

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS



Informe final de Curso de Especialización sobre:

“Evaluación de las interacciones entre las especies vegetales incluidas en un sistema milpa orgánico bajo el diseño propuesto por MAOES en San Luis Talpa Departamento de La Paz.”

Presentado por:

JESUS ANTONIO ABREGO VALLE

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



Informe final de Curso de Especialización sobre:
“Evaluación de las interacciones entre las especies vegetales incluidas en un sistema milpa orgánico bajo el diseño propuesto por MAOES en San Luis Talpa Departamento de La Paz.”

Presentado por:
JESUS ANTONIO ABREGO VALLE

Como requisito para optar al título de:
Ingeniero Agrónomo

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO:

ING. MSC. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

ING. MSC. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO

ASESOR INTERNO:

ING. MSC. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO DEL DEPARTAMENTO

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUÍN REINA

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS	2
2.1	General:	2
2.2	Específicos:.....	2
3.	MARCO TEÓRICO	3
3.1	La milpa.....	3
3.2	Beneficios de la producción en asocio de un sistema milpa	4
3.2.1	Agrobiodiversidad	4
3.3	Interacciones	4
3.3.1	Depredación.....	5
3.3.2	Depredación en sentido estricto	5
3.3.3	Herbivoría	5
3.3.4	Parasitismo.	6
3.3.5	Parasitoidismo.	6
3.3.6	Comensalismo	6
3.3.7	Mutualismo.....	6
3.3.8	Mutualismo simbiótico o simbiosis	6
3.3.9	Mutualismo no simbiótico	7
3.3.10	Amensalismo	7
3.3.11	Neutralismo.....	7
3.3.12	Competencia.....	8
3.3.13	Residuos de cosecha	8
3.3.14	Interacciones planta-bacteria.	8
3.4	Microorganismos en cultivos puros.....	9
3.4.1	La actividad humana y la microbiología agrícola en la milpa	12
3.5	Sinergismo entre las especies	14
4.	METODOLOGÍA.....	15
4.1	Metodología de oficina.....	15
4.1.1	Visita al lugar	15
4.1.2	Descripción del lugar Estación experimental	15
4.1.3	Clima y altura	16
4.1.4	Materiales, instrumentos y equipo de la investigación.....	16
4.2	Metodología de campo	17

4.2.1 Adecuación del área de trabajo.....	17
4.2.1.1 Limpieza de la parcela.....	17
4.2.1.2 Preparación de la semilla	18
4.2.1.3 Establecimiento del cultivo.....	18
4.2.1.4 Distanciamiento	19
4.2.1.5 Mantenimiento de la parcela.....	20
4.2.1.6 Fertilización	20
4.2.1.7 Identificación de interacciones biológicas	21
4.3 Metodología de laboratorio y gabinete.....	22
4.3.1 Preparación de los fertilizantes	22
4.3.2 Preparación de insecticidas naturales	22
4.3.3 Identificación de micorrizas en laboratorio	22
4.3.3.1 Metodología para tinción de raíces	22
5. RESULTADOS	24
5.1 Preparación del terreno:	24
5.2 Diseño agronómico para el establecimiento de los cultivos:	25
5.3 Preparación de la semilla:	26
5.4 Siembra:.....	27
5.5 Aplicaciones de fertilizantes foliares:	28
5.6 Fertilización:	28
5.7 Control de hiervas espontaneas de la parcela:	29
5.8 Control de insectos no deseados.....	30
5.9 Aplicación de extracto de hojas de neem para control de insectos	31
6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	33
6.1 Identificación de las interacciones que se encontraron en la parcela agroecológica....	33
6.1.1 Mutualismos encontrados en la parcela agroecológica:	33
6.1.1.1 Mutualismo no simbiótico	33
6.1.1.2 Mutualismo simbiótico o simbiosis	34
6.1.2 Bacteria fijadora de nitrógeno	36
6.1.3 Herbivoría:	37
6.1.4 Interacciones entre plantas dentro del sistema milpa	38
7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	39
8. CONCLUSIONES	40

9. RECOMENDACIONES.....	41
10. BIBLIOGRAFIA	1
11. ANEXOS.....	12

Índice de figuras

Figura 1. Representación de un paisaje natural, una milpa y un agroecosistema moderno, donde se resaltan sus características ecológicas.	9
Figura 2. Localización de la parcela agroecológica en la Panga 3 de la Estación Experimental y de Prácticas San Luis Talpa, Departamento de La Paz	16
Figura 3. Esquema del establecimiento de los cultivos propuesta por MAOES.....	19
Figura 4: Resultados de los análisis de abonos orgánicos solidos tipo compost realizados a al compost donado por Granja Ilobasco a la Estación Experimental de La Universidad de El Salvador. (Analab, 2023)	21
Figura 5: Limpieza de la parcela agroecológica para el establecimiento de los cultivos	24
Figura 6: preparación de la melaza con levadura para su posterior aplicación al terreno.....	25
Figura 7: Diseño de la parcela agroecológica propuesta por MAOES.....	26
Figura 8: semillas empanizadas listas para la siembra.....	27
Figura 9: deposición de la semilla en el terreno de siembra.....	27
Figura 10: aplicación de fertilizante foliar 5-5-5 haciendo uso de una bomba de mochila.....	28
Figura 11: aplicación del fertilizante solido a cada planta.....	29
Figura 12: representación del control competitivo de hierbas espontaneas dentro de la parcela usando a) Corvo o machete; b) Motoguadaña; c) Cuma.	30
Figura 13: cogollo de maíz tratado con neem (<i>Azadirachta indica</i>) y melaza.	31
Figura 14: extracción de sustancias químicas almacenadas en las hojas de neem para el control de insecto.....	32
Figura 15: hormigas alimentándose del líquido excretado por los pulgones, lo que permite un mutualismo (ambas especies se benefician) ya que ellas les brindan protección de depredadores.....	34
Figura 16: abeja alimentándose del néctar de las flores de ajonjolí, llevando consigo en sus patas polen, lo que permite la polinización de diferentes plantas.	35
Figura 17: micelio de micorrizas encontrado en raíces de una planta de maíz de la parcela agroecológica vistas en el laboratorio de la facultad de agronomía de la Universidad de El Salvador mediante el uso de microscopio de luz en objetivo 10X	36
Figura 18: raíces de <i>Vigna sinensis</i> con nódulos de rhizobium spp.....	37

Figura 19: A) *Epilachna tredecimnotata*, conocido como Catarina de la calabaza. B) Gusano cogollero alimentándose de tejidos vegetales en el cogollo de una planta de maíz. 38

Figura 20: diferentes interacciones entre los cultivos en asocio. A) asocio entre maíz, frijol, ayote y yuca. B) asocio entre maíz, frijol, yuca, ajonjolí, ayote y otras plantas espontaneas que atraen insectos polinizadores por sus flores..... 39

Índice de cuadro

Cuadro 1. Fechas de siembra directa de los cultivos	18
Cuadro 2. Fechas de trasplante de cultivos	18
Cuadro 3. Tipos de siembra y simbolización gráfica de los cultivos	19

Índice de Anexos

A1. Diseño del sistema milpa propuesto por MAOES	12
A2. Micorrizas eco logika	12
A3. Esquema de un sistema milpa.....	13
A4. Asocio entre maíz, frijol, yuca y calabaza	13
A5. Frutos de a) Cultivo de okra b) cultivo de maíz c) cultivo de ayote d) cultivo de pipián dentro de la parcela agroecológica	14
A6. Observación de micorrizas por medio de tinción de raíces	15
A7. Observación de microorganismos de montaña en la parcela.....	15
A8. Control de hierbas espontaneas dentro de la parcela	16
A9. Aplicación de fertilizantes a base de estiércol de cerdos	16
A10. Observación de mecanismos de captación de nitrógeno atmosférico por medio de raíces adventicias	17
A11. Empanizado de semillas para la inoculación de micorrizas.....	17

RESUMEN

En vista de la necesidad de fortalecer la agricultura en El Salvador y mejorar el estilo de vida de sus habitantes, la Universidad de El Salvador en conjunto con MAOES han desarrollado una parcela agroecológica en la Estación Experimental y de Prácticas de la UES en San Luis Talpa, La Paz, esto con el fin de demostrar la capacidad de producir alimentos de una manera más amigable con el medio ambiente y evitando el uso de los agroquímicos que las familias salvadoreñas están acostumbradas utilizar, esto con el fin de guiar hacia una agricultura más sustentable y sostenible en el transcurso de los años sabiendo aprovechar los recursos ofrecidos por la naturaleza sin modificación química, para lo cual se eligieron 23 variedades diferentes de cultivos que involucran granos básicos, hortalizas, tubérculos, entre otras especies las cuales se colocaron a diferentes distanciamientos para poder evaluar su comportamiento y si pueden interactuar entre ellas. Los resultados fueron satisfactorios ya que se observó que el asocio entre maíz, frijol, calabaza y yuca brinda muy buenos resultados debido a que no se observó competencia por nutrientes o luz, además, cuando ya han llegado a su etapa de reproducción se disminuyen las labores debido a que con su sombra no permiten el crecimiento de otras hierbas que no son de interés comestible. Por lo tanto, establecer cultivos diversificados mediante un manejo agroecológico es recomendable para las familias salvadoreñas ya que conservan sus recursos naturales y su salud obteniendo diversas fuentes de nutrientes por medio de los diferentes cultivos establecidos.

Palabras clave: agricultura sustentable, agricultura sostenible, interacciones, diversificación, conservación, recursos naturales.

ABSTRACT

In view of the need to strengthen agriculture in El Salvador and improve the lifestyle of its inhabitants, the University of El Salvador in conjunction with MAOES have developed an agroecological plot at the UES Experimental and Practice Station in San Luis Talpa, La Paz, in order to demonstrate the ability to produce food in a more environmentally friendly way and avoiding the use of agrochemicals that Salvadoran families are accustomed to using, this in order to guide towards a more sustainable agriculture over the years, knowing how to take advantage of the resources offered by nature without chemical modification, for which 23 different varieties of crops were chosen that involve basic grains, vegetables, tubers, among other species which were placed at different distances to be able to evaluate their behavior and if they can interact with each other. The results were satisfactory since it was observed that the association between corn, beans, squash and cassava provides very good results because no competition for nutrients or light was observed. In addition, when they have reached their reproductive stage, work is reduced because their shade does not allow the growth of other herbs that are not of edible interest. Therefore, establishing diversified crops through agroecological management is advisable for Salvadoran families since they conserve their natural resources and their health by obtaining diverse sources of nutrients through the different crops established.

Keywords: sustainable agriculture, sustainable agriculture, interactions, diversification, conservation, natural resources.

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación para el ser humano ha sido uno de los mayores retos a nivel mundial, producir a gran escala minimizando la mano de obra incorporando maquinaria y agroquímicos ha sido una de las soluciones a dicho problema, en la actualidad ya está muy arraigada la idea de producir alimentos con la ayuda de agroquímicos lo que conlleva a la aparición de enfermedades renales, de la piel, entre otras más, ocasionando grandes daños a la salud por el uso indiscriminado de los pesticidas (Hoy et al., 2017). Además, hoy se ha vuelto casi inaccesible el comprar estos productos para los pequeños productores ya que el ingreso por la venta de su cosecha es a veces más bajo que el costo de producción de la misma, llevando a los productores a sacar créditos para poder continuar sembrando. (Presidencia.gob 2017) Por otro lado, tenemos el método de agricultura ancestral, el cual, es un método de agricultura que busca integrar diversos cultivos en la misma parcela creando una simbiosis entre ellos lo que conlleva a un control de plagas ecológico, manejo de la sombra para evitar la aparición de hiervas espontáneas y el aprovechamiento de otras plantas y desechos animales para la extracción de repelentes para el control de insectos plaga o para la fertilización de las plantas en la parcela (Loyola, 2016).

Por lo que, frente a esta realidad, el proyecto denominado “Evaluación de las interacciones entre las especies vegetales incluidas en un sistema milpa orgánico bajo el diseño propuesto por MAOES en San Luis Talpa” ejecutado por la Universidad de El Salvador en San Luis Talpa, La Paz con el apoyo de MAOES ha tenido como propósito promover el desarrollo sostenible contribuyendo en la creación de nuevas estrategias de producción para la mejora de la soberanía alimentaria dentro del actual contexto regional.

Atendiendo a este propósito, la presente investigación tiene la importancia de generar y transferir los conocimientos adquiridos como producto de la evaluación de las interacciones que se observan al establecer cultivos diversificados, tomando en consideración a su vez, los efectos de las asociaciones de los cultivos y su contribución a la soberanía alimentaria de la región.

2. OBJETIVOS

2.1 General:

- Evaluar el desarrollo las interacciones entre las especies vegetales incluidas en un sistema milpa orgánico bajo el diseño propuesto por MAOES en San Luis Talpa departamento de La Paz en el periodo de agosto de 2024 a enero del año 2025.

2.2 Específicos:

- Establecer una parcela agroecológica que involucre diferentes cultivos con variedades nativas.
- Identificar las interacciones presentes en la parcela agroecológica.
- Analizar los cultivos que mostraron mejores resultados dentro de la parcela.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 La milpa

La milpa es un sistema tradicional de policultivo que tiene su origen en Mesoamérica (Hernández, 1995); consiste en la asociación simultánea de maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouché, *C. moschata* Duchesne ex Poir o *C. pepo* L.) y diversas leguminosas (*Phaseolus vulgaris* L., *P. lunatus* L., *Vicia faba* L. o *Vigna unguiculata* [L.] Walp.), cultivos que en esta parte del mundo se conocen como las tres hermanas (Aguilar et al., 2003; Lewandowski, 1987). Aunque existen regiones en México y Centroamérica donde la palabra milpa se refiere a cualquier terreno dedicado al cultivo del maíz (Real Academia Española, 2014)

En el caso de la milpa se trata de un policultivo mixto donde varios cultivos crecen simultáneamente sin un arreglo por surcos (Gliessman, 1985). La milpa es además un policultivo suplementario, donde se reduce la densidad de siembra del cultivo principal (en el caso de la milpa, el maíz) para dejar espacio para uno o varios cultivos asociados. Se distingue de policultivos aditivos, donde la densidad de siembra del cultivo principal se mantiene constante (Iverson et al., 2014).

Según el clima, el suelo, la vegetación, las costumbres alimenticias de la región y los intereses y destrezas del productor, la milpa puede incluir un sinnúmero de plantas (anuales y perennes) adicionales. Pueden llegar a encontrarse hasta 50 especies diferentes ya sea cultivadas, auspiciadas o toleradas (Aguilar et al., 2003; Molina et al., 2016). Frecuentemente, un maíz nativo con un ciclo de producción corto es intercalado con otro de un ciclo mayor. Los agricultores, muchos de ellos en subsistencia, mantienen esta diversidad inter e intraespecífica como estrategia para enfrentar futuros cambios ambientales y necesidades económicas actuales (Altieri, 2009a).

3.2 Beneficios de la producción en asocio de un sistema milpa

La milpa se desarrolla tradicionalmente en época lluviosa y sin mayor involucramiento de agromaquinaria. La agrobiodiversidad generada es la principal estrategia para enfrentar plagas y enfermedades. En muchas partes de México, el manejo de barbecho en la milpa es relacionado con la práctica de roza, tumba y quema que también aporta nutrientes a estos policultivos (Mariaca, 2011).

3.2.1 Agrobiodiversidad

Los agroecosistemas tradicionales se caracterizan por una biodiversidad funcional que genera sinergismos que garantizan una resiliencia ante perturbaciones externas y un alto potencial de adaptación a situaciones cambiantes (Altieri, 2004). Cuando más complejo y diverso sea un agroecosistema, menos es la fluctuación en términos de diversidad de especies lo que fomenta la estabilidad del sistema (Sullivan, 1998). Esta virtud de los policultivos depende del nivel de interacción entre los componentes bióticos, domesticados y salvajes, y abióticos de un agroecosistema (Altieri, 2009a) y del manejo de los productores (Altieri, 2009b). Consecuentemente, el policultivo, la agrobiodiversidad implementada, destaca por ser una estrategia eficiente para enfrentar los retos del cambio climático.

3.3 Interacciones

La interacción de maíz, leguminosas y calabaza genera un aumento de la producción por planta de maíz en comparación con su monocultivo, la sobrecosecha (Altieri et al., 2011). El rendimiento de un cultivo es altamente determinado por su competencia intraespecífica; en un policultivo suplementario, una sustitución parcial del cultivo principal por otro incrementa su nivel de producción por una reducción de la competencia intraespecífica (Iverson et al., 2014).

¿Qué tipos de interacción entre dos especies existen?

Existen muchos tipos de interacciones entre especies: depredación, mutualismo, amensalismo, competencia, neutralismo, comensalismo, simbiosis, parasitismo, parasitoidismo, etc.

La depredación en sentido amplio engloba 4 tipos de interacciones: depredación en sentido estricto, herbivoría, parasitismo y parasitoidismo. Se diferencian por el número de presas depredadas durante la vida del depredador y por si la presa muere o no.

La simbiosis se encuentra dentro del mutualismo pues en esta relación ambos individuos obtienen beneficios.

Podemos encontrar 6 tipos de interacciones en función del tipo de efecto que recibe cada organismo al establecer la relación con el otro organismo. (García 2020b)

3.3.1 Depredación

El efecto para el individuo que depreda es positivo y para el depredado es negativo. La depredación en un sentido amplio es aquella interacción en la que un organismo obtiene energía consumiendo parcial o totalmente a otro organismo, su presa. Por ello, dentro de la depredación podemos encontrar 4 tipos de interacciones:

3.3.2 Depredación en sentido estricto

El depredador mata a su presa y la consume totalmente. Consume durante su vida más de una presa. Ejemplos de esta relación es una ardilla depredando una semilla o las ballenas alimentándose de zooplancton.

3.3.3 Herbivoría

No siempre mata a su presa pues consumen parcialmente la presa. El herbívoro consume muchas presas diferentes a lo largo de su vida, pero sin consumirlas totalmente. Ejemplo de ello somos nosotros alimentándonos de la leche de las vacas (García 2020b).

3.3.4 Parasitismo.

El huésped no consume totalmente a la presa, le interesa obtener alimento de esta por largo tiempo. Por ello, tan sólo accidentalmente o de manera indirecta causan la muerte del hospedador. Tan solo atacan a una presa (o pocas) a lo largo de su vida. Ejemplo de esto son las bacterias de la neumonía.

3.3.5 Parasitoidismo.

En este caso el huésped mata al hospedador. Tan solo atacan a una presa en toda su vida. Las larvas de himenópteros son ejemplo de esta interacción. Estos crecen dentro de un hospedador y lo consumen totalmente.

3.3.6 Comensalismo

Esta relación tiene un efecto positivo para un organismo y efecto neutro o nulo para otro. Es el caso de muchas plantas epífitas que crecen sobre el tronco de árboles. Las plantas obtienen un sustrato donde agarrarse y para el árbol no supone algo positivo ni negativo.

3.3.7 Mutualismo

El mutualismo es la relación que se establece entre dos organismos que obtienen beneficios. El mutualismo puede ser simbiótico o no simbiótico. También puede ser obligado o facultativo. Obligado si ambas especies se necesitan para reproducirse o sobrevivir. Facultativo si la relación es opcional ya que pueden sobrevivir sin la presencia del otro, pero se reduce su éxito reproductivo.

3.3.8 Mutualismo simbiótico o simbiosis

Se dice que es simbiótico cuando el contacto es permanente entre ambos. Las micorrizas para las leguminosas como la retama se forman mediante una relación simbiótica entre hongo y raíces (García 2020b).

3.3.9 Mutualismo no simbiótico

El contacto no es permanente. Un ejemplo es la relación que tienen las hormigas y los pulgones. (García 2020b)

Un ejemplo de relación mutualista se da entre los pulgones y las hormigas.

Los pulgones son fluidófagos, es decir, se alimentan de la savia de las plantas perforando el tallo con su aparato picador. De esta manera obtienen gran cantidad de nitrógeno y carbono, excretando el excedente en forma de ligamaza, una sustancia viscosa rica en carbohidratos, muy dulce.

Las hormigas ven muy apetitosa esta sustancia, por lo que tratan a los pulgones como su ganado, obteniendo la glucosa de estos insectos.

Sin embargo, esto no es del todo gratis. Como a las hormigas no les interesa perder a sus pulgones, los protegen de los depredadores, entrando en escena las mariquitas.

Las mariquitas son voraces depredadores de los pulgones (áfidos), cochinillas, ácaros, larvas de moscas y otras plagas de la agricultura. Al ver tal cantidad de pulgones en una misma planta, las mariquitas acuden rápidas para alimentarse. Sin embargo, esta colonia de pulgones está protegida por un grupo de hormigas. (García 2020a)

3.3.10 Amensalismo

En este caso, para un organismo el efecto es nulo, pero para el otro la interacción es negativa. ¿Cuándo ocurre esto? Un ejemplo es el pisoteo del pasto por el ganado. Las gramíneas sufren un efecto negativo al aplastarse, mientras las vacas pasean sin recibir ningún efecto. (García 2020b)

3.3.11 Neutralismo

El efecto es nulo o neutro para ambos. Ejemplos pueden ser una cebra y una jirafa que se alimentan de recursos distintos. (García 2020b)

3.3.12 Competencia

La competencia es la interacción que genera un efecto negativo en ambos individuos. Esta podemos observar en todas partes, sobre todo con las especies invasoras: entre el visón americano y el europeo, el cangrejo americano y el europeo, la tortuga de florida y el galápagos leproso. (García 2020b)

3.3.13 Residuos de cosecha

Gliessman (1985) demostró que 1.73 ha de maíz en monocultivo producen tanto alimento como 1 ha de milpa; generando una cantidad adicional de 2 Mg ha⁻¹ de residuos de cultivo (para ser incorporados al suelo) en comparación con un monocultivo. Según Zhang et al. (2014), el policultivo de maíz y frijol (sin calabaza) genera una sobrecosecha parecida.

3.3.14 Interacciones planta-bacteria.

En la milpa, la siembra simultánea de distintas variedades de maíz nativo en asociación con otros cultivos, las prácticas de labranza mínima y la nula presencia de agroquímicos, han mantenido una muy alta diversidad de animales, plantas y microorganismos en el suelo del ecosistema (Figura 1) (Ebel et al., 2017; Rebollar et al., 2017). Esto último, contrasta con la biodiversidad microbiana disminuida en los monocultivos agrícolas modernos. Por lo tanto, en la milpa se favorecen interacciones ecológicas (CONABIO, 2020), que parecen estar estrechamente relacionadas con la salud, o equilibrio de los ecosistemas (Stukenbrock & McDonald, 2008). Por ende, la generación de conocimiento científico es prioritaria para la preservación de los agroecosistemas tradicionales, así como para aumentar el rendimiento de las cosechas de manera sustentable.

Los microorganismos juegan un papel vital en la sanidad de las plantas. En este sentido, es probable que cuando nuestros ancestros domesticaron el maíz y otras especies en la milpa, también domesticaron inadvertidamente a los microorganismos que contribuyen benéficamente al desarrollo de las plantas (Tkacz et al., 2020). La milpa ha sido propuesta para el estudio in situ de la influencia de la domesticación sobre la evolución de las plantas, específicamente del maíz (Chen et al., 2017). Asimismo, el microbioma de la milpa podría ser

tanto un acervo genético sustancialmente distinto al de los agroecosistemas modernos como un ecosistema modelo para el estudio de la diversidad e interacciones de los microorganismos del suelo y los que se asocian a las plantas.

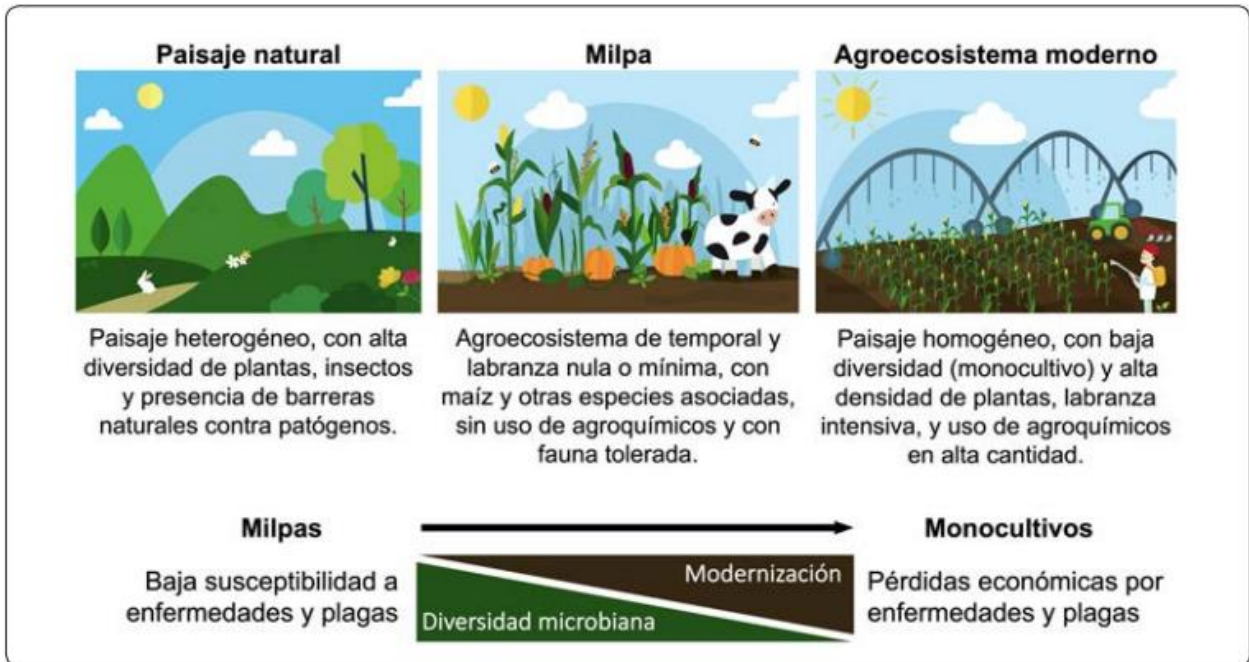


Figura 1. Representación de un paisaje natural, una milpa y un agroecosistema moderno, donde se resaltan sus características ecológicas. Arriba: contraste entre un paisaje natural o no intervenido (izquierda), una milpa (centro) y un agroecosistema moderno (derecha). La adopción de prácticas modernas en sistemas agrícolas modernos (ejemplificadas por el riego, uso de maquinaria, monocultivo y aplicación de fertilizantes) va acompañada de una visible reducción en la diversidad de plantas y animales. Abajo: el gradiente de modernización está inversamente relacionado a la microbiodiversidad en los agroecosistemas, lo que impacta en la susceptibilidad a enfermedades (Gastélum, 2020)

3.4 Microorganismos en cultivos puros

Existe una gran diversidad de microorganismos en el suelo que establecen interacciones benéficas con las plantas, ya sea mediante la limitación de la interacción planta-patógeno o plaga (hongos e insectos), a través de la promoción del crecimiento vegetal o al aumentar su tolerancia al estrés biótico o abiótico (Berendsen, Pieterse & Bakker, 2012; Bulgarelli,

Schlaeppli, Spaepen, Van Themaat & Schulze-Lefert, 2013). Por ejemplo, las bacterias fijadoras de Nitrógeno (N_2) establecen interacciones benéficas, ya que son capaces de tomar N_2 atmosférico y transformarlo en amonio (NH_4) para que las plantas lo puedan utilizar (Bargaz et al., 2018; Hirsch & Mauchline, 2015). Un gran número de bacterias son capaces de fijar N_2 . Algunas establecen relaciones simbióticas con las plantas y forman nódulos en las raíces de las leguminosas (bacterias del orden Rhizobiales) (Franche, Lindström & Elmerich, 2009; Liu et al., 2018; Mus et al., 2016). Otras, se encuentran de forma libre en la rizosfera de otras plantas (bacterias de los géneros *Azospirillum* o *Azotobacter*) o dentro de ellas como endófitos (bacterias del género *Herbaspirillum*) (Bhattacharyya & Jha, 2012; Mus et al., 2016). Entre los microorganismos capaces de controlar plagas, destacan *Bacillus thuringiensis* – una bacteria entomopatógena – y *Trichoderma* sp. – hongos con actividad antifúngica – (Benítez et al, 2004; Milner, 1994; Sanchis, 2011). Finalmente, especies como *Bacillus subtilis* o bacterias del género *Pseudomonas* son promotoras del crecimiento vegetal (Sivasakthi et al., 2014).

Lo anterior, es conocimiento que se generó gracias a los estudios en cultivos puros de hongos y bacterias en el laboratorio y que dio lugar a la producción de inoculantes comerciales. Estos consisten en formulaciones con microorganismos, de los cuales, muchos son casos de éxito, ya que se han aplicado ampliamente en el campo (Clayton et al., 2004; Mauro, Garcia-Cela, Pietri, Cotty & Battilani, 2018). Los inoculantes son alternativas naturales para evitar o disminuir el uso de agroquímicos y fertilizantes. Sin embargo, a pesar de lo descrito sobre los mecanismos moleculares que dirigen las funciones benéficas de los microorganismos en cultivos puros, y después de décadas de desarrollo biotecnológico y comercialización, su aplicación en el campo aún representa un gran reto. Por ejemplo, con frecuencia los microorganismos no son aplicados en la cantidad suficiente, son desplazados por otras especies del suelo o requieren condiciones específicas para llevar a cabo el efecto deseado (Mitter et al., 2019). Esta baja calidad en los productos da como resultado la pérdida de confianza de los productores (Herrmann & Lesueur, 2013) por lo que, en su estado actual de desarrollo, la aplicación de inoculantes dista de ser la solución que alivie el excesivo uso de

agroquímicos y cubra la necesidad de incrementar la productividad agrícola de manera sustentable (Qiu et al., 2019).

Algunos trabajos de investigación se han enfocado en abordar este tipo de cuestionamientos. Por ejemplo, se ha estudiado el destino de las células bacterianas una vez que se aplican en el suelo (Van Veen et al., 1997) y el uso de bacterias nativas adaptadas a las condiciones ambientales, para afrontar problemas locales de plagas y enfermedades (Howell, 2003; Santhanam et al., 2015). También se ha comenzado a explorar el efecto de las interacciones bacteria-bacteria sobre la actividad biológica de interés, esto es: cómo se comportan las bacterias una vez que están en contacto con la microbiota del suelo (Kaminsky et al., 2019). Muchos de estos aspectos ecológicos quedan fuera del alcance de los estudios con bacterias en cultivos puros, por lo que es necesario incorporar estrategias experimentales que consideren a las bacterias de interés como parte de los complejos microbiomas del suelo, de la rizosfera o como endófitas de las plantas.

La milpa, con sus características ecológicas únicas, podría ser una fuente de cepas microbianas con actividad biológica y potencial biotecnológico (Aguirre-Von-Wobeser, Rocha Estrada, Shapiro & De La Torre, 2018; Rebollar et al., 2017; Van Deynze et al., 2018). Para que el efecto de la aplicación de inoculantes sea efectivo, se debe considerar no sólo el estudio de las interacciones bipartitas (bacteria-hospedero, bacteria-patógeno o bacteria-plaga) en ambientes controlados, sino también en ambientes complejos (Kaminsky et al., 2019; Mitter et al., 2019). Los microorganismos son capaces de producir moléculas – como resultado de su metabolismo – con una gran variedad de estructuras químicas y actividades biológicas, entre las que destacan las propiedades antibióticas (Woodruff, 1980). Por lo tanto, es indispensable estudiar también los efectos que tienen los productos naturales con actividad biológica en el contexto ambiental de interés, con el fin de no ocasionar un desbalance ecológico indeseable.

Las comunidades bacterianas en la rizosfera se han estudiado en plantas de maíz, principalmente en variedades híbridas. En la rizosfera de algunas variedades híbridas aumenta la presencia de Proteobacterias – con respecto a su abundancia en el suelo – y se

excluyen especies de los grupos Acidobacteria, Chloroflexi, Planctomycetes, y Verrucomicrobia (Peiffer et al., 2013). En otras, se ha reportado que los phyla más abundantes son Proteobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes, y Actinobacteria, siendo Bacteroidetes el único grupo enriquecido con respecto al microbioma del suelo (Niu, Paulson, Zheng & Kolter, 2017). Además, el phylum Proteobacteria es más abundante dentro de las raíces, lo que sugiere que las bacterias de este grupo establecen interacciones importantes con el maíz como endófitas. Por otro lado, existen escasos estudios donde se han identificado los microbiomas asociados a variedades nativas de maíz. En un estudio realizado en milpas en Tlaxcala, México (Rebollar et al., 2017) se encontró que los phyla dominantes en el suelo cercano a la rizosfera son Proteobacteria, Actinobacteria, Acidobacteria, Gemmatimonadetes, y Verrucomicrobia. Además, nuestro estudio en milpas de Hidalgo indica que bacterias de los phyla Verrucomicrobia, Actinobacteria y del orden Burkholderiales (del phylum Proteobacteria) son seleccionados por las raíces de las plantas de maíz (Aguirre-Von-Wobeser et al., 2018).

Los estudios anteriores muestran que existen diferencias entre el ensamble de comunidades asociadas a variedades de maíz híbridas y nativas. Por ejemplo, el papel aparentemente contrario del grupo Verrucomicrobia, que se excluye de la raíz de maíces híbridos (Peiffer et al., 2013), pero se enriquece en la raíz de maíces nativos (Aguirre-Von-Wobeser et al., 2018); por lo que se puede inferir que las interacciones planta-bacteria pueden diferir en ambos tipos de maíz. Recientemente, se estudió la microbiota de una variedad de maíz criollo de la sierra Mixe en Oaxaca (Van Deynze et al., 2018) y se identificaron especies de bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas al mucílago de las raíces aéreas; esto demuestra que los microorganismos asociados a maíces nativos pueden establecer interacciones con la planta que no son comunes en los maíces híbridos. En este caso, la interacción contribuye a la fijación de nitrógeno de la atmósfera, ya que este es un elemento escaso en el suelo.

3.4.1 La actividad humana y la microbiología agrícola en la milpa

Los seres humanos modificamos profundamente nuestro entorno a través de la agricultura. Sin embargo, la implementación de prácticas nocivas para el ambiente comenzó durante la

segunda mitad del siglo XX, con la revolución verde (Khush, 2001). Por ejemplo, la introducción de fertilizantes, pesticidas químicos y maquinaria; el modelo económico de la industrialización y la globalización; la creación de variedades mejoradas; el uso del monocultivo en alta densidad, etc. (Figura 1). Estas prácticas han ocasionado que la agricultura moderna no sea sustentable, por disminuir la fertilidad del suelo, la biodiversidad y contribuir a que la agricultura actual emita el 50% de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Hathaway, 2016).

Adicionalmente, existen varias desventajas biológicas en los agroecosistemas modernos; por ejemplo, los monocultivos son más susceptibles a la presencia de enfermedades emergentes y de plagas resistentes a los agroquímicos, en comparación con las plantas silvestres en ambientes naturales o a las especies en agroecosistemas tradicionales como la milpa. Los fenómenos que causan estas limitaciones son un campo de estudio en desarrollo; sin embargo, se han descrito algunos mecanismos que las explican parcialmente. En un monocultivo, cuando una población bacteriana invade de manera virulenta a una planta, se encuentra con una extensión de territorio donde todas las plantas son igualmente susceptibles, dado que son genéticamente homogéneas (Stukenbrock & McDonald, 2008) y sembradas en una alta densidad, físicamente cercanas unas a otras. De igual manera, se ha descrito que, al seleccionar semillas para una mayor productividad en los monocultivos, se modifica la genética de las plantas (Pérez et al., 2016) y posiblemente su fisiología, lo que modifica la estructura e interacciones de la microbiota.

La aplicación de fertilizantes y plaguicidas también incrementan la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades. Estos reducen la biodiversidad en el sistema (eliminan insectos benéficos, hierbas, etc.), por lo tanto, se promueve la virulencia del patógeno emergente (plaga, hongos o virus) a falta de enemigos naturales que limiten su dispersión o transmisión (Matson et al., 1997). Por último, la presencia de especies de plantas cultivadas fuera de sus centros de origen – derivado de la globalización – también tiene consecuencias importantes. Las plantas introducidas pueden representar un nuevo hábitat donde las bacterias nativas sean capaces de desarrollar su patogenicidad (Shapiro et al., 2018).

3.5 Sinergismo entre las especies

Sobrecosecha en un policultivo como la milpa se debe a efectos de selección donde prospera el cultivo dominante gracias a aportaciones de los demás o a complementariedad de nicho donde las diversas plantas aprovechan nichos diferentes. En la milpa se detectan ambos fenómenos (Zhang et al., 2014) pero predomina la complementariedad de nicho causada por diferencias arquitectónicas de las raíces entre maíz, frijol y calabaza que resulta en una eficiente absorción de nutrientes (Postma y Lynch, 2012). Aparte, el frijol es una planta fijadora de nitrógeno atmosférico que aporta este nutriente a los demás cultivos. En cambio, la caña de maíz proporciona sostén al frijol. La calabaza sembrada entre el maíz y el frijol cubre ampliamente el suelo y consecuentemente limita el desarrollo de arvenses y ayuda a mantener la humedad del suelo (Aguilar et al., 2003; Gliessman, 1990; Wang et al., 2010).

Actualmente, la milpa es un referente y fuente de inspiración para el desarrollo de sistemas de producción de cultivos más sustentables, así como un sistema que contribuye a la soberanía alimentaria, debido a que se prioriza la producción agrícola local para alimentar a la población. Por ejemplo, en la milpa se aprovechan las plantas que crecen de manera natural, principalmente especies herbáceas conocidas como quelites (verdolagas, quintoniles, huazontle, nabos, romeritos, entre otras). (SADR, 2020)

Crear sinergias en los sistemas alimentarios reporta múltiples beneficios. Mediante la optimización de las sinergias biológicas, las prácticas agroecológicas potencian las funciones ecológicas, lo que da lugar a un aumento de la eficiencia en el uso de los recursos y de la resiliencia. Por ejemplo, a escala mundial, la fijación biológica del nitrógeno por parte de las legumbres en sistemas de cultivos intercalados o rotaciones ahorra cerca de 10 millones de USD en fertilizantes nitrogenados cada año, al tiempo que contribuye a la salud del suelo, la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo. Además, alrededor del 15 por ciento del nitrógeno que se aplica a los cultivos proviene del estiércol animal, lo que pone de relieve las sinergias derivadas de la integración entre agricultura y ganadería. En Asia, los sistemas integrados de cultivo de arroz combinan el cultivo de arroz con la generación de otros productos como peces, patos y árboles. Al incrementar las sinergias al máximo, los

sistemas integrados de cultivo de arroz mejoran significativamente el rendimiento, la diversidad alimentaria, la eliminación de malas hierbas y la estructura y fertilidad del suelo, además de ofrecer un hábitat de biodiversidad y propiciar la lucha contra las plagas. (FAO, 2024)

4. METODOLOGÍA

4.1 Metodología de oficina

El desarrollo de este trabajo inicio con la selección del tema de investigación que fue elegido según los principales problemas que afectan a los productores agrícolas, uno de ellos es el alto costo de los insumos agrícolas para la fertilización y control de plagas de sus cultivos, para buscar una alternativa viable que se fundamentara en la agroecología para no perturbar o seguir dañando el medio ambiente y la calidad de vida de los seres del entorno, esto, conforme al lugar donde se desarrollaría la investigación apoyándose del método científico para fundamentar de forma técnica la tecnología que se ira a emplear, además, de ser una alternativa rentable para el uso de nuestros productores, y esto a su vez quedaría plasmado en un formato de tesina para optar al grado de ingeniero agrónomo.

4.1.1 Visita al lugar

Teniéndose el tema planteado y conociendo los detalles de la investigación se procedió a hacer una visita al lugar para observar las características del área de trabajo, los materiales a utilizar y el diseño implementado en la parcela agroecológica con el objetivo de generar un documento que justifique por qué es necesario diversificar la parcela y no utilizar productos químicos para favorecer la aparición e interacción biológica de los seres que la integran, esto ayudará a tener más opciones de tratamientos sencillos y poco costosos para mejorar tanto la calidad del ambiente y contribuyendo a la sostenibilidad del mismo.

4.1.2 Descripción del lugar Estación experimental

El Campo Experimental y de Prácticas cuenta con un área designada a la producción agroecológica la cual cuenta con alrededor de 11 meses de descanso antes de ser intervenida

para el establecimiento de la parcela agroecológica y tiene coordenadas geográficas; 13.4692538 Latitud Norte, -89.1036687 Longitud Oeste. ubicado en el municipio de San Luis Talpa, departamento de la Paz.

4.1.3 Clima y altura

La precipitación en la zona presenta un rango entre los 1500 a 1700 milímetros/ año. En cuanto a la temperatura media anual, en el área se presentan rangos entre los 28 a 33 grados centígrados, a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

A continuación, se muestra encerrado en color rojo la parcela donde se ubica el estudio:



Figura 2. Localización de la parcela agroecológica en la Panga 3 de la Estación Experimental y de Prácticas San Luis Talpa, Departamento de La Paz

4.1.4 Materiales, instrumentos y equipo de la investigación.

El desarrollo de esta investigación fue necesario el uso de equipos y materiales que facilitaron la recolección de información y que sería necesaria para dar un orden lógico y sistematizar el desarrollo de esta, llegándose a tener información confiable y concreta para dar un análisis lógico y certero de la información obtenida y estos materiales y equipos serán los siguientes:

Pala o palin: esta herramienta servirá para el monitoreo de interacciones dentro del suelo, para observar el desarrollo de las raíces de los cultivos.

Corvos y cumas: Esta herramienta será de gran ayuda para limpiar el área de trabajo y mantener la maleza controlada.

Cubetas: se utilizarán para transportar el material de fertilización

Bomba de mochila: útil para las aplicaciones de productos de carácter líquido vía foliar o directa al suelo.

Cámara fotográfica: La cámara fotográfica se utilizará en el desarrollo de esta investigación para registrar cada una de las actividades que se realizaban y tener un respaldo de las mismas, ya sean estas el mantenimiento semanal de la parcela o la toma de muestras de suelo y aéreas de las interacciones observadas.

Computadora: El equipo informático será de gran ayuda en la redacción de cada uno de los apartados de esta tesina, así como para redactar y procesar toda la información referente a la investigación.

Microscopio de luz, porta objetos y cubre objetos para la identificación de micorrizas en muestras de raíz.

4.2 Metodología de campo

4.2.1 Adecuación del área de trabajo

4.2.1.1 Limpieza de la parcela

Para ello se utilizó machete o cuma para cortar las hierbas existentes y dejarlas degradarse en el suelo generando la incorporación de nutrientes en el suelo.

Delimitación de las camas de siembra

Las camas donde se realizó la siembra están ya establecidas con un ancho de 150 cm entre cama y cama

4.2.1.2 Preparación de la semilla

Para ello se realizó un empanizado donde se mezcla una pequeña porción de melaza que sirve como adherente para adicionarle micorrizas que fueron donadas por eco logika (ver A1) una empresa que realiza productos orgánicos.

4.2.1.3 Establecimiento del cultivo

El distanciamiento de siembra del maíz fue de 50 cm entre planta y habrá un surco por cada cama, el de los demás cultivos dependerá de la cantidad de semilla que haya de cada uno de ellos.

Cuadro 1. Fechas de siembra directa de los cultivos

Especie	Fecha de siembra
Maíz	14/9/2024
Frijol	28/9/2024
Pipián	1/9/2024
Okra	14/9/2024
Pepino criollo	1/9/2024
Ajonjolí	14/9/2024
Hierba Mora	14/9/2024
Otoe	22/7/2024
Yuca	1/9/2024
Malanga	22/7/2024
Cúrcuma	22/7/2024
Chaya	21/9/2024
Flor de Jamaica	14/9/2024

Elaborado con base en las fechas que se sembró cada cultivo dentro de la parcela agroecológica.

Cuadro 2. Fechas de trasplante de cultivos

Especie	Fecha de siembra
Chile habanero	28/8/2024
Tomate silvestre	28/8/2024
Espinaca de arbusto	28/8/2024

Elaborado con base en las fechas de trasplante de cada cultivo.

4.2.1.4 Distanciamiento

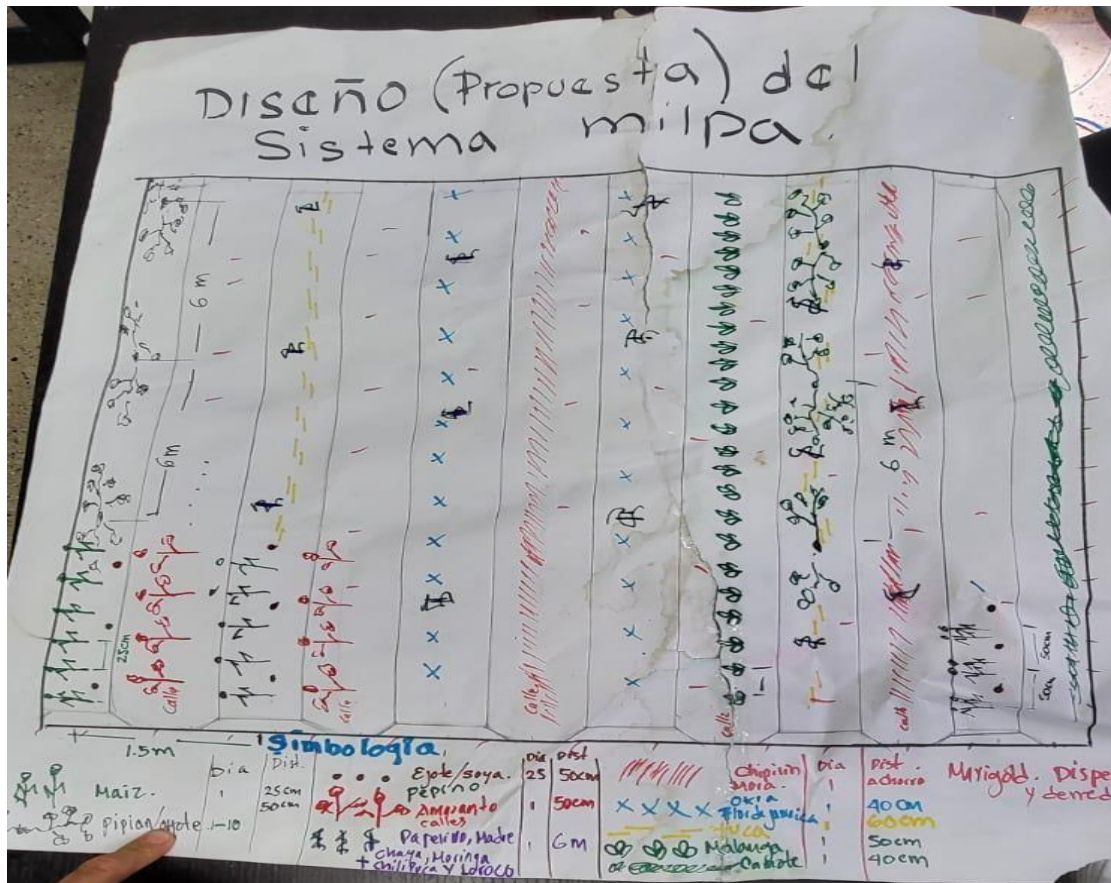


Figura 3. Esquema del establecimiento de los cultivos propuesta por MAOES

Cuadro 3. Tipos de siembra y simbolización gráfica de los cultivos

Distanciamiento	Especie	Nombre científico
0.4 m x 1.5 m	Ajonjolí	Sesamum indicum L
0.4 m x 1.5 m	Hierba mora	Sesamum indicum L
0.5 m x 1.5 m	Maíz	Zea mays
0.5 m x 1.5 m	Tomate	Solanum lycopersicum
0.5 m x 1.5 m	Chile habanero	Capsicum chinense
0.5 m x 1.5 m	Frijol	Phaseolus vulgaris
0.5 m x 1.5 m	Espinaca de arbusto	Spinacia oleracea L
0.5 m x 1.5 m	Flor de Jamaica	Hibiscus sabdariffa
0.6 m x 1.5 m	Cúrcuma	Curcuma longa L.
0.6 m x 1.5 m	Malanga	Colocasia esculenta L.
0.6 m x 1.5 m	Otoo	Xanthosoma sagittifolium
0.6 m x 1.5 m	Chaya	Cnidioscolus aconitifolius
2 m x 3 m	Pipián	Cucurbita pepo

3 m x 1.5 m	Yuca	Manihot esculenta
4 m x 1.5 m	Okra	Abelmoschus esculentus
5 m x 1.5 m	Pepino criollo	Cucumis sativus
6 m x 1.5 m	Loroco	Fernaldia pandurata
0.4 m x 1.5 m	Girasol	Helianthus annuus
6 m x 6 m	Ayote de verdura	Cucurbita argyrosperma
0.6 m x 1.5 m	Jícama	Pachyrhizus erosus
0.5 m x 1.5 m	Ejote de vara	Phaseolus vulgaris
6 m x 6 m	Tecomate	Cucurbita moschata Duchesne

Elaborado con base en los distanciamientos establecidos en la parcela agroecológica.

4.2.1.5 Mantenimiento de la parcela

Para el mantenimiento de la parcela se realizaron obras de limpieza de plantas no deseadas una vez por semana o según sea requerido, se realizarán aporcicos y se tutorara las plantas que así lo requieran

4.2.1.6 Fertilización

Las fertilizaciones se efectuaron por medio de dos vías, la foliar que es un producto obtenido de los lixiviados de un biodigestor el cual está compuesto de 5-5-5 y otro por la vía radicular, es un fertilizante solido que es de la misma proporción del 5-5-5 obtenido de la mezcla de gallinaza y cerdaza la cual se agrega cada 15 días.

A continuación, se muestra el análisis de abonos orgánicos solidos tipo compost hecho al fertilizante que se utilizó en la parcela:

No. Lab.	Identificación de la muestra	pH	C/N	N (%)	P2O5 %	K2O %	CaO	MgO %	S (%)	B (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	C.O.	Ceniza	M.O.
2233	EDATICA FORMULA DE PELLET	7.28	7.83	3.34	10.74	0.98	13.12	3.24	1.81	66.94	1199.00	8000.00	1312.00	9020.00	28.11	53.00	47.00
2234	EDATICA FORMULA AK+7.8	7.11	8.93	2.99	10.24	1.10	12.39	2.87	1.41	67.55	940.10	7289.00	1220.00	6355.00	28.67	52.00	48.00
2235	MO FORMULA C NPK+EM7-8	7.31	9.98	2.56	12.71	1.01	15.78	2.91	1.14	62.29	563.90	5704.00	1382.00	3783.00	25.56	54.00	46.00
2236	EDATICA B P-8 18	7.25	9.41	2.78	11.68	1.40	15.80	2.72	1.15	67.29	382.80	5450.00	1282.00	2258.00	28.11	53.00	47.00

1. Nitrógeno (N): determinación por método de Dumas

2. Fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), Manganeso (Mn) y zinc (Zn): digestión ácida con microondas y lectura por medio de Espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente ICPIOES

3. Ceniza, Carbono orgánico (C.O.) y Materia orgánica (M.O.): método gravimétrico

4. pH: Determinación por potenciometría en relación 1:2.5 Suelo: Agua

Figura 4: Resultados de los análisis de abonos orgánicos sólidos tipo compost realizados a al compost donado por Granja Ilobasco a la Estación Experimental de La Universidad de El Salvador. (Analab, 2023)

4.2.1.7 Identificación de interacciones biológicas

Se establecieron los cultivos al distanciamiento recomendado por MAOES donde a medida estos se desarrollaban se fue observando el desarrollo de los cultivos para conocer si es altamente determinado por su competencia intraespecífica que hace referencia a la competición por los mismos recursos limitados, como alimento, agua (Iverson et al., 2014).

Para la evaluación de las interacciones con otros seres vivos por ejemplo insectos y animales se tomó como referencia lo fundamentado por García 2020 en su investigación titulada: “Relaciones entre organismos ¿Qué tipos de interacción entre dos especies existen?” donde se mencionan los diferentes tipos de depredación que se describen a continuación:

La depredación: la cual el depredador consume totalmente a su presa. Por ejemplo, las mariquitas alimentándose de los pulgones.

La herbivoría: donde el depredador no necesariamente mata a su presa, como es el caso del ganado vacuno alimentándose del pasto.

El parasitismo: aquí el depredador vive en su presa y la consume lentamente, así como lo hacen los insectos chupadores por ejemplo los pulgones.

El mutualismo: donde hay una relación en la cual ambos obtienen beneficios. El mutualismo puede ser simbiótico o no simbiótico. El mutualismo simbiótico se identifica cuando el

contacto es permanente entre ambos. Las micorrizas para las leguminosas se forman mediante una relación simbiótica entre hongo y raíces. Y el mutualismo no simbiótico se da cuando el contacto no es permanente. Un ejemplo es la relación que tienen las hormigas y los pulgones.

La competencia: es la interacción que genera un efecto negativo en ambos individuos. Esta se reconoce cuando hay competencia por espacio, lo que conlleva a que las plantas se vean limitadas en la cantidad de nutrientes, luz y agua que necesitan para desarrollarse adecuadamente. (Garcia, 2020)

4.3 Metodología de laboratorio y gabinete

4.3.1 Preparación de los fertilizantes

Para ello se aplicaron fuentes nutricionales a base de productos orgánicos donados por granja el progreso obtenidos de la fermentación de desechos sólidos de origen animal o vegetal.

4.3.2 Preparación de insecticidas naturales

Existe una gran variedad de productos elaborados para el control de insectos que afectan los cultivos de interés, para ello se estima la preparación de algunos productos a base de neem.

4.3.3 Identificación de micorrizas en laboratorio

4.3.3.1 Metodología para tinción de raíces

1. Realizar lavado de raíces con agua de grifo hasta retirar al 100% del suelo presente en las muestras, repetir las veces necesarias.
2. Seleccionar raíces secundarias y terciarias, preferentemente las más frescas y con un grosor que permita realizar los cortes.
3. Seccionar las raíces en trozos de 0.5cm a 1cm.

4. Realizar un corte longitudinal en la raíz, a doble cuchilla (haciendo uso de dos gillette colocadas en paralelo), de tal manera que nos quede entre ambas cuchillas una porción de raíz traslúcida, se descartan los cortes que quedan en el exterior de las cuchillas.

5. Realizar clarificación (y eliminación parcial de citoplasma) depositando los cortes en una caja petri con lejía pura. Retirar el corte al notar cambio de color. Las raíces cafés tienden a tornarse amarillas, las raíces amarillas o tonos beige tornan a blanco. No dejar más de 5min. para evitar degradación de tejidos, el tiempo también varía en función de la composición de la raíz.

6. Colocar los cortes clarificados en una caja petri con agua destilada, dejar en reposo durante 3 a 5 minutos. Esto se realiza con el objetivo de retirar la legía y que esta no afecte en la tinción (la lejía neutraliza la tinción).

7. Proceder rápidamente a la tinción del corte en una caja petri con una mezcla de 25% azul de metileno previamente agitado y 75% agua destilada. La tinción varía en tiempo de 5 segundos hasta 1 minuto dependiendo de la raíz y del grosor del corte, tratando de lograr un color celeste oscuro, suficiente para ser observado en el estereoscopio. Si el corte toma un color azul oscuro será difícil la visualización de las estructuras de la raíz y la diferenciación entre estas y las hifas de las micorrizas. No demorar en su visualización (recordar que la lejía sigue haciendo una reacción clarificante y degradadora de tejidos).

8. Colocar el corte teñido en un portaobjetos, colocando una gota de agua destilada y luego el cubreobjetos, para su posterior visualización en estereoscopio o microscopio con un aumento de al menos 40x.

9. Ya que la clarificación continuó y se terminó degradando los tejidos de la muestra, sólo pueden ser observados al fresco. El tiempo máximo desde la tinción hasta la degradación de tejidos varía de 1h a 1.5h dependiendo del grosor del corte y del tono de azul alcanzado. (Sieverding, 1983)

5. RESULTADOS

5.1 Preparación del terreno:

Para la preparación del terreno se dejó reposar la tierra previamente al establecimiento de los cultivos, se permitió el pastoreo controlado del ganado para que su estiércol brindara nutrientes al suelo, luego se chapodo usando machete o Cuma para poder sembrar las plantas.



Figura 5: Limpieza de la parcela agroecológica para el establecimiento de los cultivos

Posteriormente a la chapoda del lugar se procedió a aplicar una mezcla de melaza con levadura sobre la hierba cortada esto con el fin de aumentar la capacidad de degradación del material muerto.



Figura 6: preparación de la melaza con levadura para su posterior aplicación al terreno

5.2 Diseño agronómico para el establecimiento de los cultivos:

Se tomó en cuenta la propuesta realizada por MAOES modificándola a criterio propio en base a las experiencias que se busca conocer y proponer a futuro buscando un mayor beneficio del espacio y producción.

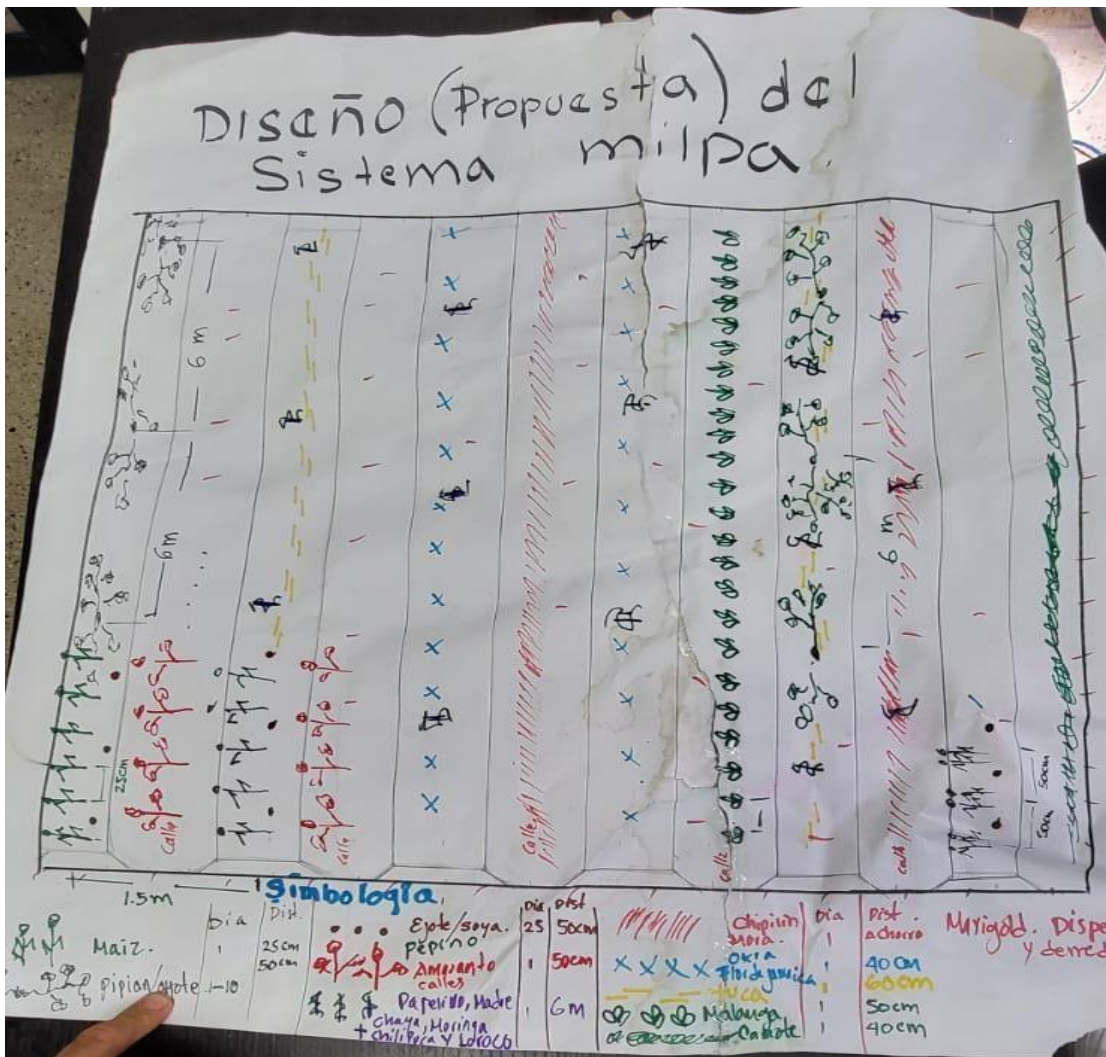


Figura 7: Diseño de la parcela agroecológica propuesta por MAOES

Fuente: MAOES 2024

5.3 Preparación de la semilla:

Para ello se realizó un empanizado de la semilla con melaza como adherente y micorrizas donadas por ecologica (ver A1)



Figura 8: semillas empanizadas listas para la siembra.

5.4 Siembra:

Se procedió a la deposición de la semilla en el terreno, se utilizó machete para abrir el hoyo donde se depositó la semilla. Las semillas se profundizaron tres veces el tamaño de las mismas.



Figura 9: deposición de la semilla en el terreno de siembra.

Para el mantenimiento de los cultivos dentro de la parcela se realizaron labores como:

5.5 Aplicaciones de fertilizantes foliares:

Las aplicaciones foliares se realizaron haciendo uso de una bomba de mochila con un fertilizante foliar obtenido de los lixiviados de un biodigestor y su proporción es 5-5-5



Figura 10: aplicación de fertilizante foliar 5-5-5 haciendo uso de una bomba de mochila

5.6 Fertilización:

Se depositó alrededor de 10 gr de fertilizante sólido 5-5-5 al troco de cada planta, dejando unos 5 cm de separación, las aplicaciones se realizaron cada 15 días y se utilizó un recipiente plástico para facilitar la movilización del fertilizante



Figura 11: aplicación del fertilizante solido a cada planta.

5.7 Control de hiervas espontaneas de la parcela:

El control de hiervas espontaneas de la parcela se realiza disminuyendo las plantas espontaneas para reducir la competencia de nutrientes y luz solar, para esta labor se utilizó motoguadaña cuando hay demasiada competencia de otras hierbas y no hay mucho tiempo para controlarlas, cuma y corvo o machete. El control de hierbas espontaneas se realiza cada semana o cuando hay una mayor presencia de hierbas competidoras. Todas las plantas cortadas son útiles en el aspecto de la mejora de los suelos y el alojamiento de insectos para la descomposición que mejora la estructura del suelo.



Figura 12: representación del control competitivo de hierbas espontaneas dentro de la parcela usando a) Corvo o machete; b) Motoguadaña; c) Cuma.

5.8 Control de insectos no deseados

Para el control de insectos no deseados realizamos la aplicación de dos productos elaborados por nosotros mismos, uno de ellos fue elaborado por propuesta del ing Tejada quien sugirió la mezcla de hojas de neem (*Azadirachta indica*) la cual tiene propiedades insecticidas y melaza, este último como atrayente de depredadores naturales como lo son las hormigas. El producto se aplicó directamente al cogollo donde se aloja la plaga de mayor importancia para el maíz como lo es el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) obteniendo buenos resultados ya que las plantas que presentaban incidencia del insecto se vieron mejoradas una semana después de la aplicación desapareciendo el insecto.



Figura 13: cogollo de maíz tratado con neem (*Azadirachta indica*) y melaza.

5.9 Aplicación de extracto de hojas de neem para control de insectos

El uso excesivo de productos de síntesis química para el control de plagas y enfermedades de los cultivos agrícolas ha generado daños al ambiente y a la salud; además de que ha promovido la resistencia de las plagas, por lo que ahora es más difícil controlarlas. (MYCSA 2019)

Los bioinsecticidas son sustancias de origen biológico que ayudan a controlar insectos plaga; estos productos pueden ser derivados de materiales naturales como animales, plantas y microorganismos. Los extractos de neem constituyen un bioinsecticida, particularmente un fitoinsecticida muy eficiente y exitoso para el control ecológico de plagas en los cultivos y muy utilizado en los últimos años debido a los beneficios y efectos. (MYCSA 2019)

Se han encontrado diversos compuestos del tipo terpenos (diterpenos, triterpenos y limonoides) en el neem, concentrados principalmente en la semilla. Algunos de ellos son protomeliacinas, melantriol, azadirona, genudín, vilasinina, nimbina, salanina y azadiractinas. La azadiractina normalmente se encuentra en la semilla en proporciones del

0.1 al 0.9 %. Existen al menos nueve isómeros amorfos de azadiractina; al más abundante (83% del total) se le ha denominado tipo A. (MYCSA 2019)

La azadiractina es el agente con el mayor efecto para combatir los insectos dentro de todos los compuestos del neem. Se ha demostrado que es uno de los más poderosos reguladores de crecimiento y frenador de la alimentación que se han usado. La actividad anticomida presenta corta vida y es variable. La más importante cualidad del neem, es el bloqueo hormonal del proceso de metamorfosis de la larva. La azadiractina no mata insectos de manera inmediata, sino que repele y destruye su crecimiento y reproducción. (MYCSA 2019)

A continuación, se muestra la forma de extracción de las sustancias del neem para el control de insectos en los cultivos de la parcela:



Figura 14: extracción de sustancias químicas almacenadas en las hojas de neem para el control de insecto.

6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

6.1 Identificación de las interacciones que se encontraron en la parcela agroecológica

6.1.1 Mutualismos encontrados en la parcela agroecológica:

En primer lugar, definamos mutualismo

Según Langley L. 2020 Consiste en una interacción entre dos individuos de la misma especie o de especies diferentes que resulta beneficiosa para ambos. El mutualismo es una forma de simbiosis, que es una relación cercana y persistente entre dos organismos de especies diferentes, pero no necesariamente una en la que se ayuden mutuamente.

Por ejemplo; Cuando los polinizadores como las abejas, las mariposas y los colibríes beben el néctar de las flores, también recogen el polen y esparcen esta sustancia polvorienta por otras plantas, ayudándolas a reproducirse. El polinizador come y la planta procrea.

En la parcela agroecológica se observó diferentes tipos de mutualismo, unos en los que se ven beneficiados los cultivos como la polinización y otro en el que se ven afectados como es el caso de las hormigas protectoras de pulgones como lo observaremos a continuación:

6.1.1.1 Mutualismo no simbiótico

En primer lugar, tenemos a las hormigas y los pulgones, tal y como lo menciona García 2020a estos generan un vínculo que los une, y es que las hormigas se alimentan de las excretas de los pulgones ya que es dulce y a cambio de eso, las hormigas les brindan protección de depredadores a los pulgones por lo que ambos salen beneficiados.



Figura 15: hormigas alimentándose del líquido excretado por los pulgones, lo que permite un mutualismo (ambas especies se benefician) ya que ellas les brindan protección de depredadores.

6.1.1.2 Mutualismo simbiótico o simbiosis

El segundo mutualismo es la interacción entre los insectos polinizadores y las flores, en este caso captamos una abeja alimentándose del néctar de las flores del girasol, lo que permite que traslade polen de una flor a otra, no solo del girasol, sino también de los demás cultivos dentro de la parcela.



Figura 16: abeja alimentándose del néctar de las flores de ajonjolí, llevando consigo en sus patas polen, lo que permite la polinización de diferentes plantas.

Otro ejemplo de mutualismo simbiótico son las asociaciones micorrízicas (AM), Carrillo et al. 2022 menciona que son relaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y los hongos del suelo. La función principal de esta asociación simbiótica es el intercambio de nutrientes. Por un lado, la planta le da al hongo carbono adquirido vía fotosintética y por otro, el hongo ofrece principalmente nitrógeno y fósforo, son capaces de dar un mayor alcance de estos nutrientes a distancias más lejanas a las que sus propias raíces no son capaces de llegar, en nuestro caso, inoculamos micorrizas a las semillas y luego llevamos a laboratorio una muestra de raíces del maíz a lo cual pudimos observar micelio emergente de la raíz.

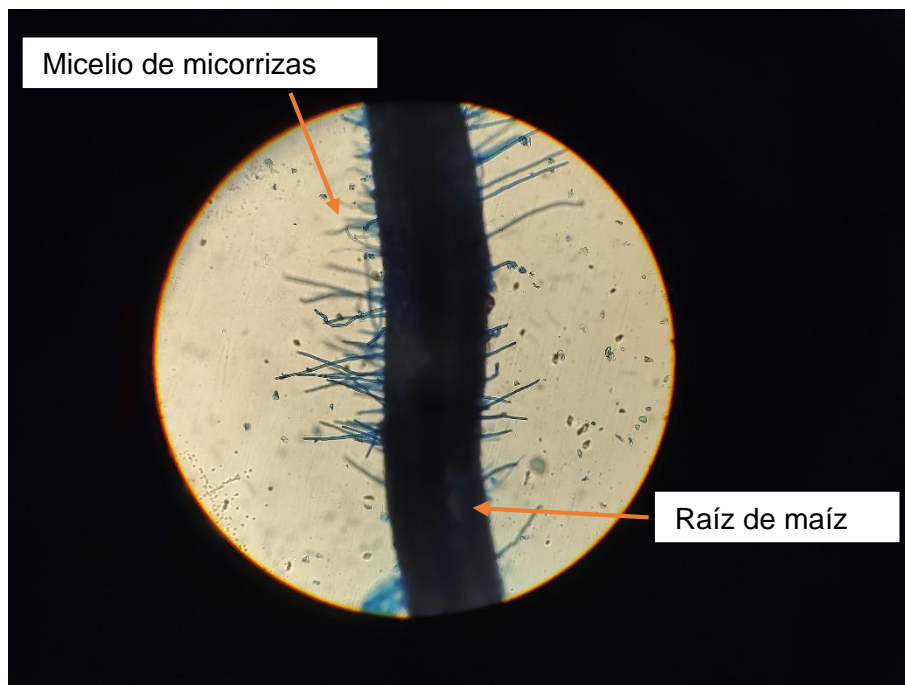


Figura 17: micelio de micorrizas encontrado en raíces de una planta de maíz de la parcela agroecológica vistas en el laboratorio de la facultad de agronomía de la Universidad de El Salvador mediante el uso de microscopio de luz en objetivo 10X

6.1.2 Bacteria fijadora de nitrógeno

La importancia de *Rhizobium phaseoli* a nivel agrícola y biotecnológico se basa en su capacidad de fijar nitrógeno. Estudios demuestran que la influencia positiva de *Rhizobium phaseoli* es de carácter fenológico con efectos de desarrollo, crecimiento y rendimiento de los cultivos de *Phaseolus vulgaris* (Ndlovu, 2015).

La interrelación biológica mediada por asociaciones como la simbiosis entre microorganismos y plantas, es un área de investigación de la biotecnología de importancia para la industria agrícola ya que permite la mejora de la calidad del suelo frente a situaciones adversas. Los microorganismos juegan un papel muy importante en la mejora de los agroecosistemas, los beneficios van desde promover el desarrollo y crecimiento hasta la protección de las especies vegetales. Uno de los temas de mayor interés es el beneficio que promueve la asociación entre *Rhizobium* y leguminosas, la interrelación mejora la fijación

de fósforo y nitrógeno, así como la asimilación de los bioelementos secundarios por la especie vegetal (Spagnoletti et al., 2013; Osorio Menéndez, 2019).



Figura 18: raíces de *Vigna sinensis* con nódulos de rhizobium spp

6.1.3 Herbivoría:

Dentro de la parcela no solo coexisten insectos benéficos, sino también otros que causan daños a nuestros cultivos tal y como pudimos captar a un escarabajo alimentándose de las hojas de ayote establecido en nuestra parcela.

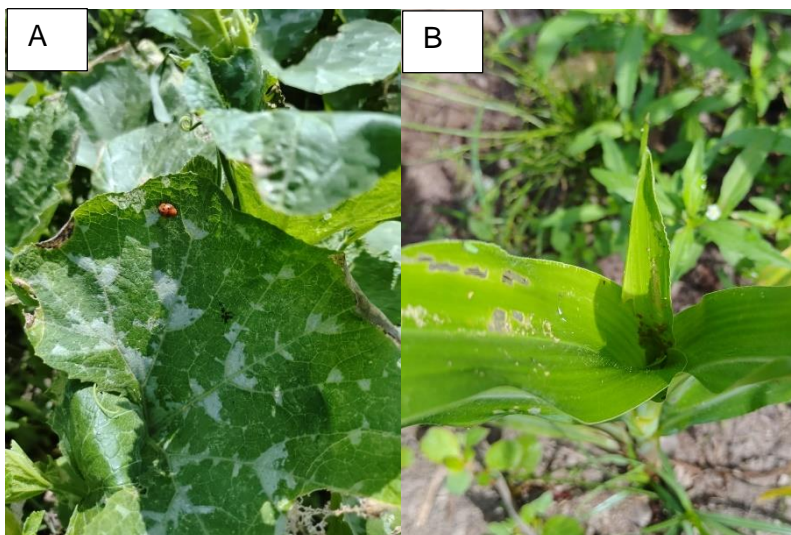


Figura 19: A) *Epilachna tredecimnotata*, conocido como Catarina de la calabaza. B) Gusano cogollero alimentándose de tejidos vegetales en el cogollo de una planta de maíz.

6.1.4 Interacciones entre plantas dentro del sistema milpa

El diseño agronómico juega un papel crucial a la hora de brindar el manejo a los cultivos de interés dentro de la parcela, esto implica la selección ideal de las especies en asocio y los distanciamientos de siembra, esto con el fin de facilitar el manejo ya que si se disminuyen los espacios libres con cultivos de cobertura que a su vez nos brindan frutos de consumo estamos evitando el crecimiento excesivo de hierbas espontáneas tal y como es el caso de las cucurbitáceas, en específico pipián (*Cucurbita argyrosperma*) y ayote (*Cucurbita máxima*) estas en asocio con maíz y frijol son conocidas como las tres hermanas, las cuales permiten aprovechar el espacio y obtener diferentes productos de consumo, pero a estos en la presente evaluación se agregaron otros cultivos que lo hacen más diverso y prueba de ello es la inclusión de la yuca en el sistema ya que se observó buen desarrollo sin competencia por luz o nutrientes, la yuca en conjunto al maíz, frijol y ayote con un distanciamiento de 1.5 m x 3 m; 1.5 m x 0.5 m; 1.5 m x 0.5 m y 3 m x 6 m en el orden anteriormente mencionados han dado buenos resultados obteniendo frutos de maíz a los 2.5 meses después de siembra, ayote de verdura después de 60 días de siembra, yuca aún no hay cosecha hasta pasar 7-8 meses después de siembra y frijol aun esta en floración. El otro arreglo es el asocio entre

maíz y frijol (D=1.5 m x 0.5m), yuca (1.5m x 3 m), ajonjolí (1.5 m x 0.25 m) y ayote (3 m x 6 m) de igual manera que los anteriores, maíz, y ayote se encuentran en producción, los demás aún no han llegado a la fecha de cosecha, se puede observar que en el segundo arreglo hay competencia por luz y nutrientes debido a la alta cantidad de plantas presentes. A continuación, se muestra una foto de los arreglos antes mencionados:

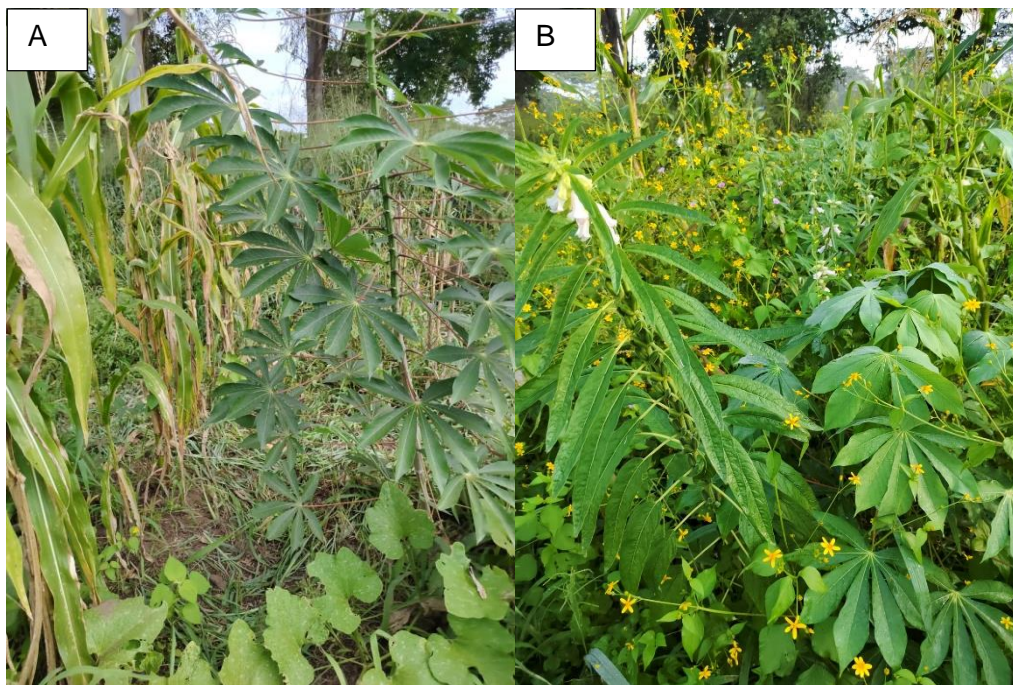


Figura 20: diferentes interacciones entre los cultivos en asocio. A) asocio entre maíz, frijol, ayote y yuca. B) asocio entre maíz, frijol, yuca, ajonjolí, ayote y otras plantas espontaneas que atraen insectos polinizadores por sus flores.

7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para el establecimiento de los cultivos en la parcela agroecológica fue MAOES quien brindo las semillas en su mayoría nativas, al igual que la propuesta de distanciamiento de siembra de los cultivos. Dentro del establecimiento de los cultivos se tuvieron diversas dificultades, una de ellas fue que el material de algunas semillas, por ejemplo, yuca, otoo y malanga no fue suficiente para establecer en toda la parcela, otra dificultad fue el control de las plantas arvenses en el primer mes ya que estas crecen con mayor vigorosidad que los cultivos de interés, por lo que hay que estar constantemente limpiándola al menos dos veces por

semana para que no haya mucha competencia por nutrientes. Transcurrido el mes ya hay cobertura de parte de los cultivos por lo que se hace más fácil el control de plantas arvenses.

Dentro de lo observado en la parcela podemos destacar la gran biodiversidad de plantas que podemos establecer en poca área, uno de los puntos a favor es que al tener diversos cultivos se obtienen suficientes productos para llevar a cabo una dieta balanceada y muy rica en nutrientes, a un costo muy bajo y sobretodo libre de agentes químicos que deterioran la salud de las personas y el medio ambiente, se convierte en un proyecto auto sostenible y autosustentable debido a que los nutrientes no salen del sistema, sino que se quedan dentro por la descomposición de la materia vegetal cortada durante el control de plantas arvenses por lo que es de suma importancia realizar este tipo de siembras, además cuidamos la salud del suelo quien aloja una gran cantidad de vida cosa que no se logra con los cultivos tradicionales a base de agroquímicos, a diferencia de esto atraemos a enemigos naturales y debido a la diversidad se protegen los cultivos ya que crean barreras vivas camuflaje de plantas más susceptibles a ataques de insectos.

8. CONCLUSIONES

El establecimiento de una parcela agroecológica diversificada conlleva muchos desafíos, uno de los más grandes desafíos es el control de plantas arvenses debido a que estas en el primer mes son más competitivas que los cultivos de interés debido a que estos aún no han desarrollado suficiente cobertura foliar lo que permite que las plantas arvenses aprovechen de mejor manera los recursos disponibles.

Se identificaron diversas interacciones dentro de la parcela, las más importantes fueron el asocio entre los cultivos de maíz, frijol, yuca, okra y pipian, así mismo las sinergias que permiten un mejor aprovechamiento de los nutrientes como el caso de las micorrizas y la batería fijadora de nitrógeno que les favorecen a las plantas poniendo a disposición nutrientes que por sí solas no serían capaces de absorber.

La asociación maíz, frijol, yuca, okra y pipián brindó los mejores resultados en cuanto a las interacciones observadas, esto debido a que el maíz brinda soporte al frijol, el frijol mejora la estructura del suelo, el pipián evita que los rayos del sol golpeen el suelo directamente lo que favorece a que se mantenga la humedad en el suelo y controla el crecimiento de plantas arvenses.

9. RECOMENDACIONES

Efectuar un buen control de plantas arvenses por lo menos el primer mes de desarrollo de los cultivos, debido a que estas se desarrollan con mayor rapidez que los cultivos de interés lo que hace que estos entren en competición por sol, agua y nutrientes que al verse limitados van a influir en un bajo rendimiento de los mismos.

Se recomienda incluir otras especies, por ejemplo: tomate, chile, okra, yuca etc, a parte de las tres hermanas dentro del sistema milpa, esto para aumentar la diversidad y aprovechar de mejor manera el área de trabajo.

Evitar exceder la capacidad de manejo que puede dar una persona a la parcela para ello se recomienda comenzar con un área pequeña, por ejemplo, si es una persona con 800 mts cuadrados que establezca por primera vez es suficiente para que pueda darle el manejo adecuado.

Se recomienda establecer del 100% del área un 80% donde solo se siembren las tres hermanas (maíz, frijol y pipián o ayote) y el otro 20% los demás cultivos como tomate, chile, pepino, entre otros. Para poder brindar un buen manejo.

10.BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J., C. Illsley y C. Marielle. 2003. Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. pp. 83-122. In: G. Esteva y C. Marielle (eds.). Sin maíz no hay país. CONACULTA. Ciudad de México.
- Aguirre-Von-Wobeser, E., Rocha-Estrada, J., Shapiro, L. R. & De La Torre, M. (2018). Enrichment of Verrucomicrobia, Actinobacteria and Burkholderiales drives selection of bacterial community from soil by maize roots in a traditional milpa agroecosystem. PLoS ONE, 13(12), e0208852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208852>
- Analab (Análisis de suelos, plantas y agua). 2023. Tipo de analisis: 01- Abonos orgánicos solidos Tipo Compost.
- Altieri, M. A. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Front. Ecol. Environ.* 2: 35-42
- Altieri, M. A. 2009a. Agroecology, small farms and food sovereignty. *Mon. Rev.* 61: 102-112. doi: 10.14452/MR-061- 03-2009-07_8.
- Altieri, M. A. 2009b. La agricultura moderna: Impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. University of California, Berkeley, Department of Environmental Science, Policy and Management. Berkeley, CA, USA
- Altieri, M. A., F. R. Funes-Monzote, and P. Petersen. 2011. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 3-15. doi: 10.1007/s13593-011-0065-6.
- Ángeles Gaspar, E.; Ortiz Torres, E.; López, A. P.; López Romero, G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. En línea, consultado el 27 de agosto 2024. Disponible en: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1159/2850>

- Ayala Durán, C., De Andrade Miguel, L. 2016. Acumulación de riqueza: sistemas agrarios en la región norte del departamento de La Libertad, El Salvador. (en línea) Consultado 29 agosto 2024. Disponible en:
<https://pdfs.semanticscholar.org/0bba/f55be24b61f7f0d9058107a999045b0df917.pdf>
- Bargaz, A., Lyamlouli, K., Chtouki, M., Zeroual, Y. & Dhiba, D. (2018). Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1606. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01606>
- Benítez, T., Rincón, A. M., Limón, M. C. & Codon, A. C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, 7(4), 249–260.
- Berendsen, R. L., Pieterse, C. M. J. & Bakker, P. A. H. M. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17(8), 478–486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001>
- Bhattacharyya, P. N. & Jha, D. K. 2012. Plant growthpromoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327–1350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Van Themaat, E. V. L. & Schulze-Lefert, P. 2013. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 64(1), 807–838. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>
- Carrillo Saucedo, S. M., Puente Rivera, J., Montes Recinas, S., & Cruz Ortega, R. 2022. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, (129). Consultado 22 de nov. 2024. Disponible en:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n129/2448-7589-abm-129-e1932.pdf>

Chen, Y. H., Shapiro, L. R., Benrey, B. & Cibrián-Jaramillo, A. 2017. Back to the origin: in situ studies are needed to understand selection during crop diversification. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 125. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00125>

Clayton, G. W., Rice, W. A., Lupwayi, N. Z., Johnston, A. M., Lafond, G. P., Grant, C. A. & Walley, F. 2004. Inoculant formulation and fertilizer nitrogen effects on field pea: Crop yield and seed quality. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(1), 89–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.4141/P02-090>

CONABIO. 2020. La milpa. Recuperado el 3 de septiembre del 2020, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa>

Ebel, R.; Pozas Cárdenas, J.G.; Soria Miranda, F.; Cruz González, J. 2017. Organic milpa: yields of maize, beans, and squash in mono-and polycropping systems (en línea). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Instituto Literario 100, Col. Centro. 50000, Toluca, Estado de México, México. Consultado 21 de sep 2024. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149#:~:text=Con%20respecto%20a%20la%20calabaza,frijol%20asociados%20con%20la%20calabaza.

Espinosa Carderón, A.; Tadeo Robledo, M.; Mora García, K. y Turrent Fernández, A. 2017. La libre circulación de las semillas y la agrodiversidad están en riesgo. Políticas públicas para un México megadiverso y pluricultural. 14-15 p

FAO. 2024. Sinergias: crear sinergias potencia las principales funciones de los sistemas alimentarios, lo que favorece la producción y múltiples servicios ecosistémicos. (en línea). Consultado 16 sep. 2024. Disponible en: <https://www.fao.org/agroecology/knowledge/10elements/synergies/es/>

Franche, C., Lindström, K. & Elmerich, C. 2009. Nitrogenfixing bacteria associated with leguminous and nonleguminous plants. *Plant and Soil*, 321(1–2), 35–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11104-008-9833-8>

García González, P. 2020a. Las hormigas como granjeras (en línea). Consultado 2 de oct 2024. Disponible en: <https://www.restauraciondeecosistemas.com/sabias-que-hay-hormigas-ganaderas-exacto-tienes-sus-rebanos-de-pulgones/>

García González, P. 2020b. Relaciones entre organismos ¿Qué tipos de interacción entre dos especies existen? (en línea). Consultado 2 de oct 2024. Disponible en: <https://www.restauraciondeecosistemas.com/que-tipos-de-interaccion-entre-dos-especies-existen/>

Gastélum, G., & Rocha, J. 2020. La milpa como modelo para el estudio de la microbiodiversidad e interacciones planta-bacteria. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(1), 1-13. Consultado el 23 de octubre 2024. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2020/cqb201w.pdf>

Gliessman, S. R. 1985. Multiple cropping systems: A basis for developing an alternative agriculture. pp. 67-83. In: US Congress Office of Technology Assessment. Innovative biological technologies for lesser developed countries: workshop proceedings. Congress of the USA. Washington, DC, USA.

Gliessman, S. R. 1990. Applied ecology and agroecology: Their role in the design of agricultural projects for the humid Tropics. pp. 33-47. In: F. Montagnini and R. Goodland (eds.). Race to save the tropics: Ecology and economics for a sustainable future. Island Press. Washington, DC, USA.

Gómez Betancur, L. M., Márquez Girón, S. M., & Restrepo Betancur, L. F. (2018). La milpa como alternativa de conversión agroecológica de sistemas agrícolas convencionales de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en el municipio El Carmen de Viboral, Colombia. *Idesia (Arica)*, 36(1), 123-131.

- Hathaway, M. D. (2016). Agroecology and permaculture: addressing key ecological problems by rethinking and redesigning agricultural systems. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6(2), 239–250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13412-015-0254-8>
- Hernández X., E. 1995. La milpa en Yucatán: Un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Herrmann, L. & Lesueur, D. (2013). Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(20), 8859–8873. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00253-013-5228-8>
- Hirsch, P. R. & Mauchline, T. H. (2015). The importance of the microbial N cycle in soil for crop plant nutrition. *Advances in Applied Microbiology*, 93, 45–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2015.09.001>
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87(1), 4–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>
- Hoy, W., Giraldo, G., Martinez-Piedra, R., Reveiz, L., Escamilla-Cejudo, J., Caixeta, R., & Ordunez, P. (2017). Epidemic of Chronic Kidney Disease in Agricultural Communities in Central America. Case Definitions, Methodological Basis, and Approaches for Public Health Surveillance.
- Iverson, A. L., L. E. Marín, K. K. Ennis, D. J. Gonthier, B. T. Connor, J. L. Remfert, J. Cardinale, and I. Perfecto. 2014. Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 51: 1593-1602. doi: 10.1111/1365-2664.12334. Lewandowski, S. 1987. Diohe'ko, the three sisters in seneca life: Implications for a native agriculture in the finger lakes region of New York State. *Agricul. Hum. Values* 4: 76-93. doi: 10.1007/BF01530644

Kaminsky, L. M., Trexler, R. V, Malik, R. J., Hockett, K. L. & Bell, T. H. (2019). The inherent conflicts in developing soil microbial inoculants. *Trends in Biotechnology*, 37(2), 140–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.11.011>

Khush, G. S. 2001. Green revolution: the way forward. *Nature Reviews Genetics*, 2(10), 815–822. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/35093585>

Langley L. 2020. Sin avispa no tendríamos higos: así funciona el mutualismo. El mutualismo, una forma de simbiosis, es la interacción entre dos individuos que beneficia a ambos y está muy extendido por todo el reino animal (en línea). National Geographic Society. Consultado 21 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/animales/2020/09/asi-funciona-el-mutualismo#:~:text=Consiste%20en%20una%20interacci%C3%B3n%20entre,la%20que%20se%20ayuden%20mutuamente.>

Lidoy J.; López García A.; Amate C.; García JM.; Flores V.; García Garrido JM.; Azcón Aguilar C.; López Ruez JA.; Pozo MJ. 2023. Regulation of mycorrhizal colonization under stress in tomato depends on symbiotic efficiency. *Environmental and Experimental Botany*. Reino Unido. (en línea). Consultado 12 de sep de 2024. Disponible en:

<https://www.eez.csic.es/el-estres-ambiental-modula-la-simbiosis-plantahongo#:~:text=La%20simbiosis%20micorr%C3%ADcica%20ofrece%20m%C3%BAltiples, a%20las%20condiciones%20ambientales%20cambiantes.>

Liu, A., Contador, C. A., Fan, K. & Lam, H.-M. 2018. Interaction and regulation of carbon, nitrogen, and phosphorus metabolisms in root nodules of legumes. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1860. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01860>

Loyola J. 2016. Conocimientos y prácticas ancestrales y tradicionales fortalecen la sustentabilidad de los sistemas hortícolas de la parroquia de San Joaquín (en línea). LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida, vol. 24, núm. 2, pp. 29-42, 2016. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Consultado el 4 de enero de 2025. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4760/476051632002/html/#:~:text=La%20agricultu>

ra%20familiar%20se%20sustenta, ecol%C3%B3gicas%20respetuosas%20de%20la%20naturaleza.

Mariaca M., R. 2011. La milpa en el sur de México. *Ecofronteras* 42: 22-26

Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G. & Swift, M. J. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277(5325), 504–509. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.504>

Mauro, A., Garcia-Cela, E., Pietri, A., Cotty, P. J. & Battilani, P. 2018. Biological control products for aflatoxin prevention in Italy: commercial field evaluation of atoxigenic *Aspergillus flavus* active ingredients. *Toxins*, 10(1), 30. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/toxins10010030>

Milner, R. J. 1994. History of *Bacillus thuringiensis*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 49(1), 9–13. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90014-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90014-0)

Mitter, B., Brader, G., Pfaffenbichler, N. & Sessitsch, A. (2019). Next generation microbiome applications for crop production—limitations and the need of knowledge-based solutions. *Current Opinion in Microbiology*, 49, 59–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mib.2019.10.006>

Molina A., M. F., J. L. Chávez S., A. Gil M., P. A. López, E. Hernández R. y E. Ortiz T. 2016. Eficiencias productivas de asociaciones de maíz, frijol y calabaza (*Curcubita pepo* L.) intercaladas con árboles frutales. *Phyton* 85: 36-50.

Mus, F., Crook, M. B., Garcia, K., Costas, A. G., Geddes, B. A., Kouri, E. D., Paramasivan, P., Ryu, M., Oldroyd, G. E. D. & Poole, P. S. 2016. Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(13), 3698–3710. <https://doi.org/https://doi.org/10.1128/AEM.01055-16>

MYCSA. 2019. Uso del extracto de Neem para control de plagas. (en línea). Consultado 23 de nov. 2024. Disponible en: <https://mysainc.com/newsletter/blog/2019/11/02/uso-del-extracto-de-neem-para-control-de-plagas/>

- Ndlovu, T. J. (2015). Effect of *Rhizobium phaseoli* inoculation and phosphorus application on nodulation, growth and yield components of two drybean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars (Doctoral dissertation).
- Niu, B., Paulson, J. N., Zheng, X. & Kolter, R. (2017). Simplified and representative bacterial community of maize roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(12), E2450–E2459. <https://doi.org/10.1073/pnas.1616148114>
- Ordoñez J. 2021. Evaluación Agroecológica Del Sistema Milpa Intercalada Con Árboles Frutales (Miaf). Estudio De Caso En Icalumtic, Municipio De Chamula, Chiapas. Universidad Autónoma Chapingo. Tesis. 84 Pág.
- Osorio Menéndez, D. D. 2019. Establecimiento de la simbiosis *Rhizobium*-Micorrizas en fréjol de palo *Cajanus cajan*, bajo condiciones controladas. Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil.
- Peiffer, J. A., Spor, A., Koren, O., Jin, Z., Tringe, S. G., Dangl, J. L., Buckler, E. S. & Ley, R. E. (2013). Diversity and heritability of the maize rhizosphere microbiome under field conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(16), 6548–6553. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.1302837110>
- Pérez-Jaramillo, J. E., Carrión, V. J., Bosse, M., Ferrão, L. F. V, de Hollander, M., Garcia, A. A. F., Ramírez, C. A., Mendes, R. & Raaijmakers, J. M. (2017). Linking rhizosphere microbiome composition of wild and domesticated *Phaseolus vulgaris* to genotypic and root phenotypic traits. *The ISME Journal*, 11(10), 2244–2257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/ismej.2017.85>
- Ponce, E. L., Barrera, L. C., & Fernández, M. A. (2012). El sistema milpa roza, tumba y quema de los Maya Itzá de San Andrés y San José, Petén Guatemala. *Ra Ximhai*, 8(2.), 71-92.
- Postma, J. A. and J. P. Lynch. 2012. Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Ann. Bot.* 110: 521-534. doi: 10.1093/aob/mcs082.

Presidencia.gob 2017. Gobierno lanzó FIDEAGRO para otorgar créditos con tasa preferencial a los agricultores, ganaderos y pescadores (en línea). Consultado 3 de enero 2025. Disponible en: <https://www.presidencia.gob.sv/gobierno-lanzo-fideagro-para-otorgar-creditos-con-tasa-preferencial-a-los-agricultores-ganaderos-y-pescadores/#:~:text=Gobierno%20lanz%C3%B3%20FIDEAGRO%20para%20otorgar%20cr%C3%A9ditos%20con,preferencial%20a%20los%20agricultores%2C%20ganaderos%20y%20pescadores.&text=Con%20este%20componente%20financiero%20que%20forma%20parte,la%20producci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20y%20pecuaria%20del%20pa%C3%ADs>.

Qiu, Z., Egidi, E., Liu, H., Kaur, S. & Singh, B. K. (2019). New frontiers in agriculture productivity: Optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering. *Biotechnology Advances*, 37(6), 107371. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.03.010>

Real Academia Española. 2014. Milpa. (en línea) In: *Diccionario de la lengua española*, edición 2014. Consultado 21 de sep 2024. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=PGZxeer>

Rebollar, E. A., Sandoval-Castellanos, E., Roessler, K., Gaut, B. S., Alcaraz, L. D., Benítez, M. & Escalante, A. E. (2017). Seasonal changes in a maize-based polyculture of central Mexico reshape the co-occurrence networks of soil bacterial communities. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2478. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02478>

Sánchez Morales, P., & Romero Arenas, O. 2018. Evaluación de la sustentabilidad del sistema milpa en el estado de Tlaxcala, México. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(15), 107-134.

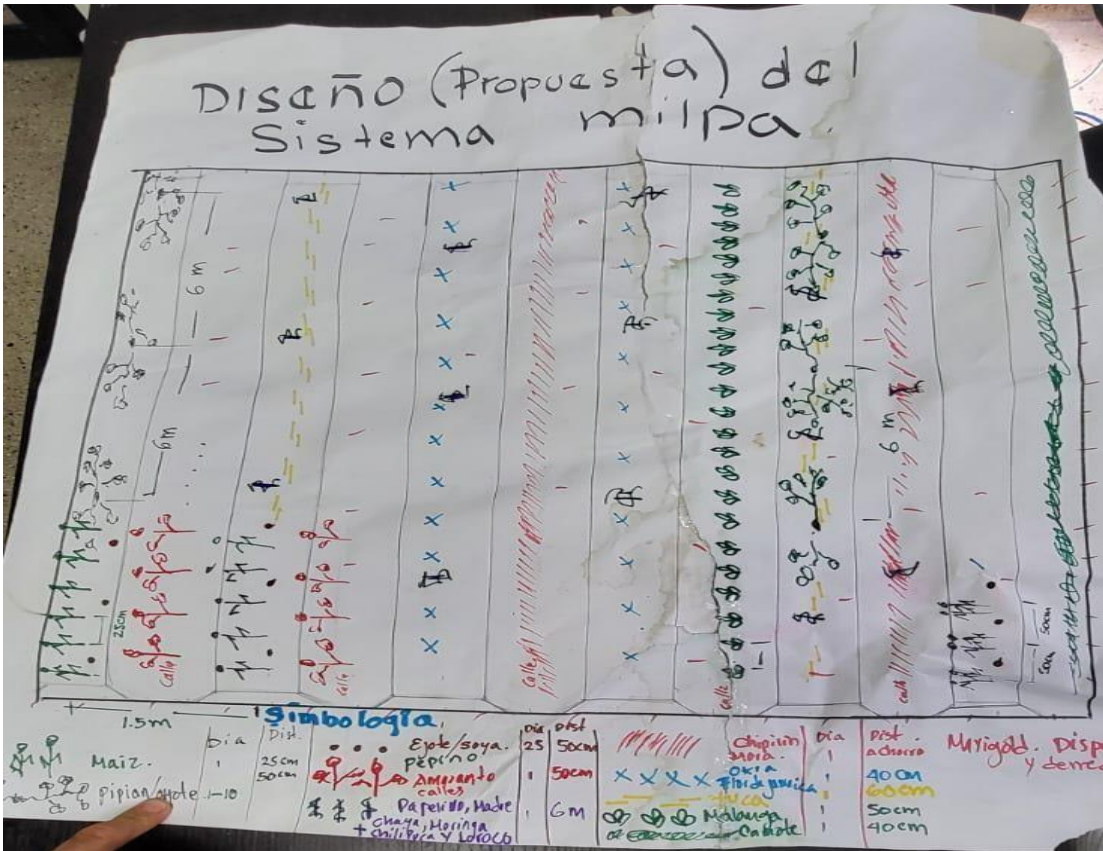
Sanchis, V. (2011). From microbial sprays to insect-resistant transgenic plants: history of the biopesticide *Bacillus thuringiensis*. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 217–231. <https://doi.org/10.1051/agro/2010027>

- Santhanam, R., Weinhold, A., Goldberg, J., Oh, Y. & Baldwin, I. T. (2015). Native root-associated bacteria rescue a plant from a sudden-wilt disease that emerged during continuous cropping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(36), E5013–E5020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.1505765112>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADR). 14/sep/2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Blog). Mexico. Gobierno de México. Consultado 17 sep. 2024. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/milpa-el-corazon-de-la-agriculturamexicana?idiom=es#:~:text=En%20nuestro%20pa%C3%ADs%2C%20entenemos%20a,%2C%20chiles%2C%20tomates%2C%20principalmente.>
- Shapiro, L. R., Paulson, J. N., Arnold, B. J., Scully, E. D., Zhaxybayeva, O., Pierce, N. E., Rocha, J., Klepac-Ceraj, V., Holton, K. & Kolter, R. (2018). An introduced crop plant is driving diversification of the virulent bacterial pathogen *Erwinia tracheiphila*. *MBio*, 9(5), e01307-18. <https://doi.org/10.1128/mBio.01307-18>
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio. (en línea). Consultado 4 de enero 2025. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/132665667.pdf>
- Sinclair, T. R. & Nogueira, M. A. (2018). Selection of host-plant genotype: the next step to increase grain legume N₂ fixation activity. *Journal of Experimental Botany*, 69(15), 3523–3530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jxb/ery115>
- Sivasakthi, S., Usharani, G. & Saranraj, P. (2014). Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR)- *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 9(16), 1265–1277. <https://doi.org/https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7914>
- Spagnoletti, F. N., Fernandez di Pardo, A., Tobar Gómez, N. E., & Chiocchio, V. M. (2013). Las micorrizas arbusculares y *Rhizobium*: una simbiosis dual de interés. *Revista argentina de microbiología*, 45(2), 131-132.

- Stukenbrock, E. H. & McDonald, B. A. (2008). The Origins of Plant Pathogens in Agro-Ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 46(1), 75–100. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.010708.154114>
- Tikhonovich, I. A. & Provorov, N. A. (2011). Microbiology is the basis of sustainable agriculture: an opinion. *Annals of Applied Biology*, 159(2), 155–168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00489.x>
- Tkacz, A., Pini, F., Turner, T. R., Bestion, E., Simmonds, J., Howell, P., Greenland, A.C., Jitender E., David M. & Uauy, C. (2020). Agricultural selection of wheat has been shaped by plant-microbe interactions. *Frontiers in Microbiology*, 11, 132. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00132>
- Van Deynze, A., Zamora, P., Delaux, P. M., Heitmann, C., Jayaraman, D., Rajasekar, S., Graham, D., Maeda, J., Gibson, D., Schwartz, K. D., Berry, A. M., Bhatnagar, S., Jospin, G., Darling, A., Jeannotte, R., Lopez, J., Weimer, B. C., Eisen, J. A., Shapiro, H. Y., Ané, J. M. & Bennett, A. B. (2018). Nitrogen fixation in a landrace of maize is supported by a mucilage-associated diazotrophic microbiota. *PLoS Biology*, 16(8), e2006352. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2006352>
- Van Veen, J. A., van Overbeek, L. S. & van Elsas, J. D. (1997). Fate and activity of microorganisms introduced into soil. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 61(2), 121–135. [https://doi.org/https://doi.org/1092-2172/97/\\$04.0010](https://doi.org/https://doi.org/1092-2172/97/$04.0010)
- Wang, Q., Y. Li, and A. Alva. 2010. Cropping systems to improve carbon sequestration for mitigation of climate change. *J. Environ. Prot.* 3: 207-215. doi: 10.4236/jep.2010.13025
- Woodruff, H. B. (1980). Natural products from microorganisms. *Science*, 208(4449), 1225–1229. <https://doi.org/10.1126/science.7375932>
- Zhang, C., J. A. Postma, L. M. York, and J. P. Lynch. 2014. Root foraging elicits niche complementarity-dependent yield advantage in the ancient ‘three sisters’ (maize/bean/squash) polyculture. *Ann. Bot.* 191: 1719-1733. doi: 10.1093/aob/mcu191

11. ANEXOS

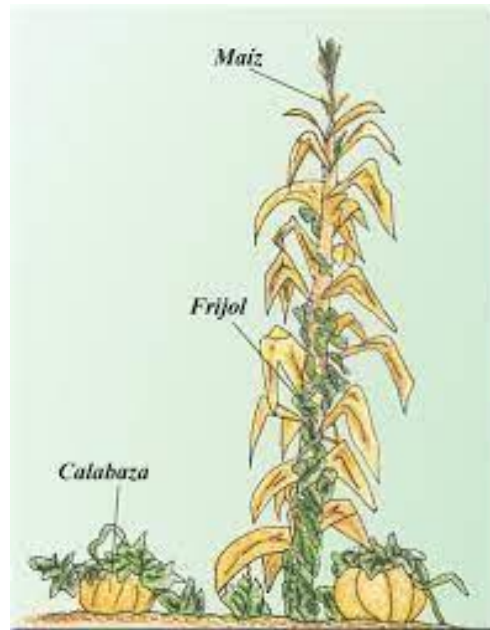
A1. Diseño del sistema milpa propuesto por MAOES



A2. Micorrizas eco logika



A3. Esquema de un sistema milpa



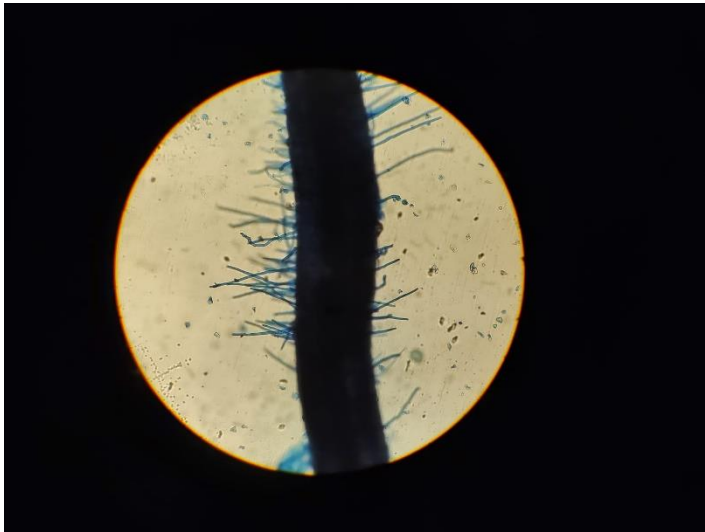
A4. Asocio entre maíz, frijol, yuca y calabaza



A5. Frutos de a) Cultivo de okra b) cultivo de maíz c) cultivo de ayote d) cultivo de pipián dentro de la parcela agroecológica



A6. Observación de micorrizas por medio de tinción de raíces



A7. Observación de microorganismos de montaña en la parcela.



A8. Control de hierbas espontaneas dentro de la parcela



A9. Aplicación de fertilizantes a base de estiércol de cerdos



A10. Observación de mecanismos de captación de nitrógeno atmosférico por medio de raíces adventicias



A11. Empanizado de semillas para la inoculación de micorrizas.

