



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

---

Instituto de Ciencias  
Centro de Agroecología

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Análisis ecotoxicológico de la cebolla blanca (*Allium cepa L.*),  
producida en Santa Isabel Cholula, Puebla.

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestra en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta

ANGELES CALVARIO PALMA

Director de la Tesis

Dr. Dionicio Juárez Ramón

ASESORES

Dr. Primo Sánchez Morales

Dr. Javier Cruz Hernández

Dr. Enrique Mora Sánchez

Puebla, Pue. Noviembre, 2021





La presente tesis, titulada “Análisis ecotoxicológico de la cebolla blanca ( *Allium cepa* L.) producida en Santa Isabel Cholulá Puebla”, realizada por la alumna Ing. Ángeles Calvario Palma bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN  
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: \_\_\_\_\_  
Dr. Dionicio Juárez Ramón

ASESOR: \_\_\_\_\_  
Dr. Primo Sánchez Morales

ASESOR EXTERNO: \_\_\_\_\_  
Dr. Javier Cruz Hernández

ASESOR EXTERNO: \_\_\_\_\_  
Dr. Enrique Sánchez Mora

REVISOR EXTERNO: \_\_\_\_\_  
Dr. Javier Martínez Juárez

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

Agradezco al CONACyT por el otorgamiento de la beca de manutención.

Al Colegio de Postgraduados Campus Puebla por abrirme las puertas de sus laboratorios e invernadero durante la pandemia para poder desarrollar este trabajo.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillos por la colaboración para la realización de los análisis de metales pesados.

A mis asesores de tesis y cada uno de los profesores, porque cada uno de ellos sabe todo el esfuerzo, dedicación y paciencia brindada, por compartir sus conocimientos para poder cumplir esta meta, por guiarme en el camino. Por inspirarme, sólo puedo decir gracias.

En general agradezco al personal del Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas de la BUAP por brindarme las facilidades para la realización de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

Dios, gracias por permitirme vivir esta experiencia y todo lo que en me has permitido vivir y aprender.

Papá y Mamá, gracias por ser mi pilar y enseñarme a cómo disfrutar de la vida y motivarme, enseñarme de amor y apoyo incondicional simplemente les puedo decir gracias por estar conmigo siempre, los amo con todo mi corazón.

A mis bellas hermanas que nunca faltó ánimo para motivarme a continuar.

A cada persona que estuvo conmigo inspirándome.

Gracias.

## ÍNDICE GENERAL

ABSTRACT .....	2
CAPITULO I .....	3
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	3
CAPÍTULO II .....	5
2.1 Planteamiento del problema.....	5
CAPITULO III .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 Sistema .....	7
3.2 Agroecosistemas.....	7
3.3 Agroecosistemas de producción convencional.....	8
3.4 Agroecosistemas agroecológicos.....	8
3.5 Parámetros ecotoxicológicos.....	9
3.6 Fitotoxicidad .....	10
3.7 Metales pesados .....	11
3.8 Cebolla blanca ( <i>Allium cepa</i> L.).....	11
3.9 Legislación aplicable a la inocuidad agrícola .....	12
CAPÍTULO IV .....	14
JUSTIFICACIÓN .....	14
CAPITULO V .....	15
OBJETIVOS .....	15
5.1 Objetivo general .....	15
5.2 Objetivos específicos .....	15
HIPÓTESIS .....	16
5.3. Hipótesis general.....	16
5.4. Hipótesis específicas.....	16
CAPÍTULO VI .....	17
MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
6.1 Área de estudio .....	17
6.2.1. Sistema bosque.....	18
6.2.2. Sistema orgánico.....	18
6.2.3. Sistema convencional de cebolla .....	19
6.3 Análisis físico y químico de las muestras de suelo de los tres sistemas en estudio.....	21

6.3.1 pH.....	21
6.3.2 Conductividad eléctrica .....	21
6.3.3 Nitrógeno total .....	21
6.3.4 Nitrógeno total .....	22
6.3.5 Materia orgánica.....	22
6.3.6 Determinación de fosfato .....	22
6.3.7 Nitratos .....	23
6.3.8 Determinación de metales pesados en suelo.....	23
6.4 Análisis físico y químico de agua .....	24
6.5 Análisis físicos y químicos de los extractos obtenidos a partir del bioensayo de lixiviados.....	25
6.6.1 Bioensayo de lixiviados o escurrimientos en muestras de suelo de los tres sistemas de producción tratados con y sin gallinaza.....	25
6.7 Estimaciones de crecimiento y rendimiento de cebolla cultivada en suelos tratados sin y con gallinaza .....	28
6.8 Parámetros ecotoxicológicos evaluados a suelo, agua y lixiviados.....	28
6.9 Colonización de micorrizas en raíces de cebolla obtenidas a partir del bioensayo de lixiviados .....	28
6.9.2 Bacterias fijadoras de nitrógeno en suelos obtenidos a partir del bioensayo de lixiviados.....	29
6.9.3 Índices de fitotoxicidad obtenidos a partir de los lixiviados.....	29
6.9.4 Abundancia de arvenses como parámetro de ecotoxicidad por efecto de la aplicación de gallinaza .....	31
6.10 Análisis estadístico de la información.....	32
CAPÍTULO VII .....	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
7.1 Estudio sobre la percepción de los productores en el sistema de producción de cebolla en Santa Isabel Cholula .....	33
7.2 Análisis físicos y químicos del agua de los tres sitios de .....	40
7.3 Análisis físicos y químicos del agua de los tres sitios de estudio .....	42
7.3.2. Metales pesados en agua de los tres sistemas evaluados.....	43
7.4 Estimaciones de crecimiento y rendimiento de cebolla cultivada en suelos tratados sin y con gallinaza .....	45
7.5 Metales pesados en cebolla durante el experimento bajo condiciones de invernadero .....	48
7.6 Parámetros ecotoxicológicos del suelo de los tres sitios de estudio .....	49
8 parámetros ecotoxicológicos de bioensayo de lixiviados .....	52

8.1 Índices de fitotoxicidad obtenidos a partir de los lixiviados.....	52
8.2 Colonización de micorrizas en raíces de cebolla obtenida a partir del bioensayo de lixiviados.....	53
8.3 Abundancia de arvenses como parámetro de ecotoxicidad por efecto de la aplicación de gallinaza .....	55
CAPÍTULO VIII.....	56
LITERATURA CITADA.....	58
ANEXOS .....	70

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos del bioensayo para obtener lixiviados durante el periodo de cultivo de la cebolla en invernadero, en suelo sin y con gallinaza de los tres sistemas de producción.....	26
Cuadro 2. Características químicas de la gallinaza utilizada en el experimento....	27
Cuadro 3. Características fisicoquímicas de la gallinaza utilizada en el experimento.....	27
Cuadro 4. Características ecotoxicológicas de la gallinaza .....	27
Cuadro 5. Metales pesados detectados en la gallinaza .....	27
Cuadro 6. Ingredientes activos más utilizados en la producción de cebolla blanca.	35
Cuadro 8. Evaluación fisicoquímica de las características de los suelos .....	40
Cuadro 9. Características fisicoquímicas de los suelos evaluados.....	40
Cuadro 10. Contenido de elementos en los tres suelos de estudio. ....	41
Cuadro 11. Parámetros fisicoquímicos del agua de uso agrícola en los agroecosistemas estudiados .....	42
Cuadro 12 . Metales pesados en agua. ....	43
Cuadro 13. Variables fisicoquímicas en lixiviados del suelo.....	44
Cuadro 15. Parámetros físicos obtenidos durante la cosecha de cebolla.....	47
Cuadro 16. Metales pesados detectados en cebolla .....	48
Cuadro 17. Parámetros ecotoxicológicos evaluados en el suelo recolectados.....	50
Cuadro 18. Parámetros ecotoxicológicos de los lixiviados.....	52
Cuadro 19. Diversidad de arvenses y índice de Shannon en los suelos con y sin gallinaza.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla...	17
Figura 2. Parcela del sistema de bosque seleccionado en el municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla.....	18
Figura 3. Parcela del sistema orgánico seleccionado en el municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla.....	19
Figura 4. Parcela del sistema convencional de cebolla seleccionado en Santa Isabel Cholula, Puebla.....	20
Figura 5. Determinación de nitratos en espectrofotómetro Hanna modelo HI83325 525 nm .....	23
Figura 6. Determinación de elementos en suelo, plantas y agua. ....	24
Figura 7. Bioensayo para el estudio de lixiviados en suelo tratado sin y con gallinaza de los tres sistemas de producción. ....	26
Figura 8. Fitotoxicidad en placas usando como indicador a ( <i>Raphanus sativus</i> L.) .....	31
Figura 9. Bioensayo para el estudio de lixiviados en suelo tratado sin y con gallinaza de los tres sistemas de producción.....	32
Figura 10. Cultivos de mayor interés económico en Santa Isabel Cholula.....	33
Figura 11. Países de origen de las semillas utilizadas. ....	34
Figura 12. Origen de la gallinaza empleada en el ejido de Santa Isabel Cholula.	36
Figura 13. Clasificación de intoxicaciones con base en los criterios de SINTOX.	37
Figura 14. Percepción por parte de los productores acerca de la fijación de los contaminantes presentes en el ejido de santa Isabel cholula.....	38
Figura 15. Tasa de crecimiento de cebolla blanca variedad Carta blanca, bajo condiciones de invernadero recopilación de datos cada semana durante 12 semanas. Siendo T1 tratamiento y así en sucesión.....	46
Figura 16. Raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares observada a 100x (a) en suelo bosque y bosque más gallinaza(b).	53
Figura 17. Raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares observada a 100x (c) suelo orgánico y suelo orgánico más gallinaza (d). Muestra las raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares la imagen del lado derecho muestra las raíces de suelo del sistema orgánico y la izquierda muestra raíces de sistema orgánico más gallinaza .....	54
Figura 18. Raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares observada a 100x (e) suelo convencional y suelo convencional más gallinaza (f). ....	54

## RESUMEN

Los efectos de los insumos en la producción de alimentos pueden generar diferentes cambios en parámetros ecotoxicológicos tanto en el agua como en el suelo, dependiendo del manejo agronómico o sistema de producción utilizado. Los objetivos del presente trabajo fueron, en primer lugar estimar la percepción que tienen los productores acerca de la posible contaminación provocada por el cultivo de cebolla, y en segundo lugar, determinar la presencia y el contenido de metales pesados, nitratos y fosfatos, en suelo, agua y planta de tres diferentes sistemas de producción, como indicadores ecotoxicológicos en un sistema orgánico y uno convencional de cebolla blanca (*Allium cepa L.*), en comparación con un sistema no cultivado en el municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla, México, analizando al cultivo de la cebolla blanca, por ser el cultivo de mayor interés económico en la zona y en el municipio. El estudio social permitió conocer la perspectiva de los agricultores, donde el 48% de los entrevistados mencionaron que los contaminantes tienden a quedar en el suelo y en el agua. Según el ejercicio de memoria colectiva, los productores detectaron que algo está sucediendo en sus terrenos porque sus rendimientos han bajado y las plagas han aumentado. En el estudio de los sistemas de producción, las pruebas ecotoxicológicas permitieron conocer que el suelo sin cultivo no presentó fitotoxicidad en el agua y el suelo, mientras que el suelo del sistema orgánico manifestó toxicidad ligera y en el convencional alcanzó una toxicidad moderada, pero el agua usada en este sistema superó los límites establecidos en el contenido de nitratos y fosfatos, con presencia de metales pesados que pueden afectar la calidad de la cebolla producida.

**Palabras clave:** Ecotoxicológicos, fosfatos, nitratos, fitotoxicidad, metales pesados

## ABSTRACT

The effects of inputs in food production can generate different changes in ecotoxicological parameters in both water and soil, depending on the agronomic management or production system used. The objectives of this work were, firstly, to estimate the perception that producers have about the possible contamination caused by onion cultivation, and secondly, to determine the presence and content of heavy metals, nitrates and phosphates, in soil, water and plant of three different production systems, as ecotoxicological indicators in an organic system and a conventional one of white onion (*Allium cepa L*), compared with a non-cultivated system in the municipality of Santa Isabel Cholula, Puebla, Mexico, analyzing to the cultivation of white onion, as it is the crop of greatest economic interest in the area and in the municipality. The social study allowed to know the perspective of the farmers, where 48% of the interviewees mentioned that the pollutants tend to remain in the soil and in the water. According to the collective memory exercise, the producers detected that something is happening on their land because their yields have dropped and pests have increased. In the study of the production systems, the ecotoxicological tests allowed to know that the soil without cultivation did not present phytotoxicity in the water and the soil, while the soil of the organic system showed slight toxicity and in the conventional one it reached a moderate toxicity, but the water used in this system exceeded the limits established in the content of nitrates and phosphates, with the presence of heavy metals that can affect the quality of the onion produced.

**Key words:** Ecotoxicological, phosphates, nitrates, phytotoxicity, heavy metals.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Producir alimentos sanos es un gran reto que se presenta en las áreas de cultivo, siendo la agricultura la base para el desarrollo de cualquier sociedad debido a que, además de cubrir sus necesidades básicas de alimentación también es pieza clave para la industrialización (FAO, 2021); sin embargo, el incremento de la población ha provocado una mayor demanda de alimentos y de forma intensiva se ha buscado obtener mayores rendimientos en menores tiempos y espacios. Estos aspectos hoy en día se volvieron necesarios y primordiales en la producción agrícola, dando origen a la revolución verde, la cual ha logrado elevar la producción a través del uso de semillas mejoradas, fertilizantes, plaguicidas y maquinaria, pero que ha traído como consecuencia que a corto y largo plazos se presenten efectos negativos en los agroecosistemas, provocando, entre otros efectos, la pérdida de biodiversidad, contaminación de suelos y aguas (Landeros *et al.*, 2015), además de ello, ha hecho dependiente a los agricultores de estos insumos afectando su economía y la salud de las comunidades rurales y de los consumidores urbanos.

Hoy en día sabemos que las principales fuentes de contaminación de los agroecosistemas son antropogénicas, lo que resulta en la acumulación de contaminantes en el suelo que pueden alcanzar niveles preocupantes (Cachada *et al.*, 2018).

Así, el uso cotidiano de fertilizantes y plaguicidas contribuye a la crisis de la agricultura y dificulta la preservación de los ecosistemas y de los recursos naturales. Del Puerto *et al.* (2014) señalan que estas actividades han dejado un saldo de contaminación y envenenamiento donde el pretendido remedio universal ha resultado ser peor que la enfermedad.

Estudiar los efectos contaminantes y la dinámica de estos productos en la agricultura es fundamental para evitar más contaminación al medio ambiente y afectación de la salud de los consumidores. A la fecha, se requieren más estudios para conocer los efectos que provocan los residuos de los agroquímicos utilizados en la agricultura, sobre el ambiente y la salud humana, por cuanto cada vez se

integran nuevos productos, enfermedades y productos que no existían hace un siglo (Forman *et al.*, 2012).

Es aquí donde la Ecotoxicología como ciencia, busca esclarecer el origen, consecuencias y los efectos residuales que provoca la polución de dichos contaminantes. Respecto al origen de los contaminantes provenientes de los insumos agrícolas, se pueden considerar dos fuentes principales: naturales e intencionales, aunque en algunos casos pueden pertenecer a ambas categorías (Capo-Martini, 2007).

Los contaminantes naturales en la agricultura son aquellos que se encuentran de manera natural en el agroecosistema, como la microbiología nativa. Los contaminantes intencionales son sustancias ajenas al agroecosistema, agregadas para la producción en cantidades conocidas, para lograr un fin particular en la agricultura. Entre éstos se encuentran comúnmente los plaguicidas que se utilizan para controlar plagas o enfermedades y estos a la vez, generan residuos. En cuanto a fertilización, también se generan contaminantes como nitratos y fosfatos, hormonas, antibióticos y metales pesados, dependiendo del tipo de insumo utilizado, ya sea orgánico o fertilizantes inorgánicos, así como por la cantidad aplicada a los cultivos (Reyes Sánchez *et al.*, 2021). Por lo tanto, todos los insumos agrícolas no son absolutamente inocuos, sino potencialmente tóxicos para los agroecosistemas y la salud de los consumidores, sea por sus contenidos o forma de uso, lo que ha generado una gran controversia entre investigadores (Valle, 2020).

## CAPÍTULO II

### 2.1 Planteamiento del problema.

Los contaminantes pueden abandonar el medio en el que se encuentran por medio de la volatilización, disolución, lixiviado o erosión y pueden ser bio-asimilables. La biodisponibilidad de un elemento o compuesto, de fuentes potencial de contaminación, porque puede ser bio-asimilables por los organismos dependen de una serie de factores intrínsecos y extrínsecos como pueden ser: desde el ambiente en que están disponibles y las condiciones de éstos (Newman & Jagoe, 1994). Los efectos de los contaminantes suelen ser negativos para el ambiente, especialmente por los organismos presentes, así, la absorción o ingestión de contaminantes por los organismos depende de la concentración de estas sustancias y pueden ser acumulados (bioacumulación) hasta tres, cuatro o cinco órdenes de magnitud mayores que la concentración en el medio donde el organismo se encuentra (Galán & Romero, 2008). La contaminación difusa, que es la que se da por medio de sustancias tóxicas, puede ser de origen desconocido y difícil de rastrear, siendo la agricultura la principal causa. En gran medida, la contaminación difusa puede deberse a malas prácticas agrícolas o la implementación del carácter industrial de la producción, mediante el uso excesivo de fertilizantes, estiércoles, plaguicidas y diversos insumos agrícolas (FOA 2018). En la comunidad de Santa Isabel Cholula Puebla, se estima que más del 75% de la población se dedica a la agricultura convencional, su principal cultivo es la cebolla blanca (*Allium cepa* L.), cuyos requerimientos de nitrógeno son altos, es por ello que los agricultores se ven en la necesidad de aplicar diversos fertilizantes nitrogenados y además, gallinaza en una dosis de hasta 22 toneladas por hectárea por año, con lo que puede estar generando contaminación de los suelos y agua, por nitratos, fosfatos y metales pesados, y posiblemente también a la cebolla producida.

Por lo que, en la presente investigación se plantearon los problemas siguientes: Los productores de cebolla en Santa Isabel Cholula, Puebla ¿Saben del posible efecto residual que tiene el uso de la gallinaza y el posible impacto que se está generando en el agua y suelo de cultivo? ¿Son diferentes los efectos ecotoxicológicos en los agroecosistemas evaluados? ¿Cuáles agroecosistemas tienen un mayor efecto ecotoxicológico?

## **CAPITULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Sistema**

Un sistema es aquello que incorpora los principios de las disciplinas científicas tradicionales para resolver problemas complejos; utilizando los isomorfismos o paralelismos de una ciencia para aplicarlos a las áreas de producción de alimentos (Bertalanffy,1976) las cuales, son como un sistema abierto que tiene relación permanente con su entorno, mediante el intercambio de energía, materia, información e interacción constante entre el sistema y el ambiente, por lo que el agroecosistema presenta estructura, componentes, límites, función e interacción entre componentes, entradas (inputs), salidas (outputs) y una retroalimentación; todo ello funcionando en un proceso sinérgico para lograr un objetivo definido (Hart, 1975).

El espacio cultivado contiene suelo, agua, aire, organismos (plantas y animales) de diversos tipos y tamaños, seres humanos y energía, que, con su estructura y dinámica, funciona como un sistema complejo, digno de ser abordado como un espacio en donde se hace agricultura, utilizando componentes ecológicos y que requieren la aplicación de un pensamiento ecológico para desarrollarse acorde a la naturaleza.

#### **3.2 Agroecosistemas**

Los agroecosistemas son ubicados en el medio natural, en donde el hombre desarrolla la actividad compleja de la agricultura, bajo condiciones que no sean perjudiciales al ambiente, es decir que contemple los conceptos ecológicos en sus actividades (Sarandón, 2002). En la actualidad, los agroecosistemas están intervenidos hacia efectos de perturbación mayores, hasta integrarlos en un marco de agricultura convencional, cuyos efectos se han discutido ampliamente por la sociedad (Shiva, 2020).

En los últimos tiempos se ha estado luchando para integrarlos a procesos de conversión más ecológica que permita una producción de alimentos más naturales. En el proceso de conversión de agroecosistema a agricultura convencional se han ido integrando procesos de aplicación consciente de diversos productos, Normalmente existe la posibilidad de aplicaciones inconscientes de otros productos que producen otros efectos indeseados, que hoy se reconocen como contaminantes del suelo, del agua, de los animales, de las plantas y de los alimentos producidos en esos espacios de acuerdo con CDB (2008).

### **3.3 Agroecosistemas de producción convencional**

**En la actualidad, los agroecosistemas están intervenidos hacia efectos de perturbación mayores, hasta integrarlos en un marco de agricultura convencional, cuyos efectos se han discutido ampliamente por la sociedad (Shiva, 2020). En la que los sistemas de producción, generalmente en monocultivo, en el que se emplean diferentes agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, semillas mejoradas, y para la fertilización emplean generalmente estiércoles de origen industrial y diversos fertilizantes, a los cuales llamaron paquetes tecnológicos, y en México surge a partir de la revolución verde dada en 1960 con la finalidad de poder incrementar los rendimientos productivos (Schwentesiú *et al*, 2021).**

### **3.4 Agroecosistemas agroecológicos**

Son sistema de producción holísticos en los que se fomenta y mejora la salud del agroecosistema, la biodiversidad, la actividad biológica del suelo, mediante el empleo de métodos culturales, y se prohíbe el uso de agroquímicos de origen sintético (Cevallos *et al.*, 2019). Los sistemas orgánicos en México se caracterizan por ser sistema de producción diversos en que generalmente usan compostas y estiércoles como complemento a la fertilidad del suelo, para el control de plagas generalmente se preparan bio-remedios a base de extractos de plantas, control biológico se basan en los Lineamientos para la Operación Orgánica de las actividades agropecuarias; tienden a ser sistemas evaluados por organismos de

certificación ya sean instituciones privadas u organismos reconocidos por el SENASICA como lo son los tianguis alternativos que han sido reconocidos por las autoridades correspondientes ( LOOA, 2013). Los sistemas agroecológicos son sistemas de producción funcionales en los que se produce desde hortalizas, frutales, granos básicos y animales domésticos. Estos sistemas suelen ser altamente sostenibles, aprovechan sus propios recursos, utilizan estiércoles y compostas para poder ayudar a la fertilización del suelo en el control de plagas utilizan bio-remedios a base de extractos de plantas, control biológico, etc., también se basan en el aprovechamiento o incorporación de saberes ancestrales, y los productos obtenidos de estos sistemas generalmente se comercializan de manera local (Schwab *et al.*, 2021)

### **3.5 Parámetros ecotoxicológicos**

De acuerdo con la RAE (2020), los parámetros ecotoxicológicos, son las características medibles de una cierta población, son datos o factores que se toman como necesarios para analizar o valorar una situación a sus valores propios que los describen Sykora *et al.* (2021) definen como parámetros los valores obtenidos de las muestras, mediante los análisis empleados. En el concepto de la ecotoxicología, son rangos los que se emplean para evaluar el grado de afectación y/o acumulación de una sustancia ajena al medio donde se encuentra. La ecotoxicología es definida como "la ciencia que estudia la contaminación, su origen, evolución e interacciones con las moléculas que integran dinámicamente los ecosistemas, sus acciones y efectos sobre los organismos en el ecosistema, así mismo, se encarga de la evaluación, profilaxis biológica o socioeconómica" (Capó, 2002). A través de parámetros ecotoxicológicos, el estudio de la contaminación se aborda en forma de toxicidad, alteración de especies, reducción de una determinada productividad, aunque no siempre un contaminante se comporta como un tóxico neto, sino que puede suponer la creación de un nivel indeseable en este medio (Sanz,1974). Los contaminantes pueden ser de diversos orígenes y estar presentes en los agroecosistemas; mediante pruebas de toxicidad se han evaluado contaminantes estimando el grado de afectación de los metabolitos tóxicos, con el que se mide o

monitorea la ecotoxicidad en diversos sistemas, destacando tres componentes: el contaminante, el medio ambiente y el organismo vivo (Nürnberg, 1985).

### **3.6 Fitotoxicidad**

La creciente población y la demanda de alimentos han generado el uso de sustancias ajenas a la tierra coadyuvando con ello a acumulación de contaminantes en el ambiente, tanto en el agua como en el suelo y la atmósfera. El monitoreo de la calidad del agua y de los suelos han permitido desarrollar métodos muy precisos, así como métodos alternativos con indicadores, entre otros empleando técnicas con plantas sensibles o indicadoras, en las cuales se reflejan los efectos fitotóxicos en la germinación de las semillas, y se han propuesto los índices de germinación, índices de germinación normalizado e índices de elongación radicular normalizado (Pernia *et al.*, 2018). Dichas pruebas han demostrado ser eficientes para detectar la presencia de contaminantes, como las sustancias derivadas del nitrógeno (nitratos), fósforo, metales pesados y otras sustancias que inhiben o alteran el crecimiento aéreo o radicular de las plantas (Rodríguez *et al.*, 2014; Chancay *et al.*, 2021).

Dentro de estas actividades antropogénicas, la acumulación de nitratos se debe a distintas fuentes, según Camargo y Alonso (2006) se ha clasificado la contaminación por nitratos en fuentes puntuales, las cuales son: residuos y vertidos de granjas de animales, piscifactorías continentales y centros de acuicultura marina, y escorrentía e infiltración en basureros; y como fuentes difusas: escorrentía e infiltración en campos de cultivo, escorrentía e infiltración en praderas y bosques quemados, y emisiones a la atmósfera provenientes del uso de combustibles fósiles y fertilizantes, además de la posterior disposición atmosférica sobre las aguas superficiales.

El consumo de agua, con una concentración alta de nitratos, tiene efectos nocivos sobre la salud humana, porque los nitratos ingeridos son transformados en nitritos en el sistema digestivo convirtiendo la hemoglobina en metahemoglobina, ésta tiende a inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, sí puede llegar a provocar la muerte,

especialmente en niños (“síndrome del bebé azul”). También los nitratos pueden, transformarse en nitrosaminas, compuestos potencialmente cancerígenos (Remtavares,2006).

### **3.7 Metales pesados**

Los metales pesados son elementos cuya densidad es mayor a  $4 \text{ g cm}^{-3}$ , con la capacidad de reemplazar o desplazar a otros elementos, e inhibir el funcionamiento fisiológico, lo cual repercute directamente en la nutrición de los cultivos (Mendoza *et al.*, 2021). Los metales pesados se encuentran de manera natural distribuidos en el planeta. La contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire, plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local, debido a que los metales pesados presentan una alta resistencia al medio ambiente, por lo cual generan una bioacumulación en los organismos (Calva -Torres, 2003). Los suelos agrícolas monitoreados en México han presentado metales pesados, ligados directamente con el uso de plaguicidas y fertilizantes; Alloway (2013) identificó que los metales pesados están directamente relacionados con fuentes específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), plaguicidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn), compuestos derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y del estiércol proveniente de Agroindustrias (Cu, As, Zn). Por su parte, Laegreid *et al.* (1999), plantean que los fertilizantes fosforados son una fuente de Cd, debido a los contenidos en la apatita, cuyas concentraciones están entre 8 y 500 mg/kg.

### **3.8 Cebolla blanca (*Allium cepa* L.)**

El origen primario de la cebolla se localiza en Asia central, y como centro secundario el Mediterráneo. La cebolla blanca es la segunda hortaliza mas sembrada en el mundo después del tomate, con una producción aproximada de 93.17 toneladas métricas, China ocupa el primer productor a nivel mundial India el segundo, Estados Unidos el tercer productor (worldatlas, 2021) y México el cuarto tan sólo en 2019, en México alcanzó los 1.5 millones de toneladas métricas, siendo esta la base para la comida mexicana; Puebla es el cuarto productor mayor a nivel nacional (SIAP, 2020)

con datos de INIFAP (2011), la clasificación taxonomica de la cebolla blanca es: Reino Plantae, Filum: Magnoliophyta, Clase: Magnolisoda, Familia: Alliceae, Orden: Asparagales, Genero: *Allium*, Especie: *cepa*

### **3. 9 Legislación aplicable a la inocuidad agrícola**

En México el servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria (SENASICA), a través de la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera (DGIAAP), en el año 2001 empezó la promoción de introducir sistemas en donde los productores pudieran adoptar prácticas que permitieran mejorar la infraestructura de las unidades de producción y con ello, adoptar buenas prácticas en el manejo y manufactura de los alimentos de consumo en fresco y dio origen al sistema de certificación voluntario “Sistema de reducción de riesgos de contaminación”, en el que a través de Análisis de peligros se establecen las fases de producción donde existan riesgos de contaminación, ya sea química: residuos de agroquímicos, metales pesados, aceites o lubricantes; física: basuras, partículas de vidrio, metal, tierra, madera; y microbiológicos: bacterias patógenas, parásitos y virus, donde se tiene que demostrar que se aplican medidas preventivas y se evita cualquier tipo de contaminación (SRRC, 2021). En el acuerdo por el que se dan a conocer las reglas de operación del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria para el ejercicio 2021 de la secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en el anexo técnico número 1 se menciona que todos los alimentos producidos en el territorio nacional deben ser libres de contaminantes químicos, físicos y microbiológicos; sin embargo, no se han contemplado las bases para establecer límites permisibles de metales pesados en vegetales, sólo se tienen límites máximos permisibles de agroquímicos, criterios microbiológicos de los productos vegetales y para la calidad del agua para uso agrícola. Para ello, se tienen las especificaciones que establece la norma NOM-127-SSA-1994, con los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano. En cuanto a los límites permisibles para metales pesados establece que se debe cumplir con lo establecido por SEMARNAT quien se encarga del monitoreo de los suelos agrícolas y han establecido límites permisibles para

arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio en la NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

## CAPÍTULO IV

### JUSTIFICACIÓN

La producción agrícola tiene profundos efectos en el medio ambiente. Cuando se utilizan insumos agroquímicos, éstos se convierten en la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas (FAO, 2015). Los estiércoles de aves de corral gallinaza han presentado concentraciones elevadas de metales pesados como plomo (Pb) cadmio (Cd), cobre (Cu) zinc (Zn) y mercurio (Hg) (Delgado, 2014).

En Santa Isabel Cholula se considera que el 75% de las áreas cultivadas están dedicadas a la producción de hortalizas bajo métodos convencionales, utilizando diversos agroquímicos para controlar plagas o enfermedades; además de una fertilización basada en el uso de gallinaza y fertilizantes nitrogenados, por lo que se deduce que se está alterando el medio de manera constante, además se podría estar afectando la salud de los pobladores y posiblemente de los consumidores. Por lo que se plantea la pregunta ¿Qué tanto altera esta forma de agricultura con sus residuos en el cultivo de cebolla en Santa Isabel Cholula Puebla? ¿Desde cuándo se viene alterando mediante este mecanismo de producción?

De acuerdo con Schwentesius *et al.* (2021), los sistemas agroecológicos y orgánicos tienen menores impactos en el ambiente, debido a que generan menores cantidades de residuos, además de un manejo más adecuado de los nutrientes, ya que existe un reciclaje de estos, previniendo la eutroficación y se evita la acumulación de metales pesados y se promueve el uso de compuestos vegetales y agentes entomopatógenos para el control de plagas. En el presente estudio se busca determinar el grado de ecotoxicidad, la residualidad en el suelo, agua y la cebolla blanca cosechada, aplicando técnicas analíticas de espectrofotometría, determinación de metales pesados por difracción de rayos X y mediante el uso de bioensayos de fitotoxicidad, con el fin de conocer los efectos en el suelo, agua y planta en las áreas de cultivo de cebolla, tomando en cuenta la apreciación de este problema por parte de los productores.

## CAPITULO V

### OBJETIVOS

#### 5.1 Objetivo general

Estimar la percepción de los productores acerca de la posible contaminación en las áreas de cultivo de cebolla (*Allium cepa L*) y el grado de contaminación por metales pesados, nitratos y fosfatos, en suelo, agua y planta, estimados como parámetros ecotoxicológicos de dos sistemas de producción de la cebolla blanca (*Allium cepa L.*) en comparación con las características del suelo y agua de un sistema de bosque en el ejido de Santa Isabel Cholula, Puebla.

#### 5.2 Objetivos específicos

- Analizar la percepción que tienen los agricultores sobre los efectos por el uso de gallinaza en la contaminación y el estado de inocuidad de la cebolla (*Allium cepa L.*) producida en sus parcelas.
- Determinar la presencia y la concentración de metales pesados, fosfatos y nitratos en el suelo, agua y plantas, en un sistema orgánico y convencional de producción de cebolla blanca, en comparación con los niveles observados en el agua y suelo de un sistema de bosque.
- Determinar el nivel de ecotoxicidad del agua, suelo y lixiviados de suelo tratado (sin y con gallinaza), de un sistema orgánico y convencional de cebolla, en comparación con el nivel de ecotoxicidad de esos componentes de un sistema de bosque.

## HIPÓTESIS

### 5.3. Hipótesis general

La producción convencional de cebolla blanca (*Allium cepa* L.) en el ejido Santa Isabel Cholula, provoca contaminación del suelo, agua y plantas, con nitratos, fosfatos y metales pesados, y se detecta con niveles altos de ecotoxicidad en especies indicadoras, se utilizan fertilizantes químicos y gallinaza en su producción, y esa contaminación es percibida por los productores de cebolla.

### 5.4. Hipótesis específicas

- Los productores de cebolla saben y perciben la contaminación generada en el sistema de producción del cultivo de la cebolla en Santa Isabel Cholula, Puebla.
- La presencia de metales pesados, nitratos y fosfatos supera los límites establecidos por laNOM-127-SSA1-1994, en el sistema convencional que utiliza fertilizantes químicos y gallinaza como fuente de nutrientes en la producción de cebolla blanca.
- El agua para riego, el suelo, y suelo tratado sin y con gallinaza presentan alta ecotoxicidad en el sistema convencional en comparación con el sistema orgánico y el sistema de bosque, medida a partir de variables de fitotoxicidad con especies indicadoras.

## CAPÍTULO VI

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 6.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en dos terrenos o sistemas de producción cultivados con cebolla y en un sistema bosque con vegetación secundaria, ubicado dentro del municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla, en el ejido que lleva el mismo nombre (figura 1). El municipio se ubica entre las coordenadas geográficas: 18° 56' 36" N y 19° 00' 30" O; a una altitud promedio de 2,100 msnm; con una temperatura promedio mínima de 12 °C y máxima de 26 °C (INEGI, 2010).

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, este municipio tiene una población total de 8,040 habitantes: 3,853 hombres y 4,187 mujeres.

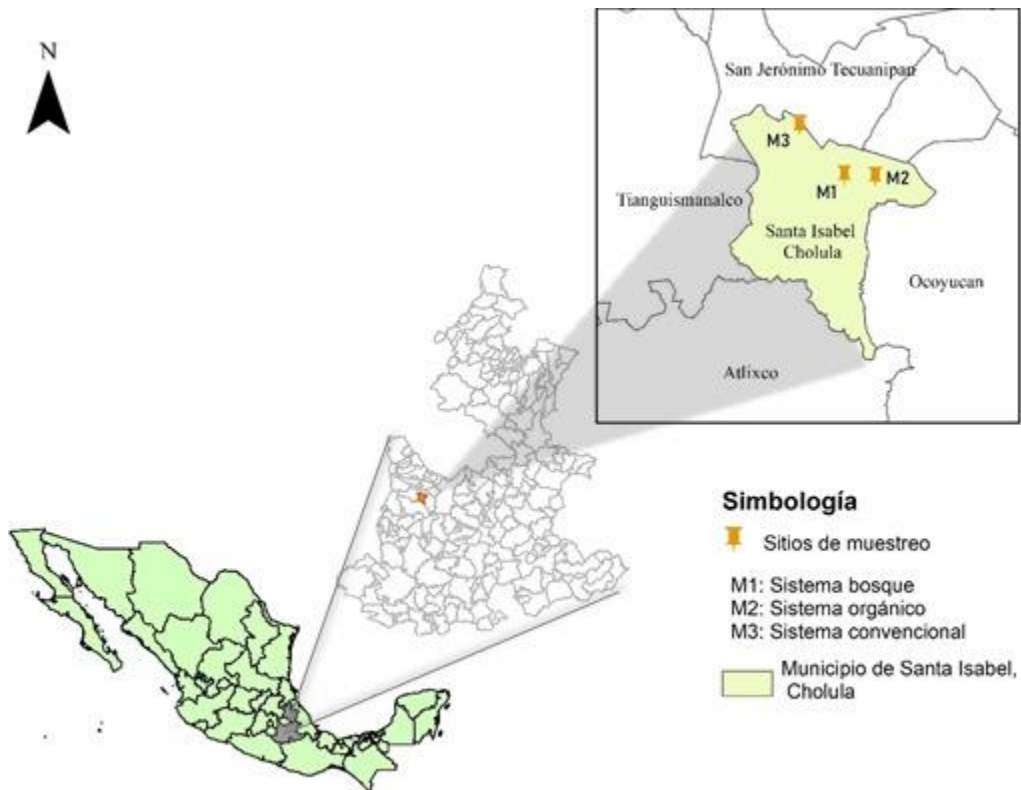


Figura 1. Mapa de localización del municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla.

### **6.2.1. Sistema bosque**

Se ubica en  $19^{\circ} 0'4.66''N$  y  $98^{\circ}22'25.09''O$ , el cual cuenta con arbustos nativos como tronadora, cacaxtla, cuetillo y árboles como cazahuates, crucetillos y fresnos, la superficie total es de aproximadamente tres hectáreas (figura 2). A escasos 25 metros de distancia se encuentra un pozo de agua con una profundidad de 35 metros. Del área no cultivada o de bosque y del pozo se tomaron las muestras de suelo y agua para sus análisis fisicoquímicos.



Figura 2. Parcela del sistema de bosque seleccionado en el municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla.

### **6.2.2. Sistema orgánico**

Se reconoce como tal por cuanto se rige por los lineamientos de operación orgánica, establecidos por el SENASICA. Se ubica en las coordenadas geográficas:  $18^{\circ}59'53.27''N$  y  $98^{\circ}22'19.90''O$ , con una superficie total de 0.5 hectáreas con diversos cultivos todo el año, como frutales, verduras y algunos granos básicos; cuenta con un sistema de riego por goteo, alimentado por un pozo de agua de una

profundidad de 30 metros (Figura 3). De este sistema se recolectaron muestras de suelo, agua y cebollas para su análisis respectivo.



Figura 3. Parcela del sistema orgánico seleccionado en el municipio de Santa Isabel Cholula, Puebla.

### **6.2.3. Sistema convencional de cebolla**

El sistema se ubica en las coordenadas:  $19^{\circ}1'8.21''N$  y  $98^{\circ}22'53.26''O$ . En esta parcela generalmente se siembra cebolla, cilantro y rábano, con un sistema de riego por aspersión alimentado por un pozo de una profundidad de 178 metros. De este sistema, se recolectaron muestras de suelo, agua y cebollas para su análisis (Figura 4)



Figura 4. Parcela del sistema convencional de cebolla seleccionado en Santa Isabel Cholula, Puebla.

Los sistemas estudiados presentan suelos franco-arenosos y arenosos con bajo contenido de materia orgánica, denominado Arenosoles (INEGI, 2017). Los muestreos de agua, suelo y cebolla se realizaron durante los meses de octubre del 2020 a abril del 2021, realizando los muestreos cada tres meses en los sitios seleccionados y en las fechas ya indicadas.

Las tomas de muestra se realizaron con base a los procedimientos que marca la NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Para recolectar las muestras de agua, se utilizaron frascos de polietileno de alta densidad, de 1000 mL de capacidad. Para las tomas de muestras de suelo y cebolla se aplicaron los procedimientos que establece el manual de toma de muestras del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) en su edición 2015.

Las muestras colectadas se llevaron al laboratorio del Colegio de Postgraduados Campus Puebla para su análisis.

### **6.3 Análisis físico y químico de las muestras de suelo de los tres sistemas en estudio**

Con el fin de evaluar la calidad del suelo se realizó la caracterización física y química con base en la estimación por triplicado de las variables de pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, nitrógeno mineral, capacidad de retención de humedad y materia orgánica.

#### **6.3.1 pH**

El pH, es uno de los parámetros de más influencia en los procesos edáficos, en la reactividad del suelo y en la movilidad de los contaminantes. Los procesos de adsorción de metales por el suelo están fuertemente afectados por el pH de este mismo. El efecto en el proceso de biosorción de metales pesados es evaluado considerando la química del ion metálico mediante experimentos discontinuos a temperatura ambiente. Estos a su vez, controlan la concentración de un metal en la disolución del suelo y por tanto su biodisponibilidad y su toxicidad potencial (Sánchez, 2003), esta prueba se realizó con ayuda del equipo Conductronic, PC18.

#### **6.3.2 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica, CE, mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales de ionizarse, que regularmente suelen ser iones de Na y P. La CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo El método utilizado para medir este parámetro fue el establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000 y esta prueba se realizó con la ayuda del equipo Conductronic, PC18.

#### **6.3.3 Nitrógeno total**

Está demostrado que el nitrógeno es el factor más limitado para la producción de lixiviabiles en el suelo, por cuanto es requerido por todos los organismos plantas y animales; pero el exceso de fertilizantes nitrogenados conlleva a una contaminación de los cuerpos de agua con efectos severos en diversos organismos, especialmente

vertebrados. Para su determinación se empleó método Kjeldahl descrito en la NMX-AA-24-198.

#### **6.3.4 Nitrógeno total**

Está demostrado que el nitrógeno es el factor más limitado para la producción de lixiviables en el suelo, por cuanto es requerido por todos los organismos plantas y animales; pero el exceso de fertilizantes nitrogenados conlleva a una contaminación de los cuerpos de agua con efectos severos en diversos organismos, especialmente vertebrados. Para su determinación se empleó método Kjeldahl descrito en la NMX-AA-24-198.

#### **6.3.5 Materia orgánica**

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo que determinan la disponibilidad de los metales pesados. Esto sucede debido a que la materia orgánica tiene la capacidad de retenerlos e inmovilizarlos por tiempo prolongado, por ejemplo, los compuestos húmicos tienen cargas negativas en los grupos carboxilo y fenol que reaccionan con iones de metales pesados formando quelatos. El método utilizado para la determinación de MO fue el Walkley y Black, con base en lo descrito en la NOM-021-SEMARNAT-2000

#### **6.3.6 Determinación de fosfato**

Este método se basa en la reacción del fósforo contenido en la muestra como ortofosfato con el ácido molíbdico para formar el ácido 12-molibdofosfórico según la reacción:  $H_3PO_4 + 12 (NH_4)_2MoO_4 + 21 H^+ \leftrightarrow (NH_4)_3PO_4 \cdot 12 MoO_3 + 21 NH_4^+ + 12 H_2O$ . El ácido 12-molibdofosfórico es reducido por el cloruro de estaño a azul de molibdeno, compuesto de composición desconocida que contiene una mezcla de Mo (VI) y Mo (V), que absorbe a 690 nanómetros(nm) La intensidad del color azul formado depende de la concentración de fosfatos adicionados al heteropoliácido. El método es aplicable cuando el contenido de fósforo en las muestras se encuentra entre las concentraciones de 0.01 mg P/L a 6.0 mg P/L. Todo el fósforo contenido

en la muestra debe estar como ion ortofosfato ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup>. La determinación de fosfatos se realizó con el espectrofotómetro Hanna modelo HI83325 a 525 nm.

### 6.3.7 Nitratos

El principio del método consiste en que los nitratos presentes reaccionan en un medio ácido nitroso que reacciona con la sulfanilamida por una reacción de diazación para formar una sal de diazonio y esta se mide por medio de espectrofotómetro a 525 nm.



Figura 5. Determinación de nitratos en espectrofotómetro Hanna modelo HI83325  
525 nm

### 6.3.8 Determinación de metales pesados en suelo

Para la determinación de metales pesados en muestras de suelo, se utilizó el equipo OXFORD INCA X-act de la línea Instruments NanoAnalysis (OINA) sistema de microanálisis para microscopios electrónicos de barrido (SEM) y transmisión electrónica microscopios (TEM) con aplicaciones de espectroscopia de dispersión de energía (EDS) mediante el Software OINA AZtec. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Microscopia Electrónica del Colegio de Postgraduados Campus Montecillos. La determinación solo se realizó en las muestras de suelos

recolectados de los sitios de muestreo y suelo de los experimentos realizados en los invernaderos

Para el análisis de metales pesados en las muestras de agua se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica Para ello, las muestras se llevaron al Laboratorio de Nutrición del Departamento de Edafología del Colegio de Postgraduados Campus Motecillos.



Figura 6. Determinación de elementos en suelo, plantas y agua.

#### **6.4 Análisis físico y químico de agua**

En las muestras de agua se determinó por triplicado el potencial de hidrogeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE), con el equipo Conductronic PC18, solidos totales con el equipo PAA0726-TDS, porcentaje de sales y capacidad oxido reducción ORP con el equipo Water quality tester P-3, así como la concentración de nitratos y fosfatos con el espectrofotómetro Hanna modelo HI83325 a 525 nanómetros (nm), además de determinar metales pesados dichos métodos de análisis de han descrito previamente en el presente trabajo en la sección 7.3 a 7.9. Los datos obtenidos se compararon con los intervalos establecidos en la norma NOM-127-SSA1-2017.

## **6.5 Análisis físicos y químicos de los extractos obtenidos a partir del bioensayo de lixiviados**

Se determinó por triplicado el potencial de hidrogeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE), así como la concentración de nitratos y fosfatos con el espectrofotómetro Hanna modelo HI83325 a 525 nanómetros (nm) los métodos que se emplearon en lo descrito anteriormente en las secciones 7.2.1, 7.2.2, 7.2.5 y 7.2.6

### **6.6.1 Bioensayo de lixiviados o escurrimientos en muestras de suelo de los tres sistemas de producción tratados con y sin gallinaza.**

Con la finalidad de obtener lixiviados de suelo para poder evaluar la concentración de nitratos, fosfatos y metabolitos fitotóxicos, se diseñó un experimento de bloques completamente al azar con seis tratamientos descritos en la tabla 1. Para ello, el suelo de cada sistema de producción se trató sin y con gallinaza. Cada unidad experimental consistió en una maceta con 2 litros de grava en parte de inferior y 13L de suelo. De cada unidad experimental se colocaron tres repeticiones. Los seis tratamientos consistieron en los tres tipos de suelo tratado sin y con gallinaza (3x2).

La dosis de gallinaza aplicada se obtuvo mediante la aplicación que realizan los agricultores en Santa Isabel Cholula. En cada maceta se sembró cebolla blanca variedad Carta blanca, con 3 repeticiones y 5 subrepeticiones bajo condiciones de invernadero. El experimento se desarrolló del 26 de noviembre del 2020 al 04 de marzo del 2021, durante 84 días en total. Durante el seguimiento del experimento se presentó una temperatura ambiental promedio de  $22.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa del 50 % (Extech instrument RHT10), así como una temperatura promedio en el suelo de  $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$  (geotermómetro).

Durante el desarrollo del experimento, se realizaron tres muestreos a fin de obtener los lixiviados de cada tratamiento el primer muestreo se realizó el 04 de diciembre, el segundo el 04 de febrero y el ultimo el 04 de marzo, después de realizar un riego pesado, con una lámina de 4L de agua filtrada por maceta. Los escurrimientos se colectaron en botellas de vidrio, y en cada lixiviado por tratamiento se midieron por

triplicado las variables de: pH, CE, nitratos, fosfatos y pruebas de fitotoxicidad (como se indican en el subapartado No. 7.2).

Cuadro 1. Tratamientos del bioensayo para obtener lixiviados durante el periodo de cultivo de la cebolla en invernadero, en suelo sin y con gallinaza de los tres sistemas de producción.

<b>Tratamientos</b>
T1: Suelo no cultivado
T2: Suelo no cultivado más gallinaza
T3: Suelo orgánico
T4: Suelo orgánico más gallinaza
T5: Suelo convencional
T6: Suelo convencional más gallinaza



Figura 7. Bioensayo para el estudio de lixiviados en suelo tratado sin y con gallinaza de los tres sistemas de producción.

Cuadro 2. Características químicas de la gallinaza utilizada en el experimento.

Variable		
Densidad aparente	0.50 ± 0.019	mg/L
Densidad real	0.55 ± 0.013	mg/L
Porcentaje de cenizas	0.49 ± 0.00	%
Materia orgánica total	99.50 ± 0.00	%
Carbono total	0.28±0.001	%
Nitrógeno total	45.5±0.344	%
Nitrógeno nítrico	0.28±0.001	%
Carbono oxidable	45.5±0.344	%
Materia orgánica oxidable	63.94±0.070	%

Cuadro 3. Características fisicoquímicas de la gallinaza utilizada en el experimento.

Variable		
pH	8.13 ± 001	H+
Conductividad eléctrica	3.88 ± 0.16	mS/cm
Capacidad de retención de humedad	98.98±0.26	%

Cuadro 4. Características ecotoxicológicas de la gallinaza

Variable		
Porcentaje del Índice de germinación	30.35 ± 0.125	%
Índice de germinación normalizado	- 0.50 ± 0.090	Unidades arbitrarias
Índice de elongación radicular	-0.41 ± 0.107	Unidades arbitrarias

Cuadro 5. Metales pesados detectados en la gallinaza

Gallinaza	Unidades ppm	Hg	Pb	Ni
		2.301	4.145	2.250

Las características fisicoquímicas obtenidas son similares a lo reportado por Pérez *et al.* (2008) en cuanto contenido de materia orgánica oxidable, pH, CE y nitrógeno total.

### **6.7 Estimaciones de crecimiento y rendimiento de cebolla cultivada en suelos tratados sin y con gallinaza**

Sembrado el bulbo y que el tallo llegó a 10 cm se tomaron datos de altura de tallo, cada semana para estimar la tasa de crecimiento inicial durante 12 semanas de todos los tratamientos.

Adicionalmente cuando se cosechó la cebolla se midió diámetro del bulbo, peso, y longitud de tallo con el propósito de conocer en cuál tratamiento se obtuvieron mejores características. Finalmente, se procedieron a picar finamente para posteriormente secarla en estufa modelo 20/300 LSN11 finalmente se pulverizó en un molino de acero inoxidable. Las muestras colectadas se llevaron al laboratorio del Colegio de Postgraduados Campus Motecillos para su análisis, en el laboratorio de fisiología vegetal los métodos utilizados para este análisis han sido descrito previamente en la sección 7.9.

### **6.8 Parámetros ecotoxicológicos evaluados a suelo, agua y lixiviados**

Los parámetros ecotoxicológicos son pruebas que mediante la utilización de organismos nos permiten conocer el grado de alteración que alguna sustancia o agente tiene sobre la condición evaluada para el suelo se analizó colonización de hongos endomicorrízicos en raíz, bacterias fijadoras de nitrógeno, y pruebas de fitotoxicidad, además del aplicar el índice de Shannon y Weaver (1949). Además, para las muestras de agua y los lixiviados se analizaron pruebas de fitotoxicidad.

#### **6.9.1 Colonización de micorrizas en raíces de cebolla obtenidas a partir del bioensayo de lixiviados**

Las comunidades microbianas de endomicorrizas versículo-arbusculares tienen efectos sobre el crecimiento y productividad de los cultivos. Sin embargo, se pueden ver afectadas por diversas prácticas agrícolas que se desarrollen en el ecosistema

a evaluar por lo que empleamos la técnica de tinción de raíces mediante la técnica de clareo-blanqueo, acidificación y tinción de Phillips & Hayman de 1970. Para determinar el porcentaje de colonización total de endomicorrizas, porcentaje de colonización por vesículas y porcentaje de colonización por arbusculos (Ferrera *et al.*, 1993), en el presente estudio se realizó en raíces de cebolla obtenidas del bioensayo para el estudio de lixiviados de los suelos tratado sin y con gallinaza de los tres sistemas de producción.

### **6.9.2 Bacterias fijadoras de nitrógeno en suelos obtenidos a partir del bioensayo de lixiviados**

Las antinobacterias son bacterias fijadoras de nitrógeno cumple un papel sumamente importante en la sostenibilidad de los agroecosistemas las cuales permiten captar el nitrógeno atmosférico y logran la fijación biológica del nitrógeno., La técnica para la cuenta en placa de antinobacterias se realizó mediante el medio Ashby el cual es un medio selectivo que permite desarrollar solo antinobacterias bajo condiciones de 5 días de crecimiento a 28 °C de acuerdo con lo descrito por García (2020). Para ello se usaron las muestras de suelo.

### **6.9.3 Índices de fitotoxicidad obtenidos a partir de los lixiviados**

Esta prueba nos permite conocer diferentes parámetros de fitotoxicidad expuesta por gradientes como metabolitos o sustancia activas toxicas que tiene a tener efectos negativos en los procesos de germinación en las semillas y se representan en diferentes índices como en índice de germinación (IG), porcentaje de germinación relativa (GRS), crecimiento relativo de radícula (CRR) índice de germinación normalizado (IGN) índice de elongación radicular (IER) mediante bioensayos de germinación con especies sensibles a metabolitos fitotóxicos. Estas sustancias debieran ser metabolizadas o inmovilizadas por las semillas utilizadas Rodríguez *et al.*, (2014) Se utilizó la siguiente fórmula para estimar el índice de germinación.

$$IG(\%) = \frac{GRS \times CRR}{100}$$

Donde GRS: es número de semillas germinadas con la muestra x el número de semillas germinadas por el testigo x 100.

CRR: es longitud promedio de la radícula con la muestra entre la longitud promedio de la radícula con el testigo x 100.

Índice de germinación normalizado

$$IGN = \frac{\text{Germx} - \text{Germtestigo}}{\text{Germtestigo}}$$

Donde Germx: es el porcentaje promedio de semillas germinadas de cada muestra y Germtestigo es el porcentaje de semillas germinadas en el testigo.

$$IER = \frac{\text{Elongx} - \text{Elong testigo}}{\text{Elong testigo}}$$

Donde Elongx: es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en la muestra y Elong testigo es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en el testigo.

Los índices IGN e IER establecen valores de toxicidad desde -1 a > 0 bajo las siguientes agrupaciones: índice de 0 a -0.25 baja toxicidad, de -0.25 a -0.5 toxicidad moderada, de -0.5 a -0.75 muy tóxico y de -0.75 a -1.0, toxicidad muy alta; valores del índice > 0 indican crecimiento de la radícula.

Para el cálculo de estos índices se usaron semillas de rábano (*Raphanus sativus* L.), como especie indicadora de la presencia de sustancias tóxicas en extractos de suelo, lixiviados y en muestras de agua. Para ello se usó el método indicado por Rodríguez *et al.* (2014) y Urriola *et al.* (2021). Los cuales son pruebas que permite detectar de manera indirecta la presencia de metabolitos o sustancias toxicas que

estén presentes en diluciones al 20% de medios acuosos del producto analizado el agua de los pozos de los sistemas estudiados, el suelo y lixiviados obtenidos del bioensayo descrito en la sección 10.



Figura 8. Fitotoxicidad en placas usando como indicador a (*Raphanus sativus* L.)

#### **6.9.4 Abundancia de arvenses como parámetro de ecotoxicidad por efecto de la aplicación de gallinaza**

}}El índice de Shannon, diversidad y abundancia de especies en los suelos con y sin gallinaza para evaluar este parámetro Se estableció un bioensayo espontaneo de arvenses de acuerdo con Hoyosa y Sugiyama (2017). Para ello se colocaron 400 mL de agrolita como sustrato inerte y 400 mL de suelo colectado de cada sistema en macetas de plástico de 1000 mL, realizando tres repeticiones por cada muestra con suelo de cada sistema mezclado con 200 g de gallinaza, para observar el efecto ecotoxicológico en la germinación y abundancia de las arvenses. Inicialmente cada maceta se irrigó con 200 mL de agua filtrada posteriormente se cubrieron con papel aluminio para ayudar a la germinación y evitar contaminación con otras semillas. A partir de los 15 se mantuvieron con 150 mL de agua cada tres días para permitir el crecimiento de arvenses, todas las macetas se colocaron en invernadero (Figura 3). Una vez completados 60 días del establecimiento del bioensayo se procedió a cuantificar la abundancia y riqueza de especies de arvenses, para calcular el índice

de biodiversidad de Shannon, de cada muestra (Jiménez-Romero et al., 2020), para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^S (P_i)(\log_2 P_i)$$

$P_i$  = es la proporción de todos los individuos en la muestra

$\ln P_i$  = es el logaritmo natural de  $p_i$



Figura 9. Bioensayo para el estudio de lixiviados en suelo tratado sin y con gallinaza de los tres sistemas de producción.

#### 6.10 Análisis estadístico de la información

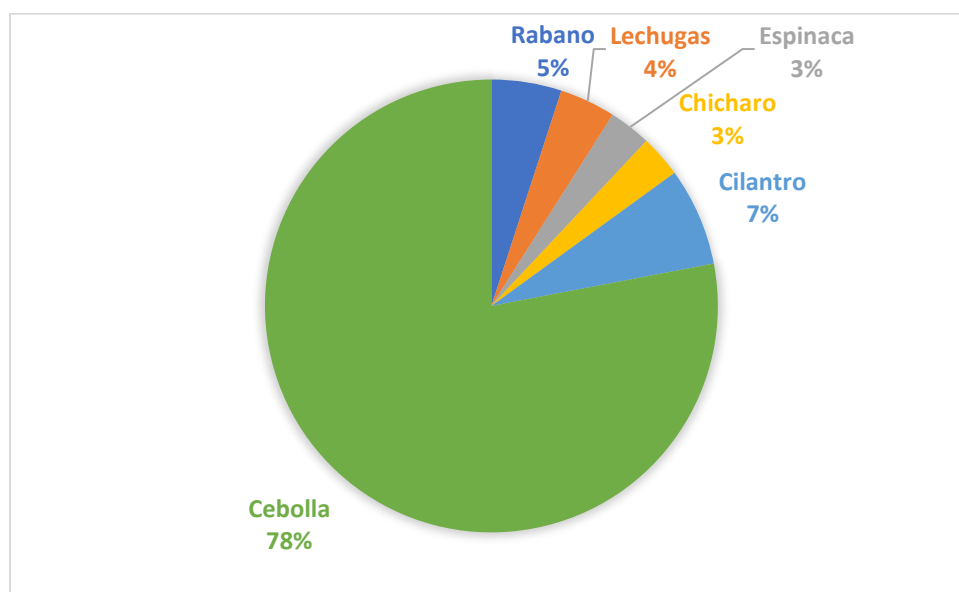
La información colectada en campo sobre la percepción de los productores se describió y se presentó en tablas y gráficas, mientras que la información derivada de los análisis y bioensayos se colectó en libretas de campo, se realizaron bases de datos y para su análisis se utilizó el paquete estadístico infoStat/L en su versión 2020 donde se realizaron análisis de varianzas, factorial análisis de componentes comparaciones de medias aplicando Tukey ( $p < 0.05$ ).

## CAPÍTULO VII

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 7.1 Estudio sobre la percepción de los productores en el sistema de producción de cebolla en Santa Isabel Cholula

Se llevaron a cabo la totalidad de 14 entrevistas. De estas, se observó que la edad promedio de los entrevistados fue de 42 años. El 100% de los entrevistados fueron hombres. En cuanto a la escolaridad, el 38% de las personas tienen educación primaria, mientras que el 38% estudió la secundaria y 23% cursó estudios de bachillerato. El cultivo de mayor interés económico es la cebolla blanca (Figura 10) que se siembra casi todo el año con un ciclo de cultivo de 90 a 120 días, rotándolo con diferentes hortalizas.



*Figura 10. Cultivos de mayor interés económico en Santa Isabel Cholula.*

Para desarrollar este cultivo el 80% de los productores ha optado por rentar tierras ya que en los argumentos que exponen es que, al ser un cultivo rentable, no son suficientes los terrenos propios que tan solo es el 20% en promedio, y para poder generar más ingresos rentan más terrenos.

En cuanto al origen de semillas que se utilizan en el ejido de Santa Isabel Cholula, destacan las que vienen de Estados Unidos de América con un 47% en la adquisición de semillas para diferentes hortalizas como lo son cebolla, rabano, espinaca, mientras que México empata con Países bajos con un 20% de adquisición de semillas (Figura 11). Cabe mencionar que para el caso de la cebolla que es la que más produce proviene de México en los estados de Michoacán y Morelos los productores la adquieren en bulbo pequeño, finalmente Canadá provee de 13% de las semillas utilizadas entre las que destacan las semillas de cilantro.

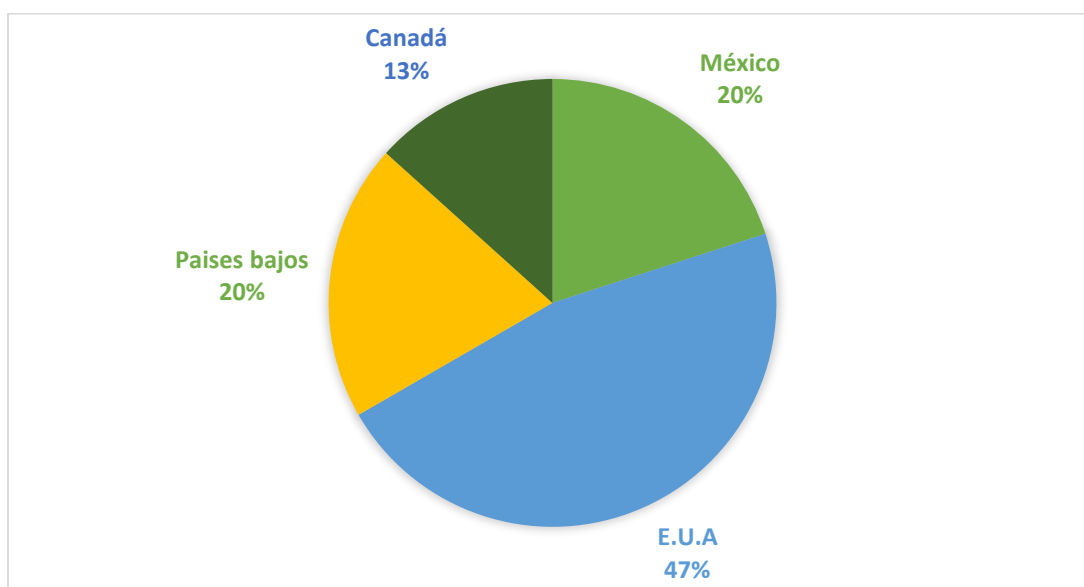


Figura 11. Países de origen de las semillas utilizadas.

En la producción de cebolla blanca, desarrollada en Santa Isabel Cholula, se han indentificado el uso de diferentes agroquímicos para el control de plagas y arvences, los cuales se clasificaron según su grupo de acción agrícola por los efectos de sus ingredientes activos, como se describe en el Cuadro 5. Siendo los fungicidas, el grupo con mayor diversidad de ingredientes activos, seguido de insecticidas; mientras que de los herbicidas y bactericidas tienen diversidad similares.

Los productores tienen una fuerte dependencia al uso de insumos agrícolas, ya que más del 75% de los productores utilizan fertilizantes nitrogenados para sostener su; también el uso de fertilizantes fosfóricos está en el 76% de los productores.

El exceso de fertilizantes nitrogenados provocan fenómenos de eutroficación en los cuerpos de agua, que se traducen en condiciones peligrosas, por cuanto se reconoce que los nitratos son cancerígenos; pero también los fertilizantes fosfóricos pueden ser fuente de contaminación por plomo (Pb) (Otero, 2005), elemento tóxico para los organismos por ser un metal pesado. El uso de fertilizantes potásicos abarca el 80% de los productores. El uso de estos agroquímicos muestra que la calidad del suelo puede no es muy buena para la producción de alimentos sanos.

.Cuadro 6. Ingredientes activos más utilizados en la producción de cebolla blanca.

Insecticidas	Bactericidas	Fungicidas	Herbicidas
Deltametrin	Oxitetraciclina	Mancozeb	Dicloruro de paraquat
Endosulfan 35%	Carbonato de cobre	Metalaxil-m	Carfentrazona etil 22.3%
Carbofuran	Clorhidrato de oxitetraciclina + sulfato de cobre pentahidratado	Fosetil-al	Oxifluorfen
Clorpirifós Acetaprid 20%	Gentamicina	Propamocarb fenamidona Pyraclostrobin + metiram Metalaxil-m y mancozeb Clorotalonil	Glifosato

El 100% de los productores mencionaron que utilizan gallinaza como complemento a la fertilización en una dosis promedio de 11 toneladas, por cada 2 ciclo de cultivo, los cuales pueden variar de 90 a 120 días, cada uno dependiendo de la estación climática en la que se encuentre, este tipo de fertilizante aporta materia orgánica a los suelos y diferentes nutrientes. Los productores reconocen que la adquisición la realizan a granjas avícolas industriales como lo es Bachoco en 53%, granja el Calvario provee del 40% de la gallinaza, mientras que el 7% de los productores

desconocen qué agroindustria produce este insumo (Figura 12), pero el 100% de los productores señaló que este insumo es proveniente del municipio de Tehuacán Puebla, donde se ubica la principal zona avícola industrial del estado.

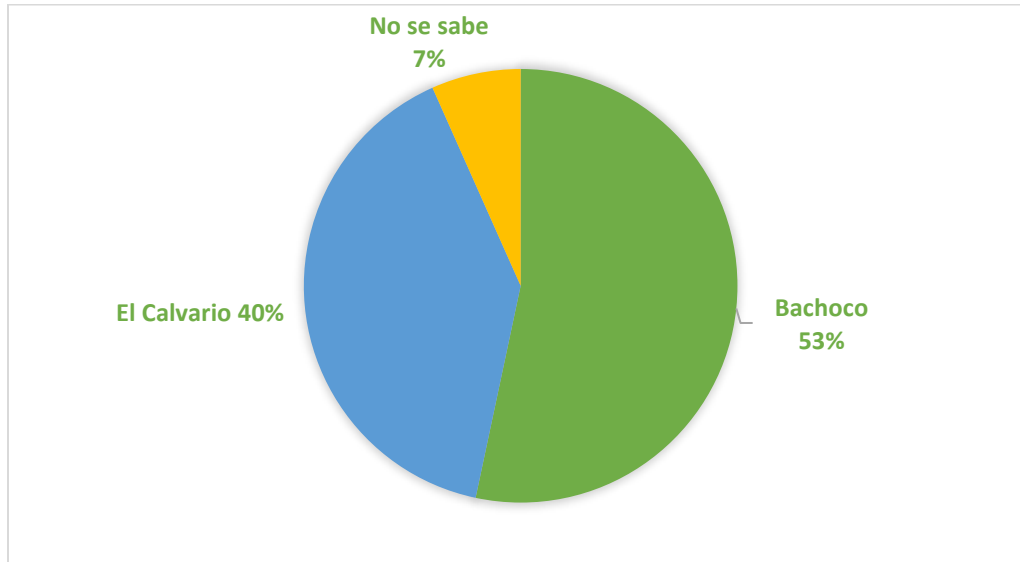


Figura 12. Origen de la gallinaza empleada en el ejido de Santa Isabel Cholula.

El origen de la gallinaza nos muestra claramente que es de granjas completamente industriales como Bachoco, una de las principales empresas de producción avícola ubicada en Tecamachalco, Puebla, donde se producen aves de postura y aves de engorda. El otro proveedor de gallinaza es granja el Calvario ubicada en Tehuacán Puebla, esta granja su principal actividad es la producción de huevo por lo tanto, la gallinaza puede venir cargado de otras sustancias estimulantes del crecimiento y desarrollo rápido de las aves como las hormonas de crecimiento.

Para el desarrollo de sus cultivos, el 77% de los productores señala que no reciben asesoría profesional y tan solo el 23 % de los productores si la reciben, lo cual se puede ver reflejado en los rendimientos obtenidos y el manejo de los agroquímicos. Esto nos sugiere que al no recibir asesoría profesional, no se tiene educación sobre el buen uso y manejo de los agroquímicos, ya que carecen del uso adecuado de equipo de protección personal y en ocasiones solo consiste en cubrebocas y botas de hule, lo cual impacta directamente en la salud de los trabajadores.

En la entrevista se clasificó el tipo de intoxicación presentada en los trabajadores, mediante el marco de clasificación de intoxicaciones realizado por Protección de Cultivos, Ciencia y Tecnología, A.C. (Figura 13), quien es la asociación líder representante de la Industria de la Ciencia de protección de los cultivos en México. Bajo el programa de asesoría campos sin intoxicaciones (SINTOX), en la que obtuvimos que el 70% de los productores señalan que han presentado algún tipo de intoxicación ligera, mientras que el 15% de los productores presentarán intoxicaciones agudas, las cuáles van desde presencia de náuseas, pérdida del equilibrio, fiebre, cefalea, náuseas, temblores, salivación excesiva, debilidad, visión borrosa, dificultad para respirar y taquicardia, el 15% de los productores comentaron no haber presentado ningún tipo de intoxicación.

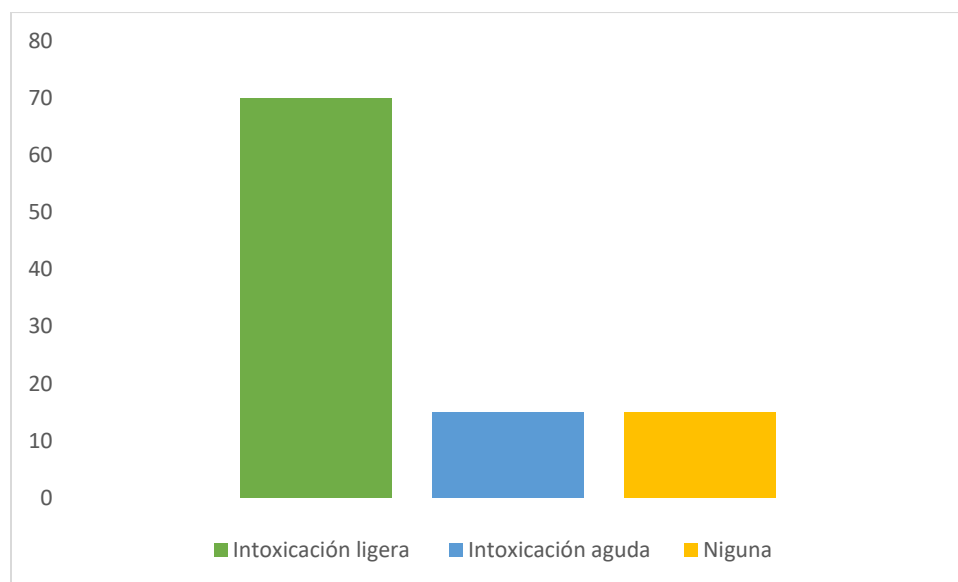


Figura 13. Clasificación de intoxicaciones con base en los criterios de SINTOX.

La situación que se presenta es preocupante debido a que no se tiene la conciencia del manejo adecuado de los plaguicidas, no se cuenta con una cultura sobre el equipo de protección personal y la disposición correcta de los envases vacíos, ya que el 58% de los productores envían los envases vacíos de agroquímicos al basurero municipal, esto genera directamente una contaminación cruzada afectando a los recolectores de basura, el 27% de los productores menciona que vende los envases en calidad de PET para reciclaje y el 17% de los productores

decide quemar los envases, lo cual representa un riesgo a la salud de los trabajadores agrícolas y la población en general.

Posteriormente a los productores se les pidió que de acuerdo con su percepción clasificaran el tipo de contaminación que creían que se está desarrollando, derivada de la producción agrícola y en dónde se están fijando o acumulando estos contaminantes (Figura 14). Se encontró que el 62% de los productores opina que se tiene una contaminación biológica, la cual asocian directamente con problemas fitosanitarios, mientras que 23% señala que existe contaminación química y física, reconocen que posiblemente es por el uso de los agroquímicos y basura, mientras que el 15% señala que no existe ningún tipo de contaminación en el área agrícola.

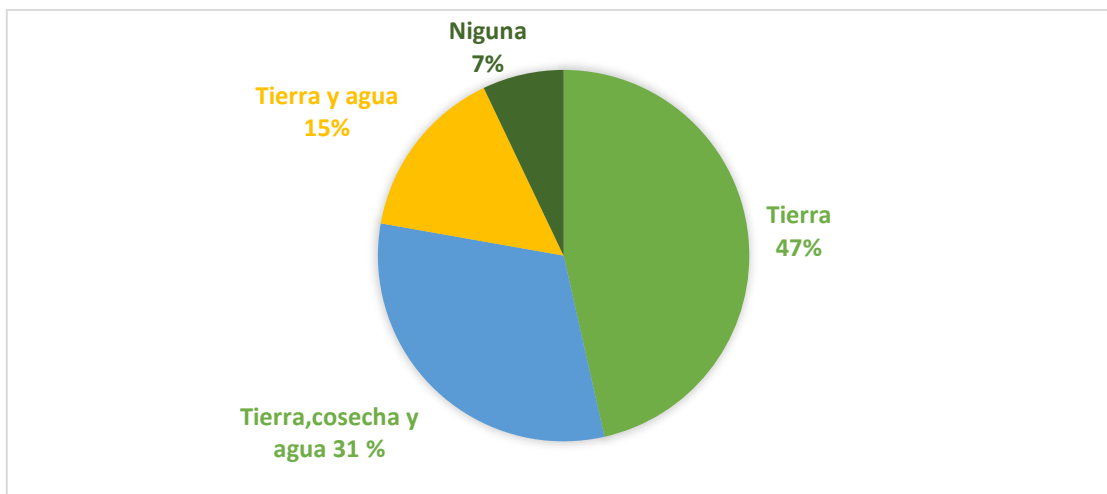


Figura 14. Percepción por parte de los productores acerca de la fijación de los contaminantes presentes en el ejido de Santa Isabel Cholula.

Finalizamos la entrevista con un ejercicio de memoria colectiva (tabla 6) donde se plantearon tres preguntas que dan pauta a la reflexión del manejo del agroecosistema a través del tiempo y nos permite tener un panorama de hacia dónde se dirige este agroecosistema de producción de cebolla. El término de memoria colectiva fue acuñado por el sociólogo francés Maurice Halbwachs, para hablar de la memoria como proceso psicosocial, a través de la mente individual y así formar una mente grupal (Trejo y Arriaga, 2009).

Cuadro 7. Recopilación de la memoria colectiva de productores de cebolla blanca en Santa Isabel Cholula, Puebla.

MEMORIA COLECTIVA		
¿Cómo era el manejo de sus cultivos hace 30 años?	¿Cómo es el manejo ahora?	¿Cómo le gustaría que fuera en un futuro?
<p>“Antes el manejo era menos costoso, ya que los cultivos no requerirán fertilizantes y no existían plagas”</p> <p>“Se tenían mayores ganancias”</p> <p>(84% de los entrevistados)</p> <p>“Era más difícil ya que no había maquinaria que les ayudara agilizar el trabajo”</p> <p>(14% de los entrevistados)</p>	<p>“Es muy demandante de insumos, ya sea de abonos o granulados .”</p> <p>La producción presenta plagas.</p> <p>“El mercado actual no es muy estable, se puede ganar mucho en una cosecha y se pueden perder mucho en otra.”</p> <p>(100% de los entrevistados)</p>	<p>“Más apoyos gubernamentales para la adquisición de semillas mejoradas, fertilizantes, plaguicidas, maquinaria y poder exportar”</p> <p>(61% de los entrevistados)</p> <p>“Volver a lo de antes donde no utilizábamos fertilizantes ni venenos”</p> <p>“Ojala nos pudiéramos organizar para poder colocar las cosechas a mejores precios”</p> <p>(34% de los entrevistados)</p>

## 7.2 Análisis físicos y químicos del agua de los tres sitios de estudio

Cuadro 8. Evaluación fisicoquímica de las características de los suelos

Variable	Unidad	Bosque	Orgánico	Convencional	ANVA (p)
Capacidad retención humedad	(%)	21.1	27.37	21.1	0.1053
Cenizas	(%)	98.73	98.64	98.59	0.3242
Carbono total	(%)	0.74	0.79	0.82	0.3242
Nitrógeno total	(%)	0.03	0.01	0.01	0.0006
		b	a	a	
Nitrógeno nítrico	(ppm)	0	7	7	0.0001
		b	a	a	
Materia orgánica total	(%)	1.27	1.36	1.41	0.3242
Carbono oxidable	(%)	1.95	1.04	0.17	0.0103
		a	ab	b	
Materia orgánica oxidable	(%)	3.36	1.79	0.29	0.0103
		a	ab	b	

Los tres suelos evaluados son de franco arenoso, y presentan ciertos niveles de degradación detectados mediante factores físicos, químicos y microbiológicos, cuyos resultados van de baja degradación hasta alta degradación.

Los valores que mostraron mayor diferencia para la calidad del suelo fue el contenido de nitrógeno total, el cual es superior en el suelo de bosque, sin embargo, los valores obtenidos fueron inferiores a 1.754%, lo reportado por Celaya *et al.*, (2011). Los contenidos con materia orgánica no mostraron diferencias entre los sitios en estudio, así como en pH y en CE.

Cuadro 9. Características fisicoquímicas de los suelos evaluados.

Suelos	pH (H <sup>+</sup> )	CE (mS/cm)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
Suelo bosque	7.35 b	0.16 a	5.59 a	15.07 a
Suelo orgánico	7.26 a	0.18 b	10.22 a	59.02 a

Suelo convencional	7.24 a	0.29 c	21.72 a	56.04 a
ANVA (p)	0.0018	0.0001	0.0515	0.1016
DMS	0.05347	0.01446	17.13082	108.2491

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).*

Los valores de pH se encuentran para los 3 suelos en valores aceptables para el cultivo de cebolla y los valores de CE establecen ligera salinidad para el suelo convencional. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Donde pH es potencial del hidrogeno CE: conductividad eléctrica.

Los valores de pH se encuentran para los 3 suelos en valores aceptables para el cultivo de cebolla y los valores de CE establecen ligera salinidad para el suelo convencional.

Cuadro 10. Contenido de elementos en los tres suelos de estudio.

Elemento %	Tipo de suelo		
	Bosque	Orgánico	Convencional
K	20.6	36.9	3.8
Ca	11.23	1.75	40.28
Si	42.7	37.46	40.28
Fe	17.61	4.47	1.92
Al	17.61	9.53	7.06
Na	ND	2.53	2.05
Ti	ND	0.73	ND
O	ND	ND	44.88

*ND: No detectado.*

En el sistema bosque se detectaron los siguientes elementos k en 20.6% que corresponde a valores bajos de acuerdo con lo establecido en el manual de interpretación de análisis de calidad de suelos reconocido por la FAO en la edición (2018) los valores para Ca en 11.23% corresponde a valores óptimos, el Si en 42.7% corresponde a valores óptimos a lo recomendado por Michajluk *et al*, 2019. Los valores de correspondieron a Fe en 17.61% y Al 17.61% en valores altos en cuanto a los Na 2.71% corresponde a valores bajos. El suelo orgánico presentó valores de K en un 36.9%, Ca en 1.75%, Fe 4.47% lo cual corresponde a valores

bajos valores. Al en 9.53 y Na valores medio Si en valores altos, también se detectó Ti en 0.73% lo que corresponde a valores muy bajos, finalmente el suelo convencional presentó contenidos de K en 33.35% el cual corresponde a valores bajos.

### 7.3 Análisis físicos y químicos del agua de los tres sitios de estudio

Cuadro 11. Parámetros fisicoquímicos del agua de uso agrícola en los agroecosistemas estudiados

Tipo pozo	pH (H <sup>+</sup> )	CE (mS/cm)	Sólidos totales (ppm)	ORP (Mv)	Sales (ppm)
Bosque	7.34 a	0.71 a	172.89 a	174.44 a	120.56 a
Orgánico	7.28 a	0.96 ab	126.78 a	174.44 a	133.33 a
Convencional	7.25 a	1.5 b	205.22 a	172.33 a	215.11 b
ANVA	0.9162	0.0174	0.4496	2.1918	46.32909
<b>Muestreo</b>					
Muestreo uno	7.28 a	0.21 a	155.22 a	218.78 a	158.67 a
Muestreo dos	7.25 a	2.75 b	206.78 a	218.78 b	158.67 a
Muestreo tres	7.33 a	2.71 a	142.89 a	83.67 a	151.67 a
ANVA	0.9185	0.49782	148.67629	<0.0001	0.861

En relación con los valores observados de pH en el agua en los tres sistemas se encontraron dentro de los intervalos establecidos por la NOM-127-SSA1-2017, con valores alrededor del neutro, pero sin mostrar diferencias significativas. En relación con la CE, el agua del sistema convencional presentó significativamente los mayores valores, con niveles considerados como de salinidad alta con base en lo indicado por Mancilla *et al.* (2021); mientras que, el agua del bosque y del sistema orgánico de producción de cebolla alcanzó niveles propios de una salinidad baja y dentro de los intervalos establecidos por la misma norma.

En cuanto a sólidos totales, el agua de los tres sistemas se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma aplicable. El potencial de óxido reducción

(ORP) resultó estadísticamente similar en el agua de los tres sistemas. El ORP es la capacidad que tiene una solución o el agua de oxidar o reducir, y se relaciona con la capacidad para inhibir el crecimiento microbiano en valores  $\geq 600$  mV (Mérida-Cano 2020). El contenido de sales resultó significativamente superior en el agua del sistema convencional en comparación con el agua de los otros dos sistemas en estudio, y en ese sistema superó en un 8% a lo establecido por la norma oficial mexicana, lo cual se relaciona con lo indicado por Rodríguez *et al.* (2016), quienes observaron diferentes concentraciones en función del tipo de agua, época y sitio de muestreo.

Por fecha de muestreo, los valores más altos de CE y ORP se observaron en el muestreo dos (tabla 10), lo que coincide con lo indicado por Rodríguez *et al.* (2016). La interacción entre tipo de agua y fecha de muestreo resultó significativa en las variables pH, CE y ORP.

### 7.3.2. Metales pesados en agua de los tres sistemas evaluados

Cuadro 12 Metales pesados en agua.

Límite permisible	Pb 0.01 mg/L	Hg 0.001 mg/L	Cd 0.005 mg/L	Ni 0.20 mg/L
Bosque	<0.003	<0.0005	N/D	0.085
Orgánico	<0.003	<0.0005	N/D	0.117
Convencional	0.161	0.661	N/D	0.353

Siendo N/D: no detectado, plomo Pb, mercurio (Hg) cadmio (Cd) y níquel (Ni).

Con base en lo que establece la norma NOM-127-SSA1-1994. El sistema bosque y orgánico están por debajo de límites establecido y el sistema convencional supera en 5.44% para Pb y Hg en 8.9% en cuando a Cd no se detectó en ningún pozo mientras que el Ni se halló en los 3 sistemas, pero dentro de los límites permisibles. La contaminación por plomo y Hg en agua se asociado principalmente con las actividades agrícolas y con la adicción de fertilizantes, plaguicidas como señala Mancilla *et al.*, (2021) y Díaz-Arriaga (2014) se constata con esta idea dado que los

suelos de la zona de muestreo no presentaron plomo ni mercurio por lo cual se asocia principalmente estos contaminantes al manejo agronómico en que desarrolla cada sistema.

Cuadro 13. Variables fisicoquímicas en lixiviados del suelo.

lixiviados	Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )		Fosfatos (mg L <sup>-1</sup> )		Ph (H <sup>+</sup> )	CE (mS/cm)		
Bosque	31.59	dc	5.59	f	7.19	c	0.85	b
Bosque + gallinaza	36.31	c	10.22	e	7.13	c	2.00	c
Orgánico	6.88	e	21.72	a	7.62	a	0.71	a
Orgánico + gallinaza	57.21	b	18.46	c	7.4	b	3.23	c
Convencional	28.13	d	15.86	d	7.57	a	0.70	a
Convencional + gallinaza	75.9	a	20.62	b	7.61	a	2.29	d
ANVA	<0.0001		<0.0001		<0.0001		<0.0001	
<b>Muestreo</b>								
Antes	33.95	b	7.90	c	7.16	c	1.43	a
Durante el cultivo	32.04	b	18.24	b	7.51	b	1.97	c
Después	52.02	a	20.09	a	7.59	a	1.49	b
ANVA (p)	<0.0001		<0.0001		<0.0001		<0.0001	

En los últimos tiempos se ha prestado atención a los problemas relacionados con la influencia antropogénica en este caso la agricultura, se habla de contaminación a las fuentes de agua subterráneas por escurrimientos, en cuanto al contenido de nitratos obtenidos mediante la recolección de lixiviados todos mostraron una diferencia significativa siendo el suelo orgánico más gallinaza y convencional más gallinaza los que presentaron mayor concentración de nitratos.

En cuanto al contenido de fosfatos de igual manera todos los lixiviados muestran diferencias significativas mientras que el tratamiento suelo convencional más gallinaza fue el más elevado en cuanto al contenido de fosfatos. Los datos obtenidos de pH y CE mostraron diferencias significativas en todos los tratamientos en los parámetros evaluados se puede observar una interacción en el aumento de CE con la adición de gallinaza. El cultivo de cebolla requiere de suelos ricos en materia orgánica y pH entre 5.7 y 7.4. El pH se encuentra dentro del rango recomendable para la producción de cebolla El cultivo de la cebolla es sensible a las sales del

suelo (1.2 dS/m) en la cebolla en suelos arenosos llega a tolerar hasta 2.3 dS/m. (Zamora, 2016) nos indica que nuestros suelos poseen una ligera salinidad con el uso de gallinaza tiende a aumentar clasificándose en moderadamente salinos (Castillo *et al.*, 2021)

El Nitrógeno(N) y Fosforo (P) son los elementos fundamentales para la producción de cebolla, donde el requerimiento aproximado varía de 100 hasta 400 kg N ha<sup>-1</sup> y 40 kg P ha<sup>-1</sup> (INTRAGRI, 2021; Álvarez *et al.*, 2011) para un rendimiento aproximadamente de 30 a 35 toneladas por hectárea, que es el rendimiento máximo reportado en el estado de Puebla (SIAP, 2020). Los contenidos de nitratos en suelo bosque con y sin gallinaza poseen valores bajos, además de ello se detectaron diferentes elementos como K en 39.96% el cual se encuentra en un nivel bajo, Na 2.53% (ver Anexo 3), en un nivel medio al igual que Al en 10.11%, Si en 37% en un nivel óptimo para el cultivo de cebolla (Tabla 13 ) En cuanto a fosfatos, el suelo bosque posee valores bajos, pero con la adición de gallinaza posee valores medios.

#### 7.4 Estimaciones de crecimiento y rendimiento de cebolla cultivada en suelos tratados sin y con gallinaza

Se estimó la tasa de crecimiento de la cebolla durante el experimento en base a lo descrito por Álvarez *et al.* (2017) donde se tomaron datos de altura del tallo cada semana después de haber alcanzado los 10 cm de altura y finalizando en la cosecha.

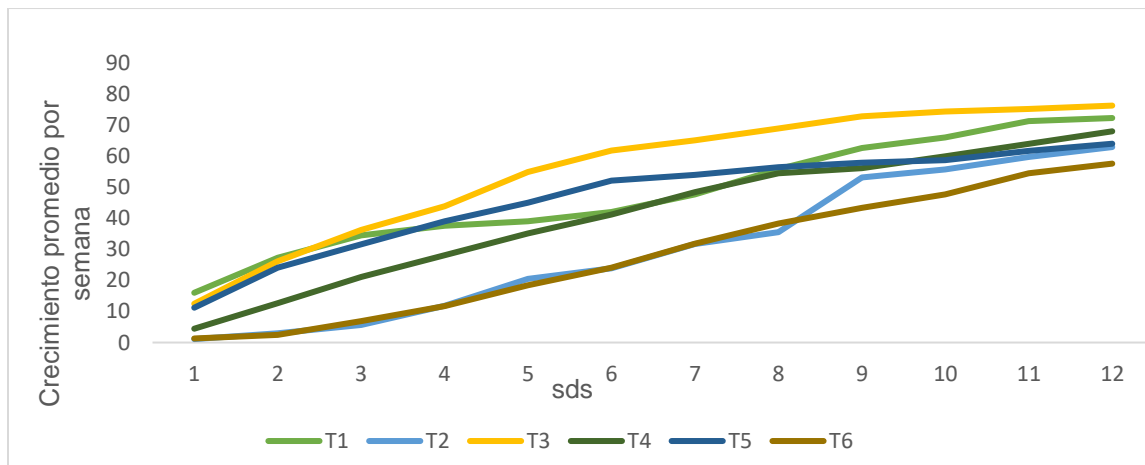


Figura 15. Tasa de crecimiento de cebolla blanca variedad Carta blanca, bajo condiciones de invernadero recopilación de datos cada semana durante 12 semanas. Siendo T1 tratamiento y así en sucesión

En cuanto a la cosecha del cultivo de cebolla el peso de raíz, peso del bulbo no mostraron diferencia significativa, el peso en cuanto a follaje mostraron que el cultivo de cebolla orgánica más gallinaza, y suelo orgánico presento mejores cualidades en cuanto altura y peso y la tasa de crecimiento inicial (figura 15) interacción por gallinaza

Cuadro 15. Parámetros físicos obtenidos durante la cosecha de cebolla

Tratamiento	Peso raíz (g)	Bulbo peso fresco (g)	Bulbo peso seco (g)	Tallo peso fresco (g)	Tallo peso seco (g)	Tasa de crecimiento inicial (g)	Altura final (cm)	Arvenses (g)
Bosque	1.77 a	38.87 a	28.13 A	58.73 Ab	28.17 a	1.61 d	69.33	14.6 c
Bosque + gallinaza	1.43 a	88.57 a	22.27 A	45.07 Ab	22.27 a	0.27 b	66.67 a	48.01 f
Orgánico	1.43 a	87.57 a	35.90 A	58.67 Ab	32.27 a	2.00 f	61.42 a	30.4 d
Orgánico+ gallinaza	0.87 a	56.17 a	38.53 A	73.67 B	27.93 a	1.17 c	60.67 a	38.7 e
Convencional	4.7 a	42.9 a	29.23 A	62.33 Ab	20.13 a	1.84 e	69 a	12.1 b
Convencional + gallinaza	1.10 a	37.27 a	21.97 A	36.76 A	20.9 a	0.17 a	65.33 a	0.00 a
ANVA (p)	0.0749	0.2105	0.0634	0.038	0.1526	<0.0001	0.9059	<0.0001
<b>SUELOS</b>								
Bosque	1.60 a	63.72 a	25.2 A	51.9 A	25.22 ab	0.94 a	68 a	31.31 a
Orgánico	1.30 a	71.87 a	37.22 A	66.17 A	30.10 b	1.58 c	61.05 a	34.55 a
Convencional	2.90 a	40.08 a	25.6 A	49.55 A	20.52 a	1 b	67.17 a	6.05 a
ANVA (p)	0.1807 a	0.2367	0.0182	0.076	0.076	<0.0001	0.5515 a	0.000

## 7.5 Metales pesados en cebolla durante el experimento bajo condiciones de invernadero

Cuadro 16. Metales pesados detectados en cebolla

Metales pesados Tratamiento	Hg (mg kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg kg <sup>-1</sup> )
Bosque	2.583	4.352	0.762
Bosque + gallinaza	4.826	1.140	2.030
Orgánico	2.550	2.929	1.220
Orgánico+ gallinaza	2.287	1.451	0.891
Convencional	3.004	2.070	1.748
Convencional + gallinaza	3.004	4.110	0.894
Limite permisible*	0.01	0.1	ND

\*con base en lo establecido por la unión Codex, 1995; UE, 2016

ND: no detectado.

Los datos obtenidos rebasan los límites establecidos por el Codex (2005) en todos los tratamientos por su parte Yaradua *et al.* (2020) encontró metales pesados en cebolla cultivados en Nigeria, valores promedio para Pb 0.28 a 1.31 y para Cd valores de 0.6 mg/kg Cd y Hg no fueron detectados, un estudio realizada por Bekele-Bahiru (2021) acerca de la contaminación de vegetales en Ethiopia, menciona que la cebolla puede contener metales pesados dependiendo área de cultivo si esta está cerca de zonas industriales se tiene a tener mayor riesgos de contaminación, por el termino denominado fijación atmosférica, además que los estiércoles de origen industrial poseen metales pesados y estos a su vez tienden a acumularse en los suelo y posteriormente ser absorbidos a través de los cultivos.

No obstante, se tiene duda se dónde generan estos contaminantes dado que los metales no se detectan en el suelo y por las concentraciones presentadas, observamos que con la adición de gallinaza los metales pesados tienden a aumentar en el sistema no bosque más gallina no obstante no se tiene el mismo comportamiento en los demás tratamientos. Los tratamientos no recibieron ningún

tipo de fertilización o control de plagas, se induce que los metales presentes se acumularon por fijación atmosférica como señalan Legarreta *et al.* (2015) así como Pineda y Rodríguez (2016) donde mencionan que el viento es un agente que también promueve la movilización en forma de partículas ligeras donde se transportan los metales pesados que se encuentran presentes en el ambiente. Morales-García *et al.* (2013) realizaron un estudio donde caracterizaron la calidad del aire en la ciudad de Puebla y demostraron que en las partículas M<sub>10</sub> existen metales pesados como As, Cd, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Fe y V en concentraciones que van desde 0.2 hasta 6.01 ng m<sup>-3</sup>.

## **7.6 Parámetros ecotoxicológicos del suelo de los tres sitios de estudio**

Caracterización de los suelos de bosque, suelo orgánico y suelo convencional en factores biológicos y ecotoxicológicos.

Los indicadores ecotoxicológicos evaluados fueron número esporas de hongos endomicorrízicos y bacterias fijadoras de nitrógeno la presencia de estos parámetros se determina por los contenidos de materia orgánica que juega un papel fundamental y a su vez es afectado por el grado de contaminación que pueda tener por compuestos orgánicos (Lagos *et al.*, 2021).

Las poblaciones microbianas del suelo están conectadas mediante interacciones que impactan en el desarrollo de los cultivos. Dichas poblaciones aseguran la estabilidad y la productividad mediante interacciones biológicas en los agroecosistemas, así como asimilación de nutrientes y diversas simbiosis (Richardson *et al.*, 2009; Pedraza *et al.*, 2010). El suelo con mayor cantidad de esporas de hongos endomicorrízicos fue el suelo bosque seguido del suelo orgánico y finalmente el convencional en los 3 sistemas no se muestran diferencias significativas, mientras que para bacterias fijadoras de nitrógeno se observa una diferencia significativa en el sistema bosque seguido del sistema orgánico.

Cuadro 17. Parámetros ecotoxicológicos evaluados en el suelo recolectados **en los sitios de estudio**

Variable	Bosque	Orgánico	Convencional	ANVA (p)
Hongos endomicorrízicos arbusculares %	12172 a	3069 b	280 b	0.0019
Fijadoras de nitrógeno (Actinobacterias) UFC	357.33 b	238 a	186.67 a	0.0009
Índice de germinación (IG)	99.33 a	89.76 a	79.07 a	0.0762
Índice de germinación normalizado (IGN)	-0.17	-0.08	-0.1	0.4891
Índice de elongación radicular (IER)	0.38	-0.13	-0.01	0.1972

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).*

Los bioensayos de toxicidad con semillas de rábano (*Raphanus*) son pruebas estática de toxicidad mediante los procesos de germinación durante los primeros días de crecimiento durante los procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir en la supervivencia y el desarrollo normal de la planta por lo que el procesos de germinación se convierte en indicador ante los posibles en las muestras, tanto en IG como IGN y IER no mostraron diferencias significativas en los 3 suelos, sin embargo el suelo no cultivado presentó mayor porcentaje de germinación. Los índices IGN e IER establecen valores de toxicidad desde -1 a > 0 bajo las siguientes categorías: índice de 0 a -0.25 baja toxicidad, de -0.25 a -0.5 toxicidad moderada, de -0.5 a -0.75 muy tóxico y de -0.75 a -1.0, toxicidad muy alta; valores del índice > 0 indican crecimiento de la radícula (Bagur-González *et al.*, 2011).

El comportamiento de los fosfatos durante el monitoreo sugiere que existe relación en el manejo de los agroecosistemas, debido a que el sistema bosque presentó durante los tres muestreos una media de 0.40 mg L<sup>-1</sup>, mientras que el sistema orgánico obtuvo una media de 0.89 mg L<sup>-1</sup>, los cuales se encuentran dentro del límite máximo permitido. Mientras que, el agua del sistema convencional supera el

límite máximo permitido en 1064%, y se observó que los valores tienden a cambiar según la fecha de muestreo, con registros más altos en los meses de octubre y enero. Rodríguez *et al.* (2016) encontraron una mayor concentración de fosfatos en invierno en aguas subterráneas, con valores que van de 0.64 a 0.88 mg L<sup>-1</sup>.

La contaminación en los pozos de agua subterráneas por nitratos y fosfatos se relaciona principalmente con el exceso de fertilización química nitrogenada y fosfatada, a través de la lixiviación en los campos agrícolas (Rodríguez *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2021); al respecto, en Santa Isabel Cholula se tiene registrado la aplicación de una dosis aproximada de 22 t/ha/año de gallinaza en el cultivo de cebolla y ésta a su vez se complementa con diversos fertilizantes sintéticos, lo cual puede explicar los resultados obtenidos.

La organización mundial de la salud y la NOM-127-SSA1-2017 declaran que el límite máximo permitido para fosfatos no debe de superar el valor 1 mg L<sup>-1</sup>. Bolaños (2017) indica que en pozos monitoreados cerca de zonas agrícolas los valores de fosfatos van de 0.14 a 8.50 mg. L<sup>-1</sup>, e indican que esos niveles son propios de agua de baja calidad. Otra investigación indica que valores de 5 mg. L<sup>-1</sup> de pozo, puede ser considerado como de alto grado de contaminación. Ruiz Chauden (2020) encontró valores promedio de 0.89 mg. L<sup>-1</sup>, similares a los encontrados para el sistema orgánico en la presente investigación. Ağca (2014) menciona que el agua destinada para uso agrícola puede contener hasta 2.2 mg L<sup>-1</sup> de fosfatos, la cual ya se considera no apta para consumo humano.

Con base en la norma oficial mexicana, el límite máximo permitido para nitratos en el agua es de 10 mg L<sup>-1</sup>. En el sistema bosque se obtuvo una media de 0.47 mg L<sup>-1</sup> y en el sistema orgánico el agua alcanzó una media de 2.84 mg L<sup>-1</sup>, los cuales se encuentran dentro del límite permitido; mientras que, el pozo del sistema convencional sobre pasa los límites establecidos por la norma 127 en un 74%.

Los nitratos tienden a variar entre cada muestreo realizado, así las mayores concentraciones se registraron en el mes de febrero. Al respecto, Mendoza y Ortiz (2018) realizaron estudios en la determinación de nitratos en pozos en tres sistemas

en los que presentaban diferentes características agronómicas, sistemas convencionales, sin uso de agroquímicos y sistemas naturales, pero ellos obtuvieron valores de 0 mg L<sup>-1</sup> en los tres sistemas estudiados. Por su parte, Sykora *et al.* (2021) indican que los contenidos de nitratos pueden variar según la estación del año y la precipitación pluvial que se presente en el área estudiada, y encontraron

## 8 parámetros ecotoxicológicos de bioensayo de lixiviados

### 8.1 Índices de fitotoxicidad obtenidos a partir de los lixiviados

Cuadro 18. Parámetros ecotoxicológicos de los lixiviados

Tratamientos	Índice de germinación	Índice de germinación normalizado	Índice de elongación radicular
Bosque	91.16 a	-0.12 b	0.08
Bosque + gallinaza	58.17 b	-0.07 b	-0.26
Orgánico	82.55 a	-0.07 b	0.02
Orgánico + gallinaza	59.1 b	-0.20 b	-0.16
Convencional	75.44 ba	-0.15 b	0.08
Convencional + gallinaza	39.39 c	-0.41 a	-0.37
ANVA (p)	<0.0005	<0.0001	<0.6848
Tiempo de muestreo			
Antes	74.67 b	-0.15	0.04 b
Durante el cultivo	70.82 b	-0.20	-0.21 a
Después	57.41 a	-0.15	-0.13 ab
ANVA (p)	<0.0001	0.3779	<0.0001

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, p ≤ 0.05).*

Los índices de IG muestran diferencias significativas en todos los lixiviados mostraron valores de nula toxicidad para los lixiviados del suelo bosque y suelo orgánico mientras que el suelo bosque más gallinaza, suelo orgánico más gallinaza y suelo convencional más gallinaza muestran valores de toxicidad moderada y bajos niveles de germinación.

Los valores IGN todos los tratamientos se encuentran en un rango de toxicidad baja mientras que el suelo convencional más gallinaza muestra valores de toxicidad moderada. Los valores de IER mostraron para los lixiviados obtenidos de los suelos sin adición de gallinaza muestran valores de baja fitotoxicidad mientras que los suelo acondicionados con gallinaza muestran valores de toxicidad alta. En los tres parámetros obtenidos a partir de bioensayos de germinación la CE muestra relación con la fitotoxicidad entre más alta sea mayor toxicidad presentan.

## 8.2 Colonización de micorrizas en raíces de cebolla obtenida a partir del bioensayo de lixiviados

En el experimento fue realizado en invernadero donde se evaluó la población microbiológica funcional en raíces de las cebollas cultivadas, donde se observó una diferencia significativa en la reducción del porcentaje de colonización de hongos en las raíces y el número de arbusculos, bacterias fijadoras de nitrógeno en el tratamiento suelo bosque con y sin gallinaza mostraron una diferencia significativa positiva a diferencia de los demás tratamientos. No obstante, se muestra que existe una influencia negativa en el tratamiento suelo bosque más gallinaza, en cuanto a disminución de unidades formadoras de colonias (UFC).

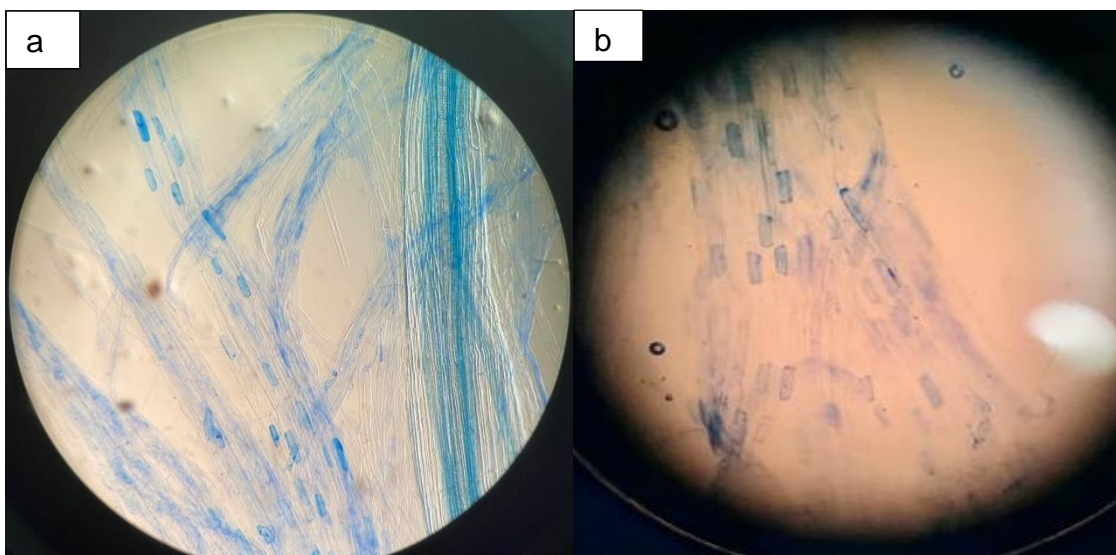


Figura 16. Raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares observada a 100x (a) en suelo bosque y bosque más gallinaza(b).

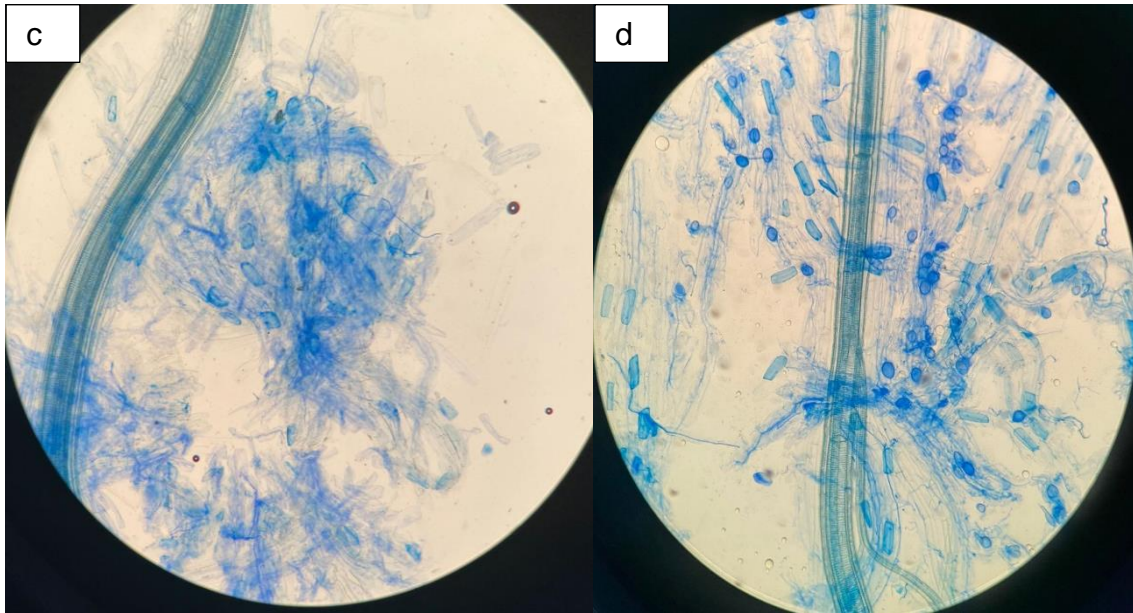
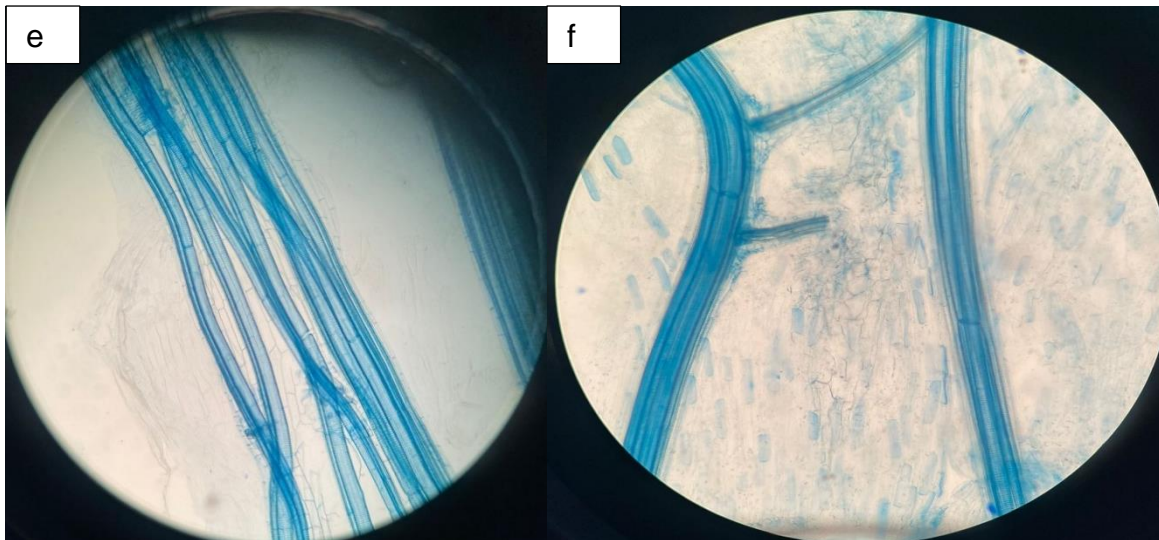


Figura 17. Raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares observada a 100x (c) suelo orgánico y suelo orgánico más gallinaza (d). Muestra las raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares la imagen del lado derecho muestra las raíces de suelo del sistema orgánico y la izquierda muestra raíces de sistema orgánico más gallinaza.



*Figura 18. Raíces de cebolla colonizada por arbusculos y vesículas de hongos arbusculares observada a 100x (e) suelo convencional y suelo convencional más gallinaza (f).*

La reducción de hongos micorrízicos arbusculares simbióticos (HMA) se debe en gran medida a las características de suelo y la posible acumulación de contaminantes de origen orgánico por el uso de fertilizantes químicos, herbicidas, fungicidas y antibióticos reduce la capacidad de reproducirse en las raíces de los cultivos (Ryan *et al.*,1994). Por ello las cebollas cultivadas en suelo convencional mostraron diferencias negativas en cuanto a CTT, CA y BFN sin duda el uso de la gallinaza influye directamente en la reproducción de (HMA) en todos los tratamientos.

### 8.3 Abundancia de arvenses como parámetro de ecotoxicidad por efecto de la aplicación de gallinaza

Para Cuantificar la biodiversidad y abundancia específica de arvenses se clasifico se clasificaron según su especie utilizó el índice de Shannon-Weaver mismo que fue acuñado de la teoría de información como una medida de la entropía. El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006).

Cuadro 19. Diversidad de arvenses y índice de Shannon en los suelos con y sin gallinaza.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Índice de Shannon-Weaver H=</b>
Bosque	28	1.253
Bosque más gallinaza	10	1.219
Orgánico	62	4.773
Orgánico más gallinaza	19	2.076
Convencional	9	0.719
Convencional más gallinaza	0	0.00

## **CAPÍTULO VIII**

### **CONCLUSIONES**

El estudio social nos permitió conocer la perspectiva de los agricultores acerca de la contaminación que se está generando en el ejido del municipio de Santa Isabel Cholula. Se reconoce que están generando contaminación, el 48% de los entrevistados menciona que los contaminantes tienden a quedar en el suelo y en el agua. Según el ejercicio de memoria colectiva los productores detectan que algo está sucediendo en sus terrenos porque sus rendimientos han bajado y las plagas han aumentado.

La calidad del suelo es significativamente menor en el suelo convencional tanto en aspectos fisicoquímicos en el suelo convencional, la presencia de nitratos y fosfatos es aceptable para los sistemas bosque y orgánico. Los indicadores ecotoxicológicos nos indican que los suelos bosque y orgánico tiene niveles de baja toxicidad, mientras que para el suelo convencional poseen toxicidad moderada.

La calidad del agua está dentro de los parámetros establecidos por la norma 127 en cuanto a pozo sistema bosque y el agua sistema orgánico mientras que el agua del sistema convencional, no cumple con los criterios establecidos el contenido de nitratos y fosfatos es preocupante debido a que es posible que en el transcurrir de los años, el agua de pozo del orgánico y bosque sea afectado por la agricultura convencional de la parte alta, el constante uso de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos son la principal causa de contaminación en los pozos.

El contenido de metales pesados en el agua tiene relación con el manejo agronómico, mientras que para los vegetales se tiene relación con el ambiente.

## RECOMENDACIONES GENERALES

- Realizar los muestreos de agua en las 4 estaciones del año y con más repeticiones.
- Realizar divulgación de los parámetros obtenidos y poder realizar prácticas que promuevan la mejora de la calidad de los suelos y mejorar en las prácticas de uso de los fertilizantes.
- Realizar investigaciones de calidad de suelo, agua y cosechas en cuanto a los residuos de agroquímicos ya que es un factor ecotoxicológicos muy importante
- Es necesario realizar más estudios en la región con el fin de analizar el comportamiento de los parámetros y obtener nuevos indicadores, como contenido de metales pesados, residuos de agroquímicos y antibióticos, que puedan estar asociados a cambios en la calidad del agua usada en los sistemas de producción

## LITERATURA CITADA

- Acevedo, I. Sánchez, A. (2021) Mendoza B. Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de quíbor. li. Calidad del suelo. *Bioagro. Venezuela.* 33,2.
- Ağca, N., Karanlık, S. & Ödemiş, B, 2014. Assessment of ammonium, nitrate, phosphate, and heavy metal pollution in groundwater from Amik Plain, southern Turkey. *Environ Monit Assess* 186, 5921–5934.
- Agüero-Alvarado, R., Rodríguez, A, M. González, L, Ml. Portuguez, G, P. & Brenes P, S. (2018). Abundancia y cobertura de arvenses bajo manejo convencional y orgánico de café y banano. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 91-100.
- Aguilar, A.; Etchevers, J. D. & Castellanos, J. Z. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Ed. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (122) 145-155.
- Aguilar, W. Arce, P. Galino, F. Torres, T. (2015). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Tecnología en Marcha. Edición Especial Biocontrol.* 5-14.
- Alloway, B.J. (2013). Heavy metals in soils, trace metals and Metalloids in soils and their Bioavailability (3ra ed) United Kingdom.
- Alvarado, GJ. Álvares, O. y Susca, F (2017) Efecto de diferentes láminas de riego en el crecimiento y desarrollo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). Colombia *Ciencias Hortícolas.* (11) 359-367.
- Álvarez, H, J, C. Venegas, F, S. Soto, A, C. Chávez, V, A. y Zavala, S, L. (2011) Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla (*Allium cepa* L.) en Apatzingán, Michoacán, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15(2): 29-43.

- Álvarez JG, Alvarado, H, & Suesca, F, A. (2017). Efecto de diferentes láminas de riego en el crecimiento y desarrollo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 359-367
- Bagur-González, M.G. Estepa, M, C. Martín, P.F. y Morales, R. S. (2011). Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn insoluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *J. Soil. Sediment.* (11) 281-289.
- Bahiru, D. B. (2021). Assessment of Some Heavy Metals Contamination in Some Vegetables (Tomato, Cabbage, Lettuce and Onion) in Ethiopia: A Review. *American Journal of Environmental Protection*, 10(2), 53-58.
- Beltrán, P. (2016). La revolución verde en marcha Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. (1) (23-55-59)
- Bolaños, D. Cordero G & Segura G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*, (16) 30-48.
- Cachada, A., Rocha-Santos, T. & Duarte, A.C. (2018). Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. *Soil Pollution*, Academic Press. (1) 28.
- Calva, G. y Torres, M. R. (2003). Metales pesados y sus efectos en los organismos Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Depto. Hidrobiología. D.C.B.S. UAM. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (14) 2 145-153.
- Camargo, J.A. y Alonso, A. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International* 32: 831-849.
- Cantero, B. D. y Pérez, G. L. (2018). Evaluación ecotoxicológicas de aguas subterráneas utilizadas para el consumo, en la ciudad de Matanzas. *Convención Internacional de Salud, Cuba.* (8) 188-196.

- Capo Martini M. A. (2007) Principios de la ecotoxicología. Editorial: Tébar; Madrid, España. 135-145.
- Capó, M.A. (2002). Principios de Ecotoxicología. Diagnóstico, Tratamiento y Gestión del Medio Ambiente. Ed- McGraw-Hill. Madrid, España. 333-345.
- Castellanos, J, Z., Uvalle, J, X. & Aguilar S, A. (2000) Manual de Interpretación de Análisis de Suelos 2ª. Edición. Colección INCAPA. (8) 33-38.
- Castillo, V, X., Etchevers, J. D., Hidalgo, M, C, I., & Aguirre, G, A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. Terra Latinoamericana, 39, (698).
- CDB Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2008). Disponible en <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf>
- Celaya-Michel, Hernán, & Castellanos-Villegas, Alejandro E. (2011). Mineralización De Nitrógeno En El Suelo De Zonas Áridas Y Semiáridas. Terra Latinoamericana, 29(3),343-356.
- Cevallos. S M. Urdaneta O, F. Jaimes,E. (2019) desarrollo de sistemas de producción agroecológica: Dimensiones e indicadores para su estudio. Revista de Ciencias Sociales Universidad del Zulia 3, 172-185
- Cruz-Hernández, J., Águila-Muñoz, J. C., Rojano-Hernández, R. y Morales-Jiménez, J. 2017. Digeridos de fermentación de estiércol: consideraciones para su recomendación en agricultura de traspatio. Agroproductividad. 10(7):3-8.
- Del Puerto, Rodríguez, A M.; Suárez, S; Palacio, D E., (2014) Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Ciudad de La Habana, Cuba. (52) 372-387.

- Delgado A. (2014). Heavy metals concentration in soil, plant, earthworm and leachate from poultry manure applied to agricultural departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. Sevilla. 553.
- Díaz-Arriaga, F. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. Rev. Salud Pública (16) 947-957.
- Dongfan Li, Yuanzheng Zhai, Yan Lei, Jie Li, Yanguo Teng, Hong Lu, Xuelian Xia, Weifeng Yue, Jie Yang. (2021). Spatiotemporal evolution of groundwater nitrate nitrogen levels and potential human health risks in the Songnen Plain, Northeast China. Ecotoxicology and Environmental Safety. (5) 208-223.
- FAO. (2015). Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Consultado el 27/11/21. Disponible en <https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s.pdf>
- FAO. (2021). Agricultura Sostenible. Consultado el 07/11/21 disponible en <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
- FOA (2021). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta Consultado el 27 DE noviembre del 2021 disponible en <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- Fernández-Marcos, ML. (2011). Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. Servicio de Publicación e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela.25-3.
- Ferra, R, González M.A.C. y Rodríguez, MN. (1993) Manual de Agro microbiología. Trillas, México. 53-66.
- Forman J, Silverstein J; Comm on Nutrition. (2012) Council on Environmental Health. Organic foods: health and environmental advantages and disadvantages. Pediatrics.

- Galán, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. 48-60.
- García León, M. F. (2020). Identificación molecular de bacterias con potencial fijador de nitrógeno, asociadas a la rizósfera de *Prosopis pallida* "algarrobo". Universidad Nacional de Tumbes, Perú. (08). 256-258.
- Gliessman, S. (2002) Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Editorial Litocat, Turrialba, Costa Rica.
- Hart, D. (1975) conceptos básicos de agroecosistemas centro agronómico tropical
- Hosoya, K., y Sugiyama S. (2017). Weed communities and their negative impact on rice yield in on input paddy fields in the northern part of Japan. *Biological Agriculture y Horticulture* (33), 215-224.
- <https://www.worldatlas.com/articles/the-most-popular-vegetables-in-the-world.html>
- Huang, H; Ouyang, W; Wu, H; Liu, H; Andrea, C. (2017) Long-term diffuse phosphorus pollution dynamics under the combined influence of land use and soil property variations. *Science of The Total Environment*. 579:1894-1903.
- Intragi (2021) Fertilización Nitrogenada en el Cultivo de Cebolla. Consultado el 27/11/21. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fertilizacion-nitrogenada-en-el-cultivo-de-cebolla>
- Jiménez-, Romero, E.M., Crespo-Gutiérrez, R.S., Cuaquer-Fuel, E y Chevez, A.P. (2020). Relación de arvenses en plantaciones *Detentona grandis* L.f. (teca) y su banco de semillas en la zona central del litoral ecuatoriano. *Centro Sur*, 1(7), 69-92.
- Kabata-Pendias, A. (2004) Soil-Plant Transfer of Trace Elements—An Environmental Issue *Geoderma*, 122, 143-149.

- Kebrom, T.H., Woldesenbet, S., Bayabil, H.K. *et al.*, (2019) Evaluation of phytotoxicity of three organic amendments to collard greens using the seed germination bioassay. *Environ Sci Pollut Res* (26), 5454–5462.
- Lacasta, C. stalrich, E. Cordero.F. (2017) Rotaciones de cultivos herbáceos en agricultura de conservación y convencional en ambientes semiáridos y su efecto sobre la flora arvense y el rendimiento del cereal, 33 años de experimentación. XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología. Pamplona-Iruña. 10-15
- Laegreid, M. Bockman, O, C. Kaarstad, O. (1999). *Agriculture, Fertilizer and the environment*, United Kingdom. 165-175.
- Lagos, A. Díaz, T. Saucedo, E. Arriagada, C. Larsen, J. López, JP. (2021). Soil contamination with phenanthrene induces maize mycorrhiza growth suppression. *Rhizosphere*, 18
- Landeros, C. Moreno, C. Nikolskii, L. & Bakhlaeva, B. (2015). Impactos de la agricultura sobre la biodiversidad La biodiversidad en Veracruz. *CONABIO*. (1):147-167.
- Legarreta, P.A., Corral, A.Y., Delgados, R.M., Torres, P.J. y Flores, M.JC. (2015). Material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas. *Cultura Científica y Tecnológica* (56)87-104.
- Look, S. (2006). *Soil Indicators for Determining the Impact of Management on the Stability of Grasslands in Cattle Exploitation*. 18th World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Mancilla-Villa, O. R., Anzaldo-Cortes, B. N., Guevara-Gutiérrez, R. D., Hernández-Vargas, O., Palomera-García, C., Figueroa-González, Y., Ortega-Escobar, H. M., Flores-Magdaleno, H., Can-Chulim, Á., Cruz-Crespo, E., Sánchez-Bernal, E. I., Olguín-López, J. L. y Mendoza-Saldivar, I. (2021). Calidad del agua

subterránea para uso agrícola en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro, México. *Terra Latinoamericana* 39:1-12

Mendoza, Y, M. y Ortiz, B, JC. (2018). Pollution's degree of Chili river by metallic oligoelements and its effect in *Allium* stump L. (onion) crop in the irrigation sector - Tiabaya *Campus* 23(25):43-58.

Mendoza, E, B. Torres, R L. Merú, M C. Gómez, M. Estanga, B y García, O. (2021). "Concentration of Heavy Metals in Soils Under Different Tillage Systems", *TecnoL.*, 24(51):17-38,

Mérida Cano, M. E., & Aguilar Carrera, F. A. D. (2021). Calidad bacteriológica del agua y su relación con el potencial de óxido reducción (ORP). *Agua, Saneamiento & mp; Ambiente*, 15(1), 41–47.

Montenegro-Gómez P. Gómez, P, S. Barrera, S, B (2017) Efecto de la gallinaza sobre *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp. y hongos micorrízicos arbusculares en un cultivo de cebolla (*Allium fistulosum*) *Entramado*.13(2):250-25.

Newman. Jagoe, C. Newman, MC. y Jagoe, C, H. (1994). Ligands and the bioavailability of metals in aquatic environment. *Bioavailability: Physical, Chemical and Biological Interactions*. University of Georgia, United States.

Nürnberg, H. W. (1985). *Pollutants and their ecological significance*. J. Wiley & Sons. New York. United States. (1)189-246.

Otero, L. Vitoria, A. Soler, A. Canals. (2005). Fertiliser characterisation: Major, trace and rare earth elements. Departament de Cristallografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Martí i Franquet's, Barcelona, Spain.

Pedraza, R. O. Teixeira, K.S.; Fernández Scavino, García de Salamone, A. Baca, E.; Azcón, Baldani, Vera L.D.; Bonilla. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *CORPOICA Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11(2):155-1664.

- Pérez, A., Céspedes, C. y Núñez, P. (2008). Physical, chemical and biological characterization of applied organic amendments in crop production in Dominican Republic. *Suelo Nutrición Vegetal* 8(4):10-29.
- Pérez-Díaz, J. P. (2018). Calidad agronómica del sistema hidrográfico Lerma-Santiago-Pacífico y de las aguas que riegan el valle del Mezquital, Hidalgo. (Tesis de Doctorado). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 469 pp.
- Pernía, B, M. Mariuxi, C, X, Ramírez, N, R, Lisette, B, K, López, D, M, & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105.
- Phillips, J. M & Hayman D. S. (1970). Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *British mycological society*. (1) 158-161.
- Pineda, M. E. B. y Rodríguez, A. M. G. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. 2(2): 82–112.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Venezuela. *Interciencia*, 31(8):583-590.
- RAE. (2020). Real Academia Española. Consultado el 4 de mayo del 2021. Disponible en <https://dle.rae.es/par%C3%A1metro>.
- Remtavares. (2006). La contaminación de las aguas subterráneas por nitratos. Grupo de Procesos y Sistemas de Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Madrid, disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/07/12/35033#:~:text=El%20consumo%20de%20agua%20con,de%20ox%C3%ADgeno%20en%20la%20sangre>. Consultado el 08/03/21

- Reyes-Sánchez, J. A., Ochoa-Moreno y Wilman-Santiago. (2021). Producción agrícola y contaminación ambiental relación entre emisiones agrícolas de gas metano y producción agrícola en América Latina. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Richardson AE, Barea JM, McNeill AM, Prigent-Combaret C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil* 32(1):305-339.
- Rodríguez, AJ. Salazar, CA. Ruiz, R. López, E. Sedeño, JE. & Rodríguez, A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río de Chalma. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3):307-316.
- Rodríguez, C, S. De Asmundis, L, C y Martínez, C, G. (2016). Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas. *Agrotecnia* (24), 30-34.
- Ryan, M.H., Chilvers, G.A. & Dumaresq, D.C. (1994). Colonisation of wheat by VA-mycorrhizal fungi was found to be higher on a farm managed in an organic manner than on a conventional neighbour. *Plant Soil*. (160):33–40.
- Salas MC. Urrestaraza M. Valera D. (2003). La contaminación por nitratos en los sistemas agrícolas. *Vida rural* (1) 35-45.
- Sánchez, M, I. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo (Valladolid): contenidos extraíbles, niveles fondos y de referencia. Universidad de Valladolid, Valladolid, España. 22-34.
- Sánchez, O. Herzing, M. Peters, E. Márquez, R. zambrano, L. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. (1):7-145.
- Sanz Sánchez, F. (1974). Sentido y Posibilidades de la Toxicología Ambiental. Discurso de Apertura del Curso Académico U.C.M. 1974-75.

- Sarandón, S. (2002). Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones científicas americanas, la plata, Argentina.
- Schwab, F., Calle-Collado, A. & Muñoz, R. (2020). "Economía social y solidaria y agroecología en cooperativas de agricultura familiar en Brasil como forma de desarrollo de una agricultura sostenible", CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa, 98:189-211.
- Schwentenius, R. R. Vázquez, R. L, E. Rodríguez, N. A. V. Gómez, T. L. y Cruz, R. A. (2021). Comparación de producción orgánica y convencional en aguacate en Ario de Rosales, Michoacán. Asociación Mexicana de investigación interdisciplinaria a.c. Primera edición.
- SEMANART. (2010). Calidad del Agua en México. consultado el 26 de mayo del 2021 disponible en [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/06\\_agua/cap6\\_3.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_3.html).
- Shiva V. (2020) Quién alimenta realmente al mundo?: El fracaso de la agricultura industrial y la promesa de la agroecología. Capitan Swing.
- SIAP. (2020) Producción Nacional de cebolla blanca. Consultado el 22 de mayo del 2021. disponible en: <https://www.gob.mx/siap>.
- SRRC Sistema en reducción de riegos de contaminación. (2021). SENASICA. Consultado el 27/11/21 Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/573822/Anexo\\_T\\_cnico\\_1.\\_V2.1\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/573822/Anexo_T_cnico_1._V2.1_2019.pdf)
- Sykora, V. Clavijo, A. Kronoberg, M, F. Díaz, S. Gomez, C. Manurriz, E y Rossen, A. (2021). Aplicación de bioensayos ecotoxicológicos para evaluar la calidad del agua del arroyo Cañuelas Buenos Aires, Argentina. Tecnología y ciencias del agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 12(1), 261-312.

- Torres, M, JA. Jürgen, M, L W. Daesslé, P., A. Cervantes A, R. Ledesma, R. 2021. Estimation of nitrate pollution sources and transformations in groundwater of an intensive livestock-agricultural area
- Trejo, S. A. y Arriaga, G. (2009). Memoria colectiva: vida lacustre y reserva simbólica en el Valle de Toluca, Estado de México. *Ciencias sociales* (50):303-321.
- Ulloa, A. Arce, P. Galiano, F. Forrest. (2015). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa Tecnología en Marcha. Edición Especial Biocontrol. (1):5-14.
- Urriola, L., Montes Castillo, K., & Díaz Vergara, M., 2021. Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus*). *Revista Semilla Del Este*, 1(2),
- Valle, P. (2000). Toxicología de alimentos. Departamento de Alimentos y Biotecnología Facultad de Química Universidad Nacional Autónoma de México.
- Worldatlas(2021) The Most Popular Vegetables In The World. Consultado el 27/11/21. Disponible en <https://www.worldatlas.com/articles/the-most-popular-vegetables-in-the-world.html>
- Yaradua, A., Alhassan, A. J., Nasir, A., Matazu, S. S., Usman, A., Idi, A., Muhammad, I. U., Yaro, S. A., & Nasir, R. (2020). Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Onion Bulbs Cultivated in Katsina State, North West Nigeria. *Archives of Current Research International*, 20(2):30-39.
- Yunhui ZhangYongshengDai YingWang XunHuangYongXiaoQiumingPei 2021 Hydrochemistry, quality and potential health risk appraisal of nitrate enriched groundwater in the Nanchong area, southwestern China
- Zamora E. (2016). El cultivo de la cebolla. Universidad Autonoma de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora-

Hermosillo. Campo Agrícola Experimental Carretera a Bahía de Kino Km 21,  
Hermosillo, Sonora México

## ANEXOS

### Anexo 1 .Formato de guía de entrevista semiestructurada



#### MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS FORMATO DE ENTREVISTA SEMI ESTRUCTURADA PARA PRODUCTORES DEL SISTEMA CEBOLLA

#### GUÍA DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA PARA APLICAR A PRODUCTORES DE SANTA ISABEL CHOLULA, PUEBLA

- ¿Cuál es su nombre completo?
- ¿Cuál es su Edad?
- ¿Hasta qué grado estudio?
- ¿Qué tanto terreno siembra usted? ¿Es propio, rentado, prestado...?
- ¿Cuáles son sus principales cultivos?
- ¿Cuántas hectáreas siembra de cebolla?
- ¿tipo de insumos agrícolas que utiliza? ¿me podría decir como cuáles y con qué finalidad?
- ¿En cuestión de fertilización, qué utiliza?
- ¿De dónde obtiene sus semillas?
- ¿En el caso de la gallinaza que cantidad utiliza por ciclo productivo? ¿para qué tanto de terreno?
- ¿En qué meses la aplica?
- ¿Recibe algún tratamiento esta gallinaza antes de ser aplicada?
- ¿Sabe de dónde proviene la gallinaza?
- ¿Qué agroindustria la produce?
- ¿Cuál es la dosis que aplica por hectárea?
- ¿Cuántos ciclos productivos obtiene por esa aplicación de gallinaza?
- ¿Cuánto meses dura el ciclo productivo de la cebolla?
- ¿Cuál es el costo que tiene por viaje de gallinaza?

- ¿Cuántas toneladas trae por viaje?
  - ¿A dónde vende su producción de cebolla?
  - ¿Cree usted que el ejido presenta problemas de contaminación? ¿Cuáles?
  - ¿Considera que en el área de su cultivo existan contaminantes?
  - ¿Qué tan contaminado cree que está su terreno? ¿de qué contaminantes?
  - ¿En dónde cree que se encuentren o queden esos residuos?
  - ¿De dónde cree que provengan estos contaminantes?
  
  - Al momento de realizar aplicaciones de algún agroquímico, usted o sus trabajadores han presentado algún malestar como: Irritación ocular ( ) Irritación en la piel ( ) Náuseas ( ) Desmayos ( ) Dolor de cabeza ( ) Sueño ( ) Sangrado nasal ( ) Pérdida de equilibrio ( )
  - ¿Emplea equipo de protección personal al momento de realizar aplicaciones de agroquímicos? ¿en qué consiste?
  - ¿Generalmente de qué color son las etiquetas de los productos que aplica?
  - ¿Alguien lo asesora? ¿quién?
  - ¿Lee las etiquetas antes de usar el producto?
  - ¿Usted respeta las dosis que marca la etiqueta? ¿por qué?
  - ¿Realiza mezclas de diferentes productos? ¿cuáles? ¿por qué?
  - ¿Qué hace con los envases vacíos de los agroquímicos?
  - ¿Cómo siente que ha sido la producción de sus terrenos en los últimos años?
  - ¿Cree usted que exista la posibilidad de producir sin productos químicos?
  - ¿Conoce algún tipo de agricultura en que no se utilicen productos químicos?
  - De acuerdo con su experiencia como agricultor, ¿Cómo era el manejo hace 30 años?
  - ¿Cómo es ahora?
  - ¿Cómo le gustaría que fuera en un futuro, aproximadamente en 10 años
-

## Anexo 2. Tablas de índice de diversidad de arvences por el índice de Sagoon

Tabla 1. Arvences espontaneas del suelo de bosque

<b>Suelo bosque</b>				
<b>Especie</b>	<b># especie</b>	<b>pi</b>	<b>LN Pi (2)</b>	<b>pi*Lnpi</b>
<i>Bidens. Pilosa L</i>	6	0.21428571	-1.1739321	-0.2515569
<i>Aira caryophyllea</i>	4	0.14285714	-1.5793972	-0.2256282
<i>Gronovia scandens L.</i>	1	0.03571429	-2.9656916	-0.1059176
<i>Oxalis triangularis</i>	8	0.28571429	-0.88625	-0.2532143
<i>Solanum nigrum</i>	7	0.25	-1.0197814	-0.2549454
<i>Leonotis nepetifolia</i>	2	0.07142857	-2.2725444	-0.1623246
<b>Σ</b>	28	1		-1.2535869
				-1
<b>H=</b>				<b>1.25358688</b>

Tabla 2. Arvences espontaneas del suelo de bosque mas gallinaza

<b>Suelo bosque más gallinaza</b>				
<b>Especie</b>	<b># especie</b>	<b>pi</b>	<b>LN Pi (2)</b>	<b>pi*Lnpi</b>
<i>Leonotis nepetifolia</i>	1	0.1	-1.93607	-0.193607217
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	2	0.2	-1.24292	-0.248584998
<i>Trifolium repens</i>	4	0.4	-0.54978	-0.219911125
<i>Lepidium virginicum</i>	1	0.1	-1.93607	-0.193607217
<i>solanum chenopodioides</i>	2	0.2	-1.24292	-0.248584998
<b>Σ</b>	10	1		-1.104295556
<b>H=</b>				<b>1.219468674</b>

Tabla 3. Arvencas espontaneas del suelo de orgánico.

<b>suelo orgánico</b>				
Especie	# especie	pi	LN Pi (2)	pi*Lnpi
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	6	0.09677419	-1.968862	-0.190535
<i>solanum chenopodioides</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>Aira caryophylllea</i>	14	0.22580645	-	-0.2532564
			1.1215641	
<i>Chenopodium berlandieri</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>Ambrosia confertiflora</i>	5	0.08064516	-	-0.1734825
			2.1511836	
<i>Portulaca oleracea</i>	6	0.09677419	-1.968862	-0.190535
<i>Anoda cristata</i>	8	0.12903226	-	-0.2169264
			1.6811799	
<i>Coriandrum sativum</i>	3	0.0483871	-	-0.1288069
			2.6620092	
<i>Lepidium virginicum</i>	3	0.0483871	-	-0.1288069
			2.6620092	
<i>Chenopodium berlandieri</i>	3	0.0483871	-	-0.1288069
			2.6620092	
<i>Aira caryophylllea</i>	3	0.0483871	-	-0.1288069
			2.6620092	
<i>Trifolium repens</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>salvia tilifolia Vahl</i>	2	0.03225806	-	-0.0989508
			3.0674743	
<i>Datura ferox</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>Amaranthus hybridus L.</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>poa annual L.</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>cerastium semidecandrum</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>mercurialis annua</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
<i>Dysphania graveolens</i>	1	0.01612903	-	-0.0606552
			3.7606215	
$\Sigma$	62	1		-2.1848105
<b>H=</b>				<b>4.77339691</b>

Tabla 4. Arvences espontaneas del suelo de organico mas gallinaza

<b>Suelo orgánico más gallinaza</b>				
Espece	# espece	pi	LN Pi (2)	pi*Lnpi
<i>Galinsoga parviflora cav</i>	2	0.10526316	-1.884778878	-0.1983978
<i>Chenopodium berlandieri</i>	1	0.05263158	-2.577926059	-0.1356803
<i>Aira caryophyllea</i>	7	0.36842105	-0.63201591	-0.232848
<i>Portulaca oleracea</i>	3	0.15789474	-1.47931377	-0.2335759
<i>solanum chenopodioides</i>	3	0.15789474	-1.47931377	-0.2335759
<i>Trifolium repens</i>	1	0.05263158	-2.577926059	-0.1356803
<i>Coriandrum sativum</i>	1	0.05263158	-2.577926059	-0.1356803
<i>Ambrosia confertiflora</i>	1	0.05263158	-2.577926059	-0.1356803
Σ	19	1		-1.4411187
<b>H=</b>				<b>2.07682321</b>

Tabla 5. Arvences espontaneas del suelo de convencional mas gallinaza

<b>Suelo convencional</b>				
Espece	# espece	pi	LN Pi (2)	pi*Lnpi
<i>phacelia</i>	1	0.111111111	-1.8307117	-0.2034124
<i>tanacetifolia</i>				
<i>Portulaca oleracea</i>	4	0.444444444	-0.4444173	-0.1975188
<i>Ambrosia</i>	1	0.111111111	-1.8307117	-0.2034124
<i>confertiflora</i>				
<i>Galinsoga</i>	3	0.333333333	-0.7320994	-0.2440331
<i>quadriradiata</i>				
Σ	9	1		-0.8483767
<b>H=</b>				<b>0.71974308</b>

Tabla 6. Arvences espontaneas del suelo de convencional mas gallinaza

---

Convencional más gallinaza

---

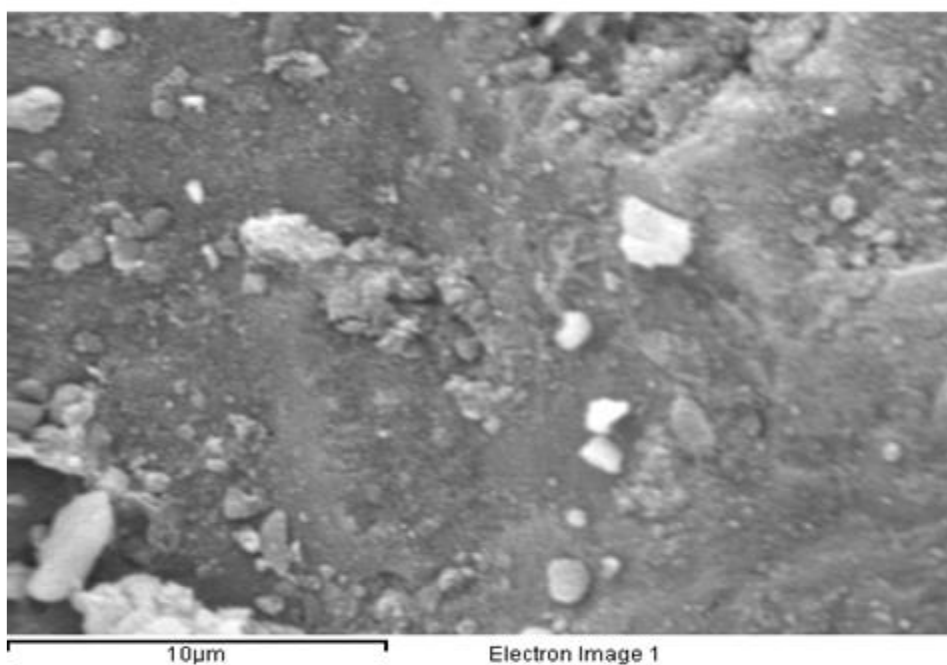
Especie	# especie	pi	LN Pi (2)	pi*Lnpi
0	0	0	0	0

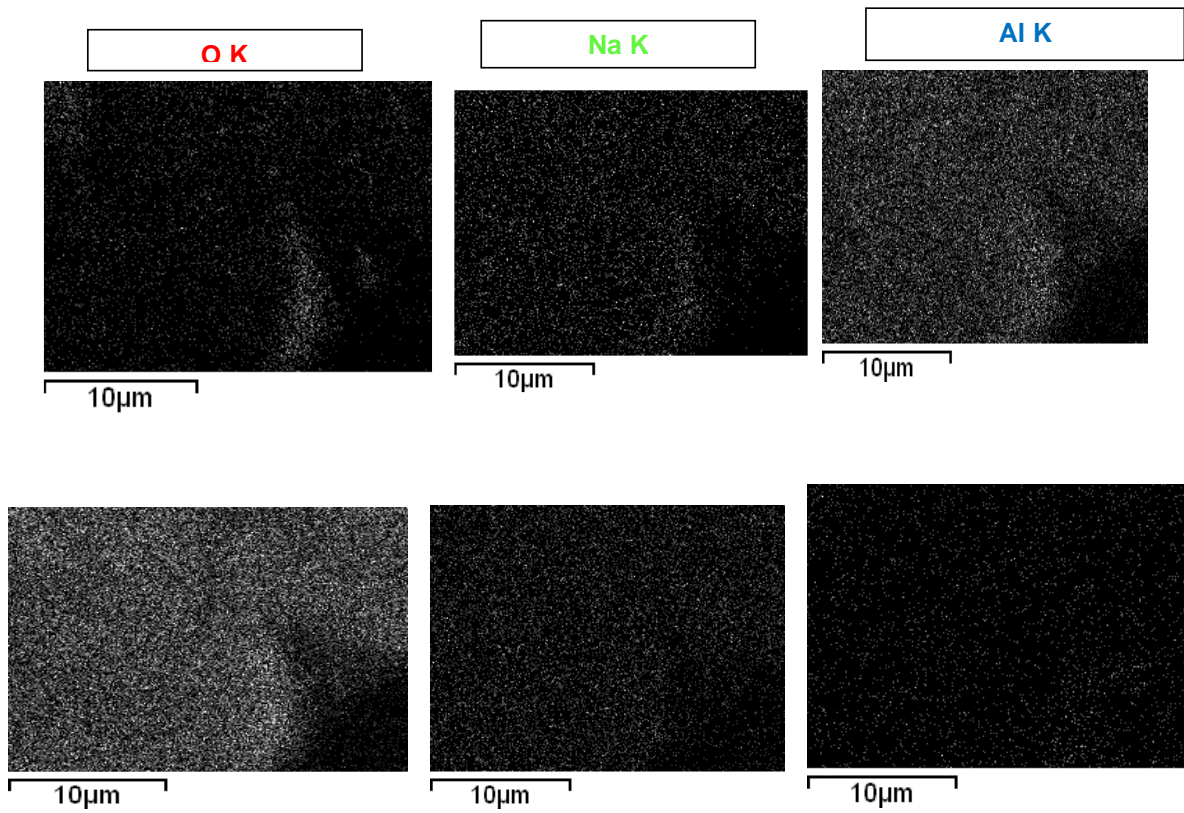
---

**H= 0**

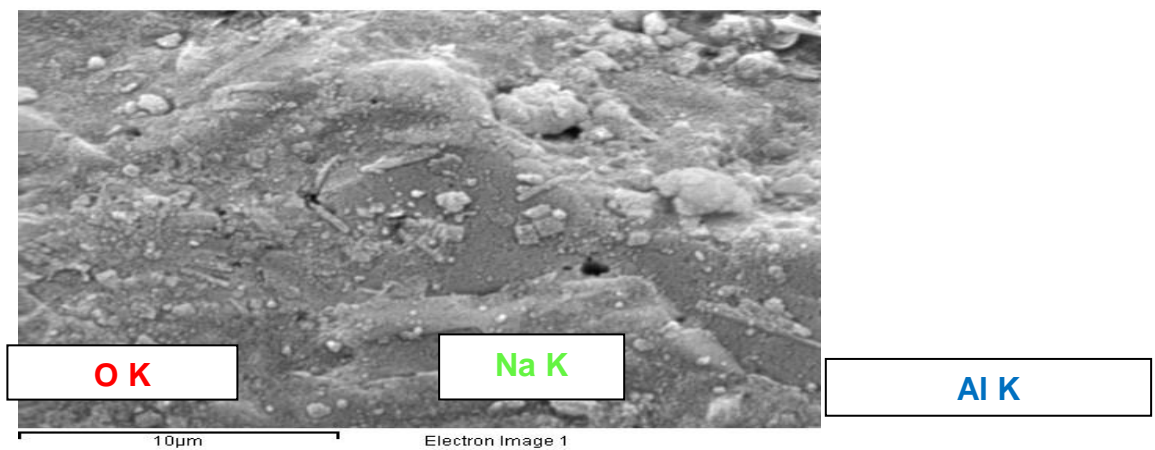
---

**Anexo 3. Fotografías microscópicas del análisis elemental del suelo bosque**



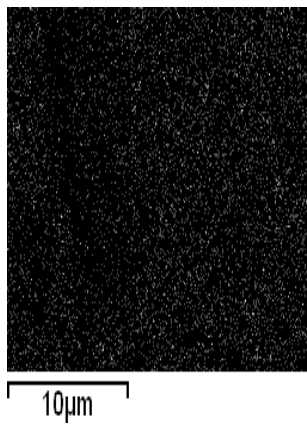


**Anexo 4. Fotografías microscopicas de los análisis elemental del suelo orgánico**

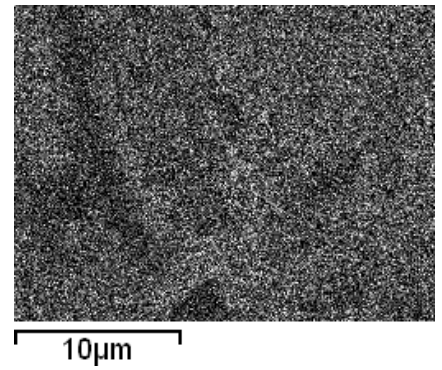




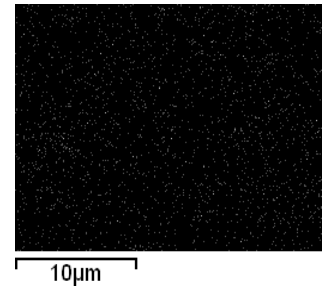
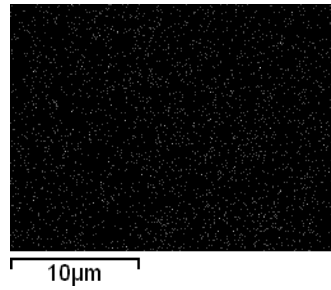
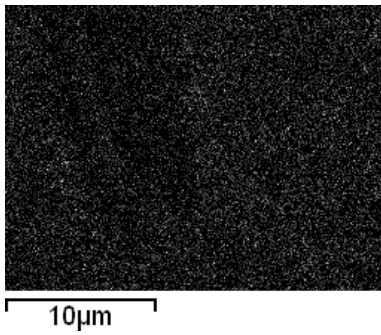
Fe K



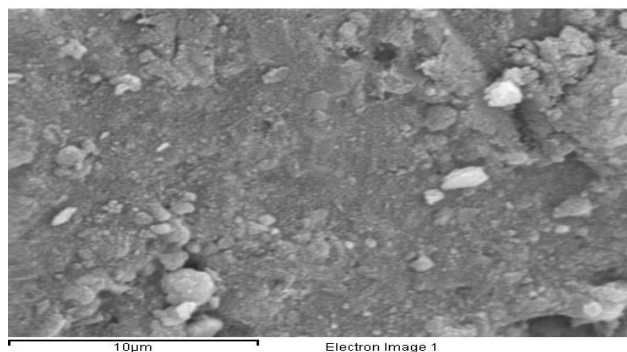
Na K

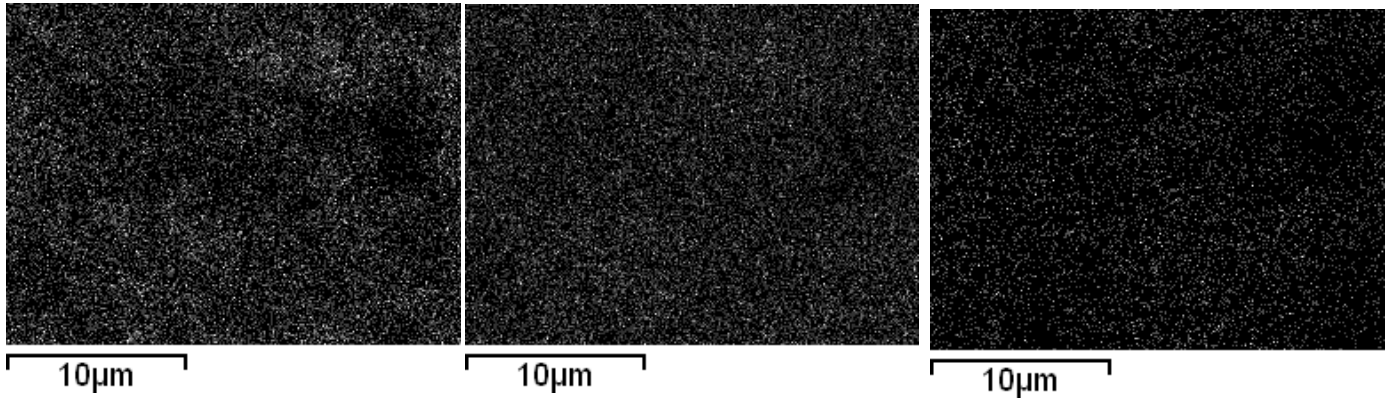


Al K



**Anexo 5. Fotografías microscópicas de los análisis elemental del suelo convencional**





Ti K

Fe K

Ca K

