- Otras representaciones

Línea HOME

Nuestro objetivo es generar una conciencia colectiva sobre los suelos y la vida en ellos, a través de un cambio de hábitos sostenibles para lograr un estilo de vida más sano y responsable de las personas, por medio de nuestra línea de productos HOME diseñados para cuidar el suelo de plantas hogareñas, huertas y jardines, mientras disfrutamos compartiendo con la tierra y los demás seres vivos.

- Beerkashi
- Polvo de hadas
- Herramientas / Accesorios
- Manuales educativos.

Servicios

A través de los análisis biológicos identificamos desequilibrios en el ecosistema del suelo, para los cuales formulamos soluciones integrales. Estas soluciones las prestamos al crear paquetes personalizados que pueden incluir los productos mencionados y los siguientes servicios:



Fotografía aérea



Análisis de laboratorio



Certificaciones



Cursos, talleres y conferencias



Seminarios



Planimetría

Capítulo 7

Conclusiones

Las variables medidas para estos experimentos se limitaron a la producción agrícola y la cadena trófica del suelo, dejando otras variables de conocida importancia para la producción agrícola como los son el contenido de nutrientes del suelo, la calidad y cantidad de agua durante el ciclo de cosecha y las variables ambientales en el lugar de cultivo, todas variables fundamentales para lograr un buen desarrollo de la planta y proponer mejoras de migración a prácticas sostenibles de agricultura sin descuidar la productividad.

Como conclusión, es posible decir que el monitoreo detallado de la salud del suelo, a través de índices de red ecosistémica medidos por técnicas de microscopía como la presentada en estos ensayos, e inclusive más avanzadas como microscopía de fluorescencia. La microscopía presenta ventajas en la observación de la viabilidad celular, ventaja que no presentan los métodos moleculares, y como servicio tecnológico resulta idóneo al ser de bajo costo y alta efectividad para lograr orientar a los productores en la adopción de modelos sostenibles de producción agrícola que fomente el restablecimiento del microbioma del suelo para que así logren un manejo más eficiente, responsable y rentable de sus cultivos.

Capítulo 8

Anexos

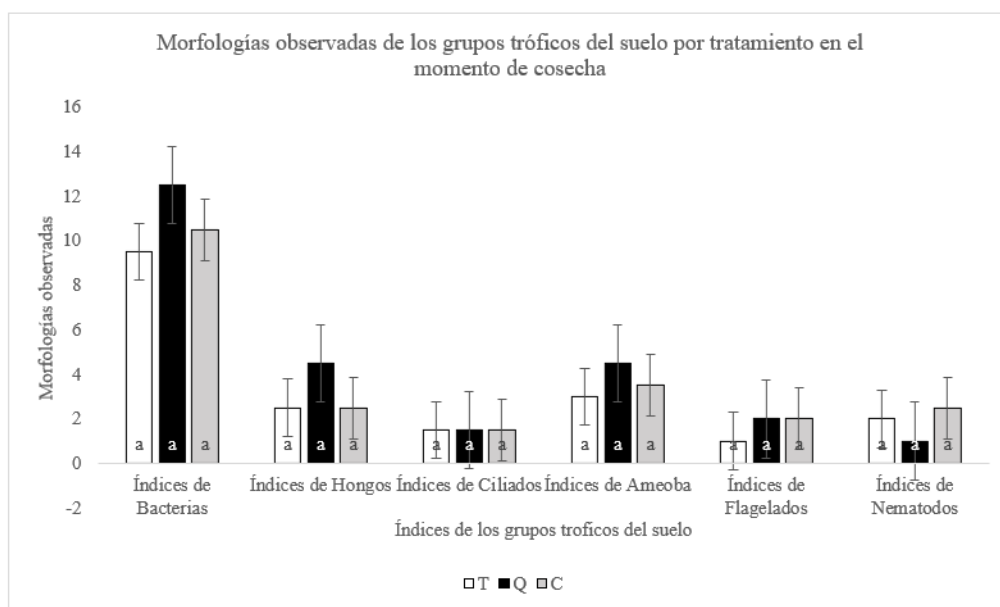


Figura 8: Morfologías observadas promedio de los diferentes grupos tróficos del suelo en el momento de cosecha.

Las barras de intervalo representan errores estándar de media ($n = 140$), donde los datos vienen del consolidado de dos ensayos independientes en el tiempo cada uno constaba de dos camas con 35 réplicas. Las barras que comparten letras no difieren estadísticamente en sus valores, determinado por ANOVA seguido de una prueba de Tukey para grupos homogéneos con un nivel de confianza del 95%. Índice de hongos P-value = 0.355, índice de ciliados P-value = 0.7066, índice de amebas P-value = 0.3435, índice de flagelados P-value = 0.266 e índice de nematodos P-value = 0.5915.

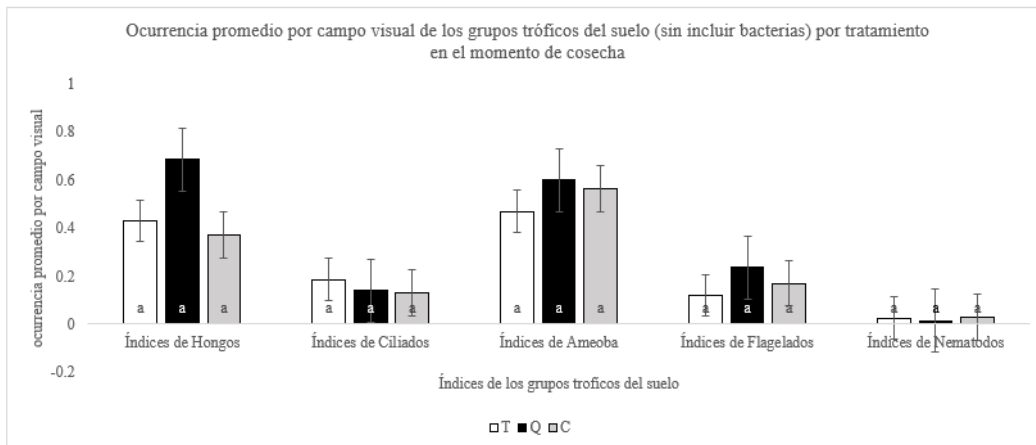


Figura 9: Ocurrencia promedio de los diferentes grupos tróficos del suelo en el momento de cosecha (sin incluir el grupo trófico bacterias).

Las barras de intervalo representan errores estándar de media ($n = 140$), donde los datos vienen del consolidado de dos ensayos independientes en el tiempo cada uno constaba de dos camas con 35 réplicas. Las barras que comparten letras no difieren estadísticamente en sus valores, determinado por ANOVA seguido de una prueba de Tukey para grupos homogéneos con un nivel de confianza del 95%. Índice de hongos P-value = 0.355, índice de ciliados P-value = 0.7066, índice de amebas P-value = 0.3435, índice de flagelados P-value = 0.266 e índice de nematodos P-value = 0.5915.

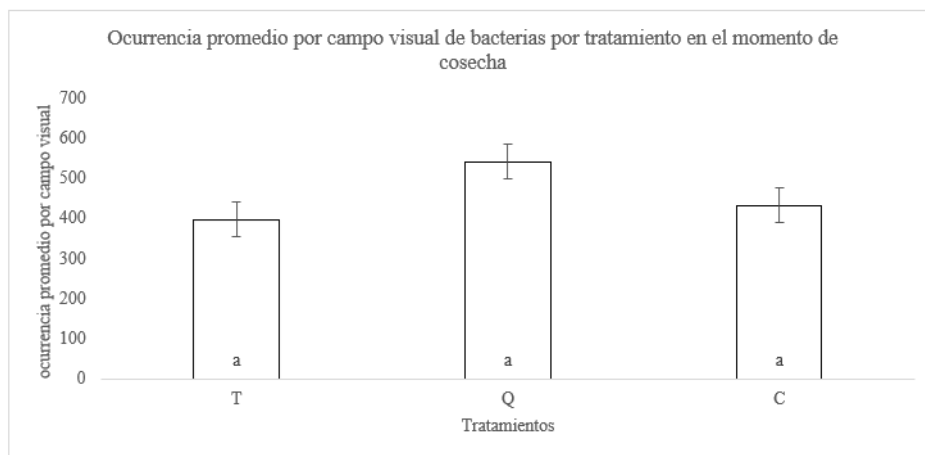


Figura 10: Ocurrencia promedio de bacterias del suelo en el momento de cosecha.

Las barras de intervalo representan errores estándar de media ($n = 140$), donde los datos vienen del consolidado de dos ensayos independientes en el tiempo cada uno constaba de dos camas con 35 réplicas. Las barras que comparten letras no difieren estadísticamente en sus valores, determinado por ANOVA seguido de una prueba de Tukey para grupos homogéneos con un nivel de confianza del 95%. P-value = 0.6506.

Bibliografía

- A. McDoogeburger (2020). URL: <https://sciencing.com/uses-of-microscopes-in-science-12194674.html> (visitado 15-04-2020).
- Abel, Guillermo y Rivera Flórez (s.f.). «C ONPES». En: ().
- ANDI (2017). «Estrategia Para Una Nueva Industrialización II». En: págs. 148-185. URL: www.unatintamedios.com.
- Badri, Dayakar V., Jacqueline M. Chaparro y col. (feb. de 2013). «Application of natural blends of phytochemicals derived from the root exudates of arabidopsis to the soil reveal that phenolic-related compounds predominantly modulate the soil microbiome». En: *Journal of Biological Chemistry* 288.7, págs. 4502-4512. ISSN: 00219258. DOI: 10.1074/jbc.M112.433300.
- Badri, Dayakar V. y Jorge M. Vivanco (jun. de 2009). «Regulation and function of root exudates». En: *Plant, Cell and Environment* 32.6, págs. 666-681. ISSN: 01407791. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2009.01926.x.
- Bager, Simon, Campbell Bruce y Lucy Holt Sonja Vermeulen (s.f.). «Food Emissions». En: (), <https://ccafs.cgiar.org/bigfacts/#theme=food-emiss>. URL: <https://ccafs.cgiar.org/bigfacts/%7B%5C%7Dtheme=food-emissions%7B%5C%7Dsubtheme=direct-agriculture>.
- Bais, Harsh P. y col. (jun. de 2006). «THE ROLE OF ROOT EXUDATES IN RHIZOSPHERE INTERACTIONS WITH PLANTS AND OTHER ORGANISMS». En: *Annual Review of Plant Biology* 57.1, págs. 233-266. ISSN: 1543-5008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159.
- Berendsen, Roeland L., Corné M.J. Pieterse y Peter A.H.M. Bakker (sep. de 2012). *The rhizosphere microbiome and plant health*. DOI: 10.1016/j.tplants.2012.04.001.
- BioinTropic, Universidad EAFIT y Silo (2018). «Estudio sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industria basdas en el capital natural de Colombia No.1240667. Fase I.» En: pág. 120.
- Broeckling, Corey D. y col. (feb. de 2008). «Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity». En: *Applied and Environmental Microbiology* 74.3, págs. 738-744. ISSN: 00992240. DOI: 10.1128/AEM.02188-07.
- Bulgarelli, Davide y col. (ago. de 2012). *Revealing structure and assembly cues for Arabidopsis root-inhabiting bacterial microbiota*. DOI: 10.1038/nature11336.
- Carvalhois, Lilia C. y col. (jul. de 2013). «Linking Plant Nutritional Status to Plant-Microbe Interactions». En: *PLoS ONE* 8.7. Ed. por Ivan Baxter, e68555. ISSN: 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0068555. URL: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0068555>.
- Colombiano, El (2020). *La tarea de devolverles la vida a suelos degradados en Antioquia*. URL: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/recuperacion-de-los-suelos-degradados-en-antioquia-AC12325731> (visitado 05-02-2020).
- Cornell (2020). 'Slow, insidious' soil erosion threatens human health and welfare as well as the environment, Cornell study asserts | Cornell Chronicle. URL: <http://news.cornell.edu/>

- stories/2006/03/slow-insidious-soil-erosion-threatens-human-health-and-welfare (visitado 05-02-2020).
- DANE (2018). «Boletín Técnico Pobreza Multidimensional en Colombia Pobreza multidimensional en Colombia». En: pág. 24. URL: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones%7B%5C_%7Dvida/pobreza/2018/bt%7B%5C_%7Dpobreza%7B%5C_%7Dmultidimensional%7B%5C_%7D18.pdf.
- E. Ingham (2020). URL: <https://www.soilfoodweb.com/> (visitado 2020).
- EPA, United States Environmental Protection Agency (2012). «The Facts about Nutrient Pollution». En: *United State Environmental Protection Agency*, págs. 1-2. ISSN: 00130613. URL: www.epa.gov/nutrientpollution.
- Erisman, Jan Willem y col. (jul. de 2013). «Consequences of human modification of the global nitrogen cycle». En: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368.1621. ISSN: 14712970. DOI: 10.1098/rstb.2013.0116.
- EU (2020). *Requisitos sanitarios y fitosanitarios | Trade Helpdesk*. URL: <https://trade.ec.europa.eu/tradehelp/es/requisitos-sanitarios-y-fitosanitarios> (visitado 07-04-2020).
- FAO (2020). *El Estado Mundial de Agricultura y la Alimentación (Sofa) 2004-2005*. URL: <http://www.fao.org/3/y5160s/y5160s08.htm> (visitado 20-03-2020).
- FAO e ITPS (2015). *The impact of soil change on ecosystem services*, págs. 168-222. ISBN: 9789251090046. URL: <http://www.fao.org/3/a-bc596e.pdf>.
- Forero, Luis E y col. (2014). «Oficina Comercial Washington DC.» En: *Guía de Requisitos de la FDA para exportar Alimentos a los Estados Unidos*, págs. 1-4.
- Haas, Dieter y Geneviève Défago (abr. de 2005). «Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads.» En: *Nature reviews. Microbiology* 3.4, págs. 307-19. ISSN: 1740-1526. DOI: 10.1038/nrmicro1129. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15759041>.
- IDEAM (2019). URL: <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia> (visitado 19-10-2019).
- Lugtenberg, Ben J J, Thomas F C Chin-A-Woeng y Guido V Bloemberg (ago. de 2002). «Microbe-plant interactions: principles and mechanisms.» En: *Antonie van Leeuwenhoek* 81.1-4, págs. 373-83. ISSN: 0003-6072. DOI: 10.1023/a:1020596903142. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12448736>.
- Mendes, Rodrigo y col. (mar. de 2011). «Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria.» En: *Science* 332.6033, págs. 1097-1100. ISSN: 00368075. DOI: 10.1126/science.1203980.
- Morrissey, John P. y col. (oct. de 2004). *Are microbes at the root of a solution to world food production?* DOI: 10.1038/sj.embor.7400263.
- New York Microscope Co. (2020). URL: <https://newyorkmicroscopecompany.wordpress.com/2014/09/02/what-are-the-uses-of-microscopes-in-different-fields/> (visitado 15-04-2020).
- Pesticides in Produce* (2020). URL: <https://www.consumerreports.org/cro/health/natural-health/pesticides/index.htm> (visitado 06-02-2020).
- ProColombia* (2020). URL: <https://www.colombiatrading.com.co/como-exportar/por-que-exportar> (visitado 07-04-2020).
- R. RIVAS (2020). URL: <https://www.iztacala.unam.mx/rrivas/NOTAS/Notas19Tecnologia/micosos.html> (visitado 15-04-2020).
- Report, Main, © Fao y Giuseppe Bizzarri (s.f.). *INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS Status of the World's Soil Resources Disclaimer and copyright*. ISBN: 978-92-5-109004-6. URL: www.fao.org/publications.

- Rudrappa, Thimmaraju y col. (nov. de 2008). «Root-secreted malic acid recruits beneficial soil bacteria». En: *Plant Physiology* 148.3, págs. 1547-1556. ISSN: 00320889. DOI: 10.1104/pp.108.127613.
- Singh, Brajesh K. y col. (ago. de 2004). *Unravelling rhizosphere-microbial interactions: Opportunities and limitations*. DOI: 10.1016/j.tim.2004.06.008.
- Suelo, E L y col. (2012). «El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas». En: *Agroecología* 7.1, págs. 19-34. ISSN: 1989-4686.
- Tarback, Edward J. y Frederick K. Lutgens (2012). *Earth science*. Prentice Hall/Pearson, pág. 740. ISBN: 9780321688507.
- The Eat-Lancet Commission (2019). «Food Planet Health». En: pág. 32.
- UNICEF (2018). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018 - UNICEF DATA*. ISBN: 9789251305713. URL: <https://data.unicef.org/resources/sofi-2018/>.
- United Nations (2015). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*, pág. 180. ISBN: 9789251095515. URL: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>.
- Villanueva-Mejía D (2018). «Estudios sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia». En: *Estudios sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia*, págs. 1-49.
- Yuan, Jun y col. (oct. de 2015). «Roots from distinct plant developmental stages are capable of rapidly selecting their own microbiome without the influence of environmental and soil edaphic factors». En: *Soil Biology and Biochemistry* 89, págs. 206-209. ISSN: 00380717. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.07.009.
- Zamioudis, Christos y Corné M J Pieterse (feb. de 2012). «Modulation of host immunity by beneficial microbes.» En: *Molecular plant-microbe interactions : MPMI* 25.2, págs. 139-50. ISSN: 0894-0282. DOI: 10.1094/MPMI-06-11-0179. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21995763>.
- Zolla, Gaston y col. (jun. de 2013). «Soil microbiomes vary in their ability to confer drought tolerance to Arabidopsis». En: *Applied Soil Ecology* 68, págs. 1-9. ISSN: 09291393. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.03.007.