



Prácticas agrícolas en la milpa maya de Yucatán

Editores

Javier Orlando Mijangos Cortés
Miguel Ángel Fernández Barrera
José Luis Sima Gómez
Luis Latournerie Moreno



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



D.R. 2023. *Prácticas agrícolas en la milpa maya de Yucatán*. Javier Orlando Mijangos Cortés, Miguel Ángel Fernández Barrera, José Luis Sima Gómez, Luis Latournerie Moreno, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Esta obra debe citarse de la siguiente forma:

Mijangos Cortés, J. O., Fernández Barrera, M. Á., Sima Gómez, J. L., & Latournerie Moreno, L. (Eds.). (2023). *Prácticas agrícolas en la milpa maya de Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

©Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY)

Calle 43 #130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo.

C.P. 97205. Mérida, Yucatán, México.

Tel. (999) 942-8330.

Centro Público de Investigación del Conahcyt.

ISBN: 978-607-7823-55-1

Primera edición: noviembre del 2023.

Coordinador editorial: Julio César Domínguez Orta.

Cuidado editorial: Miguel Gibrán Román Canto.

Diseño editorial: Norma Marmolejo Quintero.

Portada: Damariz Iliana Cabañas Arroyo.

Hecho en México.

Prácticas agrícolas en la milpa maya de Yucatán

EDITORES

Javier Orlando Mijangos Cortés

Miguel Ángel Fernández Barrera

José Luis Sima Gómez

Luis Latournerie Moreno



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



AGRADECIMIENTO

Esta obra es parte de los productos obtenidos con el proyecto «Conservación, uso sostenible, incremento de la capacidad productiva y revalorización de la milpa maya en Yucatán» YUC-2018-03-01-119959, por lo cual se extiende un agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el financiamiento.

Igualmente, un profundo agradecimiento a las personas milperas del estado de Yucatán, en especial al grupo de productores y productoras de la comunidad de Xoy, municipio de Peto, Yuc., Méx.

GRUPO AUTOR

Juan Manuel Dupuy Rada

José Luis Andrade Torres

José Luis Hernández Stefanoni

Unidad de Recursos Naturales del
Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)

Esaú Ruiz Sánchez

Rubén Humberto Andueza Noh

René Garruña Hernández

TecNM-Instituto Tecnológico de Conkal
Avenida Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán. C.P. 97345

Juan Candelero de la Cruz

José Alfredo Noh Medina

Fernando Antonio Peraza Luna

Nery María Ruz Febles

Juan José Sandoval Gío

TecNM-Instituto Tecnológico de Tizimín
C. 29, Sta. Rita, Tizimín, Yuc., C.P. 97702

CONTENIDO

8	Prólogo
12	Introducción
16	I. NUTRICIÓN DE LA PLANTA DEL MAÍZ
16	1.1 La importancia del suelo
17	1.2 Los elementos minerales y su función en la planta
19	1.2.1 Nutrientes primarios o macronutrientes
22	1.2.2 Nutrientes secundarios
25	1.2.3 Micronutrientes
29	1.3 Nutrición orgánica
31	1.4 Descripción de los agentes para la nutrición orgánica
38	1.5 Los agentes microbianos en la nutrición de las plantas
41	1.6 Otras prácticas ecológicas en la nutrición orgánica
46	1.7 Elaboración de la composta

55	1.8 Producción masiva de agentes fúngicos	84	3.3 Pudrición de tallo, raíz y mazorca de <i>Fusarium</i> sp. y <i>Gibberella</i> sp.
57	1.9 Referencias	86	3.4 Virus del rayado fino del maíz (MRFV)
64	II. PRINCIPALES PLAGAS DEL MAÍZ	88	3.5. Referencias
64	2.1 Gusano cogollero del maíz (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	90	IV. MANEJO FORESTAL
67	2.2 Gusano elotero (<i>Helicoverpa zea</i>)	90	4.1 Identificación de zonas de reserva forestal comunitaria
69	2.3 Chicharrita saltona de maíz (<i>Dalbulus maidis</i>)	92	4.2 Prácticas forestales tradicionales
71	2.4 Pulgón verde del maíz (<i>Rhopalosiphum maidis</i>)	101	4.3 Mantenimiento de especies prioritarias en zonas de reserva federal comunitaria
73	2.5 Complejo gallina ciega (Melolonthidae: <i>Phyllophaga</i> sp. y <i>Anomala</i> sp.)	108	4.4 Referencias
76	2.6 Referencias		
80	III. PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL MAÍZ		
80	3.1 Roya del maíz (<i>Puccinia sorghi</i>)		
82	3.2 Tizón de la hoja de maíz anamorfo (asexual): <i>Curvularia</i> sp. y <i>Helminthosporium</i> sp.		

PRÓLOGO

Al identificar a Mesoamérica como uno de los centros de origen y domesticación de especies y vegetales en el mundo, en 1953 Nikolái Vavílov le asignó al maíz un papel protagónico en la alimentación de la población de esta región. La iconografía y las fuentes prehispánicas dan cuenta de la importancia de *Zea mays* L. desde tiempos inmemorables, en tanto que las evidencias etnográficas y las estadísticas sobre los volúmenes de producción actual reflejan su persistente importancia en México.

El espacio físico donde se ha cultivado el maíz, asociado a una importante cantidad de otras especies, se denomina genéricamente como **milpa**, vocablo que proviene del náhuatl *milli*, que significa justamente «sembradío» o «heredad».

En la actualidad sabemos que la milpa al igual que el maíz, variará de acuerdo con las condiciones físico-bióticas y culturales donde se cultiva.

En el caso de la península de Yucatán, desde hace unos 3500 años la población maya practica la milpa basándose en un inteligente manejo de la selva, donde el principal capital con el que cuentan el milpero y la milpera es la fertilidad del suelo y la relación existente entre el tiempo de cultivo (donde se registra una caída en los valores) y el de regeneración de la vegetación selvática, misma que, a través de la incorporación de su materia orgánica descompuesta, per-

mite devolverle los nutrimentos necesarios al suelo para el siguiente ciclo de cultivo.

Junto a lo anterior, el campesino y la campesina maya han aprendido a través de los siglos que, para producir en los suelos someros y pedregosos existentes, deben rozar, tumbar y quemar la selva para incorporar de manera rápida los nutrimentos existentes en ella. Hoy esto tiene una lógica perfectamente conocida por la ciencia: la naturaleza de la dinámica ecológica de la mayor parte de los suelos de los trópicos húmedos y subhúmedos hace que la mayor cantidad de los nutrimentos del medio no estén en el suelo sino en la vegetación.

Lo anterior ha permitido afirmar que la selva maya es totalmente antropogénica y que este sabio manejo basado en una agricultura de **roza-tumba-quema (RTQ)** ha permitido su persistencia hasta hoy.

Sin embargo, existen al menos dos fenómenos importantes que en las últimas décadas están amenazando al sistema y a la persistencia de la población campesina maya y la de su selva: el incremento en la densidad poblacional de las comunidades que están acortando el tiempo de recuperación del monte y de las poblaciones animales que viven en él, y las crecientes exigencias del consumismo que obligan al campesinado a contar con ingresos económicos mayores de los que el propio sistema puede dar.

Aunado a lo anterior, se debe tener presente que la agricultura tradicional, donde se clasifica el cultivo de la milpa, fue desarrollada para coadyuvar a la reproducción de la unidad familiar, pero no para generar excedentes económicos que permitieran a la familia obtener recursos monetarios para la compra de satisfactores propios de la modernidad.

Estos dos factores han obligado a las familias mayas a generar distintas estrategias de supervivencia, tales como:

1. Junto con la milpa (conocida en maya como *ko'ol*, cultivar el *pach pakal* o *pet pach*, que es un área de hortalizas ubicada dentro de la milpa), tener solares o huertos familiares diversos con la mayor cantidad posible de plantas cultivadas y animales criados; así como obtener del monte los satisfactores posibles, incluyendo materiales de construcción, fauna alimenticia a partir de la cacería y el trampeo, plantas y animales medicinales para otros usos, cultivo en rejolladas y la cría de abejas (tanto italianas [*Apis mellifera*] como autóctonas [*Melipona greggii*]). En estas y otras actividades, la producción realizada en familias extensas es muy importante.
2. A trabajar dentro y fuera de la comunidad para subsidiar la economía familiar.

3. Intensificar los sistemas de producción, de acuerdo con la lógica de la agricultura agroindustrial.
4. Acudir a la «expulsión» de la comunidad de algunos de los y las jóvenes de la familia, con la esperanza que se queden en el exterior.
5. Dedicar parte de los esfuerzos a algún oficio, como el comercio, la elaboración y venta de artesanías, la música o el transporte.
6. Especializar su solar para la cría de cerdos y/o aves de corral, o el cultivo de cítricos.
7. Buscar recursos económicos y materiales a través de subsidios privados u oficiales.

Se ha apreciado que una parte importante de los recursos económicos que llegan a las familias se utilicen para subsidiar la intensificación de los sistemas de producción y esto se da principalmente a través de:

1. La introducción de herbicidas y fertilizantes a las milpas.
2. El cultivo permanente de manchones de suelo de cierta profundidad conocidos como *kancabales*, tanto para siembra de hortalizas como de frutas comerciales, apoyándose de agroquímicos diversos y de pequeños sistemas de riego.

3. La compra de cajas para abejas y reinas para comercializar su miel.

Estas incorporaciones, producto de la necesidad de incrementar los ingresos familiares a costa de lograr mayores rendimientos, han generado algunas consecuencias no del todo deseables:

1. Pertenecen a la lógica productivista de inyectar energía química y mecánica al sistema para solucionar cualquier problema.
2. Han sido introducidas casi siempre sin capacitación técnica, por lo que muchas veces su uso no tiene la eficiencia esperada.
3. Se está generando un incremento del monocultivo con el consecuente aumento de plagas, enfermedades y el costo de combatirlas.
4. Generan una dependencia cada vez mayor a los agroinsumos, mismos que anualmente suben de precio, mientras que lo cosechado se paga al menor precio posible.
5. Cada vez hay más evidencias del daño que los agroquímicos están ocasionando a la salud humana y al medio ambiente, incluyendo la contaminación del manto freático y la biodiversidad.

Ante esta problemática, las y los milperos mayas, así como las y los técnicos e investi-

gadores al servicio de la milpa, han estado trabajando intensamente en la búsqueda de soluciones que permitan mantener los niveles de sostenibilidad deseables para la persistencia de la labor milpera, su economía y sociedad, la selva con su flora y fauna, y la calidad de los suelos y del agua.

Uno de los retos más importantes es trabajar intensamente en la búsqueda de alternativas al modelo de producción impulsado por los tres niveles de gobierno durante décadas y que ha sido importado de tierras templadas: el monocultivo y el uso intenso de energía química y mecánica, hoy conocido como agricultura agroindustrial.

La opción es recobrar muchas de las ventajas que históricamente tiene la agricultura tradicional basada en el policultivo y en el manejo de la diversidad biológica y los recursos locales para solucionar los problemas del cultivo.

El presente manual ***Prácticas agrícolas en la milpa maya de Yucatán***, elaborado en el marco del proyecto «Conservación, uso sostenible, incremento de la capacidad productiva y revalorización de la milpa maya en Yucatán» YUC-2018-03-01-119959, financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt), es uno de esos intentos formales para enfrentar parte de las problemáticas que la milpa actual está experimentando.

Elaborado por diferentes especialistas y explicado de manera sencilla, ofrece valiosa información sobre el maíz cultivado en Yucatán, su nutrición (principalmente orgánica), incluyendo diversas técnicas de bajo costo de elaboración y efectividad probada, sobre todo a mediano y largo plazo, lo que permitirá ir disminuyendo año con año el uso de fertilizantes inorgánicos.

Al abordar las plagas insectiles que suelen atacar al maíz en la península, se describen las cinco más importantes, como son los gusanos cogollero y elotero, la chicharrita saltona, el pulgón verde y el complejo gallina ciega, adjuntándose información de los insecticidas autorizados oficialmente para su control, en caso de ser necesarios; lo mismo sucede en la descripción de las cuatro enfermedades más comunes, como son la roya, el tizón de la hoja, pudriciones de tallo, raíz y mazorca, así como el virus del rayado fino del maíz.

Finalmente, este manual ayudará a identificar zonas para reservas forestales comunitarias, contiene un interesante conjunto de prácticas forestales tradicionales y concluye con valiosa información que permite el mantenimiento de especies forestales prioritarias en las reservas forestales comunitarias.

Ramón Mariaca Méndez
El Colegio de la Frontera Sur

INTRODUCCIÓN

La milpa puede definirse como un sistema agrícola tradicional de producción de alimentos, conformado por un policultivo que constituye un espacio dinámico de recursos genéticos. El maíz es su principal producto, acompañado y complementado con diversas variedades de frijoles y calabazas. También pueden existir otras especies, como chiles, tomates, hortalizas y tubérculos comestibles.

Las condiciones edafoclimáticas adversas de la península de Yucatán, prevaleciente de suelos pedregosos, calizos, poco profundos, altamente permeables y su clima de tipo cálido subhúmedo, con una marcada época seca (de enero a mayo), hacen que cualquier práctica agrícola dependa del temporal y del manejo y aprovechamiento de la vegetación existente. Por ello, la milpa se basa en el conocimiento generacional adquirido por las productoras y los productores milperos tradicionales sobre el manejo y aprovechamiento del suelo, el agua y la vegetación.

La milpa en la península de Yucatán ha basado su sostenibilidad en el sistema agrícola roza-tumba-quema, el cual aprovecha los recursos acumulados en el ecosistema mediante una rotación de áreas de cultivo con periodos de descanso, con el fin de que la selva se regenere y se renueve la materia orgánica y la fertilidad del suelo. En este sistema de producción tiene enorme importancia el aprovechamiento de especies

forestales para fines básicos, como la obtención de materiales de construcción, implementos agrícolas, forrajes, leña, medicina y alimentos.

El estudio integral sobre el aprovechamiento de los recursos vegetales bajo el sistema roza-tumba-quema en la península de Yucatán ha puesto de manifiesto el importante papel de la vegetación secundaria o *hubche* para mantener la producción agrícola y surtir los productos forestales indispensables para la economía campesina.

Actualmente, el establecimiento de monocultivos, la deforestación, el crecimiento de espacios para la ganadería y el uso intensivo e indiscriminado de plaguicidas han impactado fuertemente en los rendimientos de los cultivos de la milpa, debido a la reducción obligada de los periodos de barbecho o descanso, ocasionando el abatimiento del nivel de fertilidad de los suelos, la alta incidencia de plagas y el daño por enfermedades. En particular, esto se ha reflejado en el cultivo más importante de la milpa, que es el maíz.

El maíz es sumamente importante a nivel regional y nacional, debido a que sus granos son fundamentales para la alimentación humana y animal. En su cultivo, el uso de los fertilizantes químicos se hizo necesario e imprescindible para incrementar la productividad, pero estos insumos generaron a la larga situaciones adversas en las características físico-químicas y biológicas del suelo.

Por ello, es necesario el uso de alternativas de menor impacto ambiental.

En la agricultura ecológica se utilizan diferentes prácticas agrícolas para nutrir a las plantas. Las prácticas ecológicas más comunes de nutrición vegetal incluyen: la rotación de cultivos, la asociación favorable o policultivo, el uso de abonos orgánicos, el uso de residuos de cosechas y el uso de biofertilizantes. El uso de abonos orgánicos en la agricultura permite una producción de grano sostenible y disminuye el impacto de la actividad agrícola en el ambiente, así como la disminución de los costos de producción.

Durante el proceso del cultivo de maíz existen otros problemas, tales como la presencia de plagas. Entre ellas, las más comunes son el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), que afecta gravemente a las plantas pequeñas por daños al follaje; el gusano elotero (*Helicoverpa zea*), que daña particularmente flores y frutos; las chicharritas (*Empoasca* spp.), que causan más daños al maíz sembrado en fechas tardías por transmitirle enfermedades asociadas al complejo de fitoplasmas conocido como achaparramiento del maíz: fitoplasma del achaparramiento (MBSM) y espiroplasma de achaparramiento (CSS); el pulgón verde del maíz (*Rhopalosiphum maidis*), que ocasiona daños cuando las densidades de las colonias son altas (tanto los adultos como las ninfas se alimentan de la savia de las plantas, produciendo debilitamiento gene-

realizado); y la gallina ciega, integrada por un complejo de varias especies de escarabajos que, junto con sus estadios larvales, son los que causan daño al sistema de raíces.

Otros problemas fitosanitarios del cultivo de maíz lo integran los daños causados por agentes fitopatógenos, dentro de los cuales, las enfermedades de origen fúngico son las más importantes. Entre las enfermedades más comunes se encuentra la roya (causada por *Puccinia sorghi*), que se reconoce por las pústulas pequeñas y pulverulentas (tanto en el haz como en el envés de las hojas) que son de color café claro en las etapas iniciales de la infección y, posteriormente, se manifiesta en la epidermis que se rompe a la par de que las lesiones se vuelven negras a medida que la planta madura; el tizón de la hoja de maíz (*Curvularia* sp. y *Helminthosporium* sp.), que puede afectar en la temporada de verano y al final de la de invierno; y la pudrición de tallo, raíz y mazorca (*Fusarium* spp. y *Gibberella* sp.), que también suele afectar a las hojas de las plántulas.

El sistema de producción milpa también puede hacer uso de los recursos de los montes aledaños a las áreas de explotación

agrícola. Estos espacios son importantes como áreas de reserva. Uno de los criterios más importantes para establecer zonas de reserva o protección en los bosques o selvas, se enfoca en la selección de áreas con la mayor cantidad de biomasa o carbono almacenado. Sin embargo, actividades como la deforestación y la degradación del bosque o selva contribuyen de manera importante a perder el carbono almacenado en las plantas. De ahí que la biomasa aérea de los bosques sea un criterio muy importante para el establecimiento de zonas de reserva.

En la presente obra se integran cuatro capítulos que abordan aspectos relevantes del manejo sustentable del maíz dentro del sistema milpa y de los recursos forestales aledaños a la milpa. En primera instancia se describen aspectos de nutrición vegetal y se describe la producción y uso de abonos orgánicos. En el segundo capítulo se describen las plagas del maíz y las estrategias de manejo. En el capítulo tercero se describen las enfermedades más comunes del maíz en la región y sus estrategias de manejo. Finalmente, en el capítulo cuarto, se integra información relevante sobre el manejo de especies forestales anexas al sistema milpa.



Nutrición de la planta del maíz

Juan Candelero de la Cruz,
José Alfredo Noh Medina,
Fernando Antonio Peraza Luna,
Nery María Ruz Febles y
Juan José Sandoval Gío

I. NUTRICIÓN DE LA PLANTA DEL MAÍZ

1.1 La importancia del suelo

El suelo es aquella delgada capa de pocos centímetros hasta algunos metros de espesor de material terroso no consolidado, que se forma en la interfase de la atmósfera-biósfera-litósfera. En ella interactúan elementos de la atmósfera e hidrósfera (aire, agua, temperatura, viento, etc.), de la litósfera (rocas, sedimentos) y de la biósfera, y se realizan intercambios de materiales y energía entre lo inerte y lo vivo, produciéndose una enorme complejidad (Jaramillo et al., 1994).

Asimismo, es una colección de cuerpos naturales en constante interacción y transformación; debido a esto, es dinámico y sensible a prácticamente todos los aspectos de su entorno.

Restrepo y Hensel, (2013) acertadamente mencionan: «Todo lo que yace sobre la tierra es la fiel radiografía de toda la complejidad viva que sucede debajo de la misma, y todo lo que se encuentra debajo de la tierra es la fiel radiografía de toda la complejidad energética de lo que sucede y se transforma arriba de la misma. El abajo y el arriba no existen, se conjugan o se fusionan en una sola expresión infinita: la vida, donde todo lo que aparentemente termina para el uno, es el inicio para el otro».

El sistema de producción de la milpa basado en el manejo y aprovechamiento de los recursos forestales es dependiente total-

mente de los factores bióticos y abióticos del suelo. Al acortarse o al eliminar los periodos de barbecho o descanso de la selva, ya no se cuenta con el tiempo suficiente para reponer los nutrientes extraídos por las cosechas anteriores, lo que se refleja en una baja productividad de los cultivos como consecuencia de la pérdida de fertilidad del suelo (Sivila & Angulo, 2006).

La fertilidad del suelo es la capacidad que este tiene para producir plantas sanas, robustas, lozanas y productivas. Puede ser natural o inducida mediante un manejo del suelo apropiado y la aplicación de fertilizantes orgánicos o inorgánicos que conserven la nutrición.

El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de mejoramiento y nutrición vegetal que permitan un manejo adecuado de los nutrientes para evitar su carencia o pérdida por lixiviación, y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimizar las variables ligadas a su conservación (Labrador, 1996; Altieri, 1999).

Calderón (1993) menciona que un suelo en buenas condiciones para la agricultura debe encontrarse en volumen dentro los siguientes porcentajes:

- Materia mineral = 45%
- Materia orgánica = 5%
- Agua = 25%
- Aire = 25%

La porción sólida del suelo está compuesta de material orgánico e inorgánico. Cerca del 50% de su volumen total consiste en materia mineral sólida derivada, principalmente, de rocas con pequeñas cantidades relativamente estables de materia orgánica localizadas mayormente en la capa superficial del suelo (Glinsky & Lipiec, 1990).

La materia orgánica del suelo está formada por los restos y productos descompuestos de animales y plantas, y su volumen puede variar a través del tiempo como resultado de la adición natural o artificial de restos vegetales o animales. La materia orgánica tiene entre sus propiedades, la facultad de hacer solubles y aprovechables para las plantas muchos compuestos minerales que se encuentran en formas no asimilables. Ello se realiza gracias al desprendimiento de dióxido de carbono (CO_2) que se transforma en ácido carbónico (H_2CO_3), el cual tiene actividad sobre los minerales. La materia orgánica también regula la temperatura del suelo, haciendo que esta no llegue a ser demasiado baja en invierno, ni demasiado alta en verano (Calderón, 1993).

La parte líquida del suelo contiene minerales disueltos en varias cantidades, así como oxígeno y dióxido de carbono. Los elementos minerales entran a la planta a través de la solución del suelo.

La porción gaseosa del suelo es también importante para el crecimiento de las plan-

tas. En suelos mal drenados el agua reemplaza al aire, privando del oxígeno necesario para su existencia, tanto a las raíces como a ciertos microorganismos aeróbicos convenientes (Wilkerson, 1992).

En resumen, el contar con un suelo sano trae consigo los siguientes beneficios:

- Transforma la materia inerte y en descomposición, así como los minerales, en nutrientes para las plantas.
- Controla las enfermedades de las plantas, los insectos-plaga y malas hierbas.
- Mejora la estructura de los suelos con efectos positivos para la capacidad de retención de agua y nutrientes.
- Mejora la producción de cultivos.
- Contribuye a mitigar el cambio climático al mantener o aumentar su contenido de carbono.

1.2 Los elementos minerales y su función en la planta

Castañeda et al. (2002) mencionan que, desde el punto de vista de la fisiología y la bioquímica, los nutrientes vegetales se agrupan en los siguientes cuatro apartados:

1. Carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S). Estos cinco elementos son los principales componentes de la materia orgánica: C, H y O son absorbidos en forma de CO_2 , abundante en la atmósfera; y del

HCO_3^- de la solución del suelo. El nitrógeno es abundante en la atmósfera, pues constituye el 79% del volumen atmosférico. Las plantas cultivadas no absorben nitrógeno por este medio, por lo que es necesario un proceso complejo para ser absorbido del suelo en forma de nitratos (NO_3^-).

2. Fósforo (P), boro (B) y silicio (Si) son absorbidos en forma de fosfatos, boratos y silicatos de la solución del suelo; su función es la esterificación de alcoholes de la planta y transferencia de la energía (ésteres de fosfato).
3. Calcio (Ca), sodio (Na) magnesio (Mg), potasio (K), manganeso (Mn) y cloro (Cl) son absorbidos en forma de ion de la solución del suelo o en forma de quelatos (Mg, Ca y Mn). Su función es controlar el potencial osmótico y permeabilidad de la membrana celular (K^+ , Na^+ , Mg_2^+ , Cl^-).
4. Hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo) son absorbidos en forma de iones o quelatos de la solución del suelo; su función es la formación de grupos enzimáticos.

De los elementos anteriores, 16 son esenciales para algunas plantas y se clasifican en:

1. Nutrientes primarios (N_2 , P_2O_5 y K_2O). Se denominan también macroelementos porque el suelo no puede suministrarlos en las cantidades altas que necesitan algunas especies para desarrollar y producir altos rendimientos. Se obtienen de los sólidos

del suelo o se suministran en grandes cantidades a través de fertilizantes o abonos comerciales. Se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0.1%.

2. Elementos que abundan y que son tomados por las plantas del aire y el agua. Estos son carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) y no representan ninguna dificultad de suministro para la fertilización.
3. Nutrientes secundarios. Las plantas también requieren calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en cantidades altas, pero raramente representan problema de escasez y son tomados de los sólidos del suelo.
4. Micronutrientes. Hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo), cobre (Cu) y cloro (Cl), son elementos que las plantas requieren en pequeñas cantidades (concentraciones menores a $\mu\text{g/g}$ de masa seca) y son conocidos como microelementos (White, 1987).

Otros autores consideran e identifican a 17 elementos como esenciales: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P), azufre (S), cloro (Cl), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y el níquel (Ni), en orden de concentración relativa.

Otros elementos como el cobalto (Co), selenio (Se), silicio (Si), sodio (Na), vanadio (V) y aluminio (Al), se han identificado como

benéficos, aunque no necesariamente esenciales (Broyer et al., 1954; Mengel & Kirkby, 2000; Sharma & Kumar, 2011).

Las plantas requieren de todos los nutrientes esenciales en proporciones equilibradas para un crecimiento óptimo. La deficiencia de nutrientes ocurre cuando la concentración y disponibilidad es insuficiente para satisfacer los requerimientos de una planta en crecimiento y se manifiestan a menudo con síntomas visuales.

La detección temprana de las deficiencias nutricionales mediante el reconocimiento de los síntomas visuales, permite una rápida corrección de las estrategias del manejo de nutrientes adoptadas y evitar la pérdida de rendimiento (Sharma & Kumar, 2011).

A continuación, se describirán los nutrientes primarios o macronutrientes, los nutrientes secundarios y los micronutrientes que afectan el desarrollo y rendimiento de la planta de maíz.

1.2.1 Nutrientes primarios o macronutrientes

Nitrógeno (N)

El maíz (*Zea mays* L.), la especie base de la milpa, es una gramínea altamente demandante de nitrógeno y es muy sensible a su deficiencia (Ciampitti et al., 2010).

El nitrógeno es un elemento mineral primario absorbido por las plantas en forma de iones de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). Es esencial para el metabolismo de los carbohidratos (Miller, 1981; Jones et al., 1991). Se

encuentra en forma orgánica e inorgánica combinado con carbono, hidrógeno y oxígeno (C, H, O) y algunas veces con azufre (S), formando aminoácidos, aminoenzimas (aminotransferasas o transaminasas que transfieren aminoácidos), ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases purínicas. El nitrógeno inorgánico puede acumularse en los tallos y tejidos conductivos de la planta en forma de nitrato.

Función del nitrógeno en la planta del maíz:

- Promover el crecimiento vegetativo (expansión foliar).
- Estimular el crecimiento radicular y el desarrollo de las plantas.
- Contribuir a la asimilación de otros nutrientes.
- Mejorar la formación y desarrollo de la espiga.
- Influir en el rendimiento y en la calidad de las cosechas (la calidad del grano depende del contenido de proteínas).

Los síntomas de su deficiencia son:

- Retraso en el crecimiento de las plantas.
- Formación de mazorcas pequeñas que contienen granos pequeños y poca cantidad.
- Las hojas maduras se tornan color amarillo verdoso de adentro hacia afuera.
- A medida que el proceso avanza, el amarillamiento se expande a la base de la hoja y los nervios foliares.
- Ocasionalmente se detiene el crecimiento y las hojas se caen.
- Tallos morados o rojizos (**Figuras 1.1 y 1.2**).

La deficiencia de nitrógeno se produce en suelos con bajo contenido de materia orgánica o en suelos sobreexplotados y con susceptibilidad a la inundación. También puede deberse al exceso de potasio (K), zinc (Zn) y manganeso (Mg) en el suelo, así como a altas concentraciones de cloruro y pH (medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa que indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones) muy alto en el suelo (alcalino), o alteraciones en el sistema radicular ocasionadas por enfermedades o por bajas temperaturas del suelo (Sharma & Kumar, 2011).

Para corregir esta deficiencia se recomienda incorporar cultivos de leguminosas (fijadores de nitrógeno) en el sistema de rotación, así como aplicar abonos orgánicos, fertilizantes nitrogenados y biofertilizantes (Sharma & Kumar, 2011).

Fósforo (P)

El fósforo es absorbido por las plantas en forma de ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-) o secundario (HPO_4^{2-}), dependiendo del pH del suelo. En forma inorgánica está presente en las raíces, tallos y en hojas viejas, mientras que en hojas jóvenes hay mayor concentración de fósforo orgánico (Mengel & Kirkby, 2001).

Función del fósforo en la planta del maíz:

- Estimular el crecimiento temprano y la formación de raíz.
- Acelerar la maduración y promover la producción de semillas.
- Favorecer los procesos de fecundación, fructificación y maduración.

- Sintetizar ácidos nucleicos; almacenar y transferir energía a través de enlaces ricos en energía.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Retraso en el crecimiento (achaparramiento).
- Producción de tallos largos y delgados.
- Madurez tardía y bajo rendimiento de grano.
- La proporción de la materia seca de la parte aérea con relación a la raíz es baja.
- Coloración púrpura rojiza en las hojas (maduras) y tallos, producido por los pigmentos llamados antocianinas (**Figuras 1.1 y 1.2**).

La deficiencia de fósforo se produce en suelos con bajo contenido de materia orgánica, suelos con alto grado de alcalinidad y calcáreos, y suelos sobreexplotados y muy erosionados (Sharma & Kumar, 2011).

Para corregir esta deficiencia se recomienda incorporar abonos orgánicos, fertilizantes fosfatados o inoculantes microbianos para solubilizar el fósforo. En cultivos en pie se puede aplicar en el agua de riego fertilizantes con fósforo soluble, como el fosfato de amonio (Sharma & Kumar, 2011).

Potasio (K)

Las plantas contienen potasio (K) en forma de sales inorgánicas porque este elemento no forma parte de la estructura de ningún compuesto orgánico; interviene en la absorción de otros nutrimentos y su transporte dentro de la planta. Es absorbido en forma de iones de potasio (K^+).

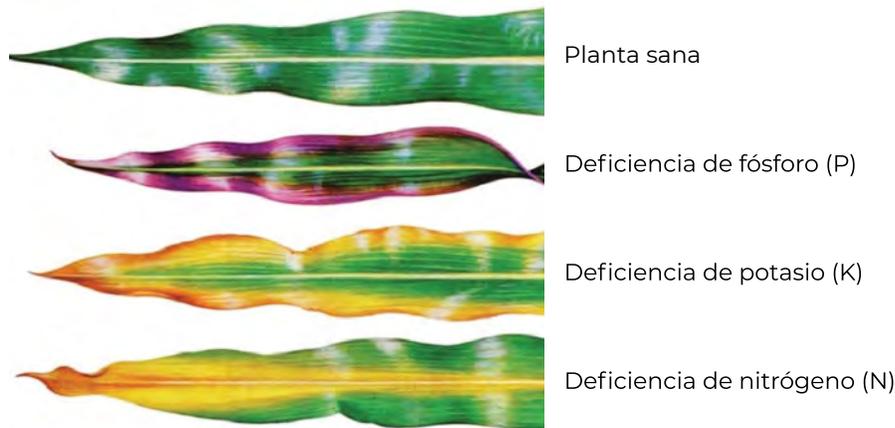


Figura 1.1. Deficiencia de fósforo, potasio e hidrógeno en hojas de maíz (*Zea mays*). Tomado de Martínez-Lagos & Gallardo-Andías (2018).

La función del potasio en la planta del maíz es estimular el crecimiento de la raíz y mejorar la resistencia de las plantas a las enfermedades. Este elemento es muy móvil en la planta, principalmente en dirección de los tejidos meristemáticos a partir de los órganos viejos.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Acortamiento de los entrenudos del tallo.
- Achaparramiento de la planta.
- Clorosis y necrosis marginal de las hojas viejas.
- Las mazorcas son estrechas y pequeñas, terminan en punta y la parte superior tiene pocos granos (**Figuras 1.1 y 1.2**).

La deficiencia de potasio se produce en suelos con un pH bajo (suelos ácidos), arenosos o poco densos, condiciones de sequía, altas precipitaciones (lixiviación) o fuerte irrigación, suelos altamente arcillosos, bajo contenido de potasio y un alto contenido de magnesio, sodio o calcio (Sharma & Kumar, 2011).

Para corregir esta deficiencia, los suelos deben regenerarse. Se recomienda agre-

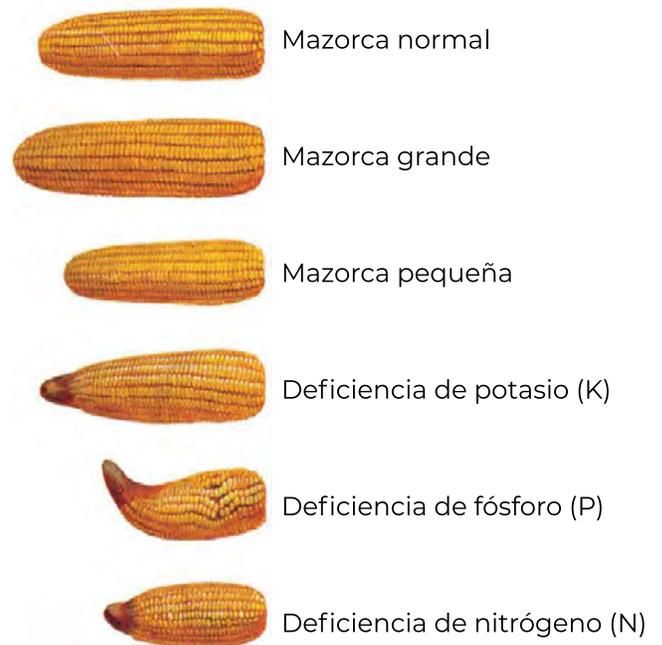


Figura 1.2. Deficiencia de nitrógeno, fósforo y potasio en mazorcas de maíz (*Zea mays*). Tomado de Syngenta (2021).

gar abonos orgánicos antes de la siembra. Aplicar KCl , K_2SO_4 o KNO_3 al suelo durante o antes de la siembra. En cultivos en pie, aplique en el agua de riego potasio soluble. No se recomiendan aplicaciones foliares, ya que es necesario llevar a cabo varias aplicaciones para cumplir con los requerimientos del cultivo (Sharma & Kumar, 2011).

1.2.2 Nutrientes secundarios

Calcio (Ca)

El calcio es absorbido por las plantas en forma de ion calcio (Ca_2^+), dado que es un nutriente estructural.

Funciones del calcio en la planta del maíz:

- Mantener la integridad celular y permeabilidad de las membranas.
- Participar en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, en la síntesis de proteínas y en el movimiento de los carbohidratos.
- Disminuir, en algunos casos, la presencia de elementos pesados en las plantas.
- Participar en el almacenamiento de azúcares y mejora de la firmeza de los frutos.
- Reducir y neutralizar el efecto de otras sales (ácidos orgánicos en los tejidos vegetales).
- Inhibir la enzima poligalacturonasa producida por los patógenos.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Plantas con retraso de crecimiento.
- Tallos cortos y robustos.
- Rendimiento de grano muy bajo.
- Las hojas nuevas crecen deformadas y con lesiones de color amarillo blanquecino, que posteriormente se rompen y se desgarran.
- En condiciones severas, las puntas de las hojas más jóvenes permanecen unidas entre sí y no se separan de la espiral (aparición de escalera).

Sistema radicular pobre y poco desarrollado, fraccionado y de color oscuro.

- Pudrición del tejido conductivo de la base del tallo.
- Se promueve el ataque de enfermedades (**Figura 1.3**).

La deficiencia de calcio se produce en suelos ácidos y arenosos que han sido lixiviados o arrastrados por las fuertes lluvias, así como en suelos con alta concentración de sodio intercambiable o con niveles altos de aluminio (Sharma & Kumar, 2011).

Para corregir esta deficiencia, aplique fertilizantes con calcio con bastante tiempo de anticipación antes de la siembra, utilizando suplementos nutricionales y fertilizantes solubles como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (nitrato de calcio) o CaCl_2 (cloruro de calcio). En suelos con pH bajo (ácidos), aplique cal o CaCO_3 (carbonato de calcio), para corregir el problema (Sharma & Kumar, 2011).

Magnesio (Mg)

Las plantas absorben el magnesio (Mg) en forma de ion magnesio (Mg_2^+).

Funciones del magnesio en la planta de maíz:

- Formar parte de la estructura de la clorofila y ser esencial para el proceso de fotosíntesis.
- Transporte de Mg_2^+ , principalmente en la corriente de transpiración; es muy móvil en el floema y puede trasladarse de los tejidos viejos a los jóvenes o al ápice.
- Funciona como activador (catalizador) de muchas enzimas.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Plantas con retraso de crecimiento.
- Tallos delgados y largos.
- Mazorcas pequeñas con granos pequeños.
- Desarrollo de una clorosis interveinal de color amarillo claro en la zona media de las hojas viejas. La clorosis avanza hacia la punta y la base de las hojas. Las hojas jóvenes son afectadas.
- En casos severos pueden observarse necrosis color café y desarrollo de franjas del mismo tono, como el óxido de las hojas viejas, ocasionando el secado total de la hoja (**Figura 1.3**).

La deficiencia de magnesio se produce en suelos ácidos arenosos que han sido lixiviados por lluvias intensas, suelos con presencia de turba o materia orgánica con bajo contenido en magnesio y suelos con alta concentración de calcio o potasio.

Para corregir esta deficiencia, aplique fertilizantes solubles como $MgSO_4$ (sulfato de magnesio) o $MgCl_2$ (cloruro de magnesio), antes de la siembra. En cultivos en pie aplique en el agua de riego fertilizantes con magnesio soluble (Sharma & Kumar, 2011).

Azufre (S)

Las plantas adquieren azufre del sustrato como sulfato (SO_4^{2-}), que es de por sí fácil de disolver y está sujeto a pérdidas por filtración.

Funciones del azufre en la planta del maíz:

- Esencial para la formación de proteínas, constituyente de aminoácidos

esenciales y componente de enzimas, coenzima A, tiamina y biotina.

- Requerido para la formación de la clorofila.
- Vital en la formación de componentes de aceites (glucósidos y glucosinolatos) y en la síntesis de vitaminas.
- Por cada 100 partes de nitrógeno, el maíz necesita una parte de azufre.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Reducción del porte y área foliar.
- Plantas con madurez tardía y bajo rendimiento de grano.
- En general, la planta presenta un color verde claro o amarillo claro en la base, pero las hojas más jóvenes presentan una mayor clorosis con manchas blanquecinas.
- El tono amarillento es uniforme en toda la hoja y afecta por igual tanto a las venas como a los tejidos intervenales (**Figura 1.3**).

La deficiencia de azufre se produce en suelos con bajo contenido de materia orgánica, en suelos sobreexplotados, arenosos o de textura ligera que han sido lixiviados por exceso de lluvias o agua de riego, así como en suelos derivados de material parental bajo en azufre.

Para corregir esta deficiencia, incorpore azufre elemental o $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (yeso) con anticipación a la siembra. En cultivos en pie agregue fertilizantes tales como $(NH_4)_2SO_4$ (sulfato de amonio), $MgSO_4$ (sulfato de magnesio) o K_2SO_4 (sulfato de potasio) en el agua de riego (Sharma & Kumar, 2011).

Planta de maíz con deficiencia de Ca.



Puntas de hojas pegadas entre sí (escalera)

Hojas jóvenes enrolladas y con las puntas unidas

Planta de maíz con deficiencia de Mg.



Planta de maíz con deficiencia de MG en hojas viejas (inferiores)



Hoja joven de maíz con lesiones amarillo blanquecinas y desgarramiento laminar



Clorosis interveinal color amarillo blanquecino cerca de la nervadura central



Márgenes de las hojas viejas color oscuro

Planta de maíz con deficiencia de S.



Hojas jóvenes amarillentas y hojas viejas color verde claro



Color amarillo uniforme en toda la hoja, incluyendo las venas y los tejidos intervenales

Figura 1.3. Deficiencia de calcio, magnesio y azufre en planta de maíz. Tomado de Sharma & Kumar (2011).

1.2.3 Microelementos

En el maíz, los problemas con micronutrientes se presentan principalmente con el hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) (Halliday et al., 1992).

Hierro (Fe)

Es el oligoelemento que las plantas absorben en mayor cantidad. Entre las múltiples funciones que desempeña destaca su rol en la fotosíntesis y en la formación de la clorofila, es constituyente de citocromos y metaloenzimas, fijación simbiótica de nitrógeno, metabolismo de nitrógeno y reacciones redox. Aumenta el rendimiento y la calidad del grano.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Se desarrolla una clorosis amarilla clara en los tejidos entre las venas. Estas conservan su color verde y son prominentes.
- En condiciones de deficiencia muy grave, la hoja entera se decolorará hasta verse de un tono blancuzco.
- Retraso en el crecimiento.
- Clorosis en las hojas jóvenes.
- Zonas necróticas en los márgenes y puntas de las hojas (**Figura 1.4**).

La deficiencia de hierro se produce en suelos calcáreos donde la solubilidad de este elemento es muy baja, suelos arenosos con bajas concentraciones de hierro, suelos orgánicos o turbosos donde la materia orgánica fija el hierro y reduce su disponibilidad, suelos con pH ácidos y con niveles excesivos de zinc, manganeso, cobre o níquel solubles, los cuales dificultan la absorción del

hierro, incluso si este está disponible en la disolución del suelo.

Para corregir esta deficiencia, los suelos con problemas de alcalinidad deben regenerarse aplicando abonos orgánicos antes de la siembra. Aplique al inicio de la siembra fertilizantes con hierro soluble como el FeSO_4 (sulfato de hierro) a razón de 25 kg/ha o quelatos de hierro (10 kg/ha). En cultivos de pie aplique FeSO_4 o quelatos de hierro (solución al 0.5%) como aplicaciones foliares cada 10 o 15 días (Sharma & Kumar, 2011).

Manganeso (Mn)

El manganeso (Mn) es un activador de diversas reacciones metabólicas de las plantas y cumple un destacado papel en la fotosíntesis y la respiración. Se involucra en los procesos de redox, es un formador de metaloproteínas y es fundamental en el proceso de fotólisis.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Retraso en el crecimiento de las plantas, tallos cortos y delgados y hojas de color verde claro o amarillo.
- Las mazorcas y los granos son pequeños, lo que resulta en un bajo rendimiento.
- El sistema radicular se acorta.
- En una deficiencia leve, las hojas se tornan de color verde claro y desarrollan una clorosis intervenal de color amarillo claro.
- En una deficiencia severa, las hojas se verán de color amarillo claro y se desarrollará una clorosis intervenal blanca (**Figura 1.4**).

La deficiencia de manganeso se produce en suelos arenosos de textura ligera que han sido lixiviados por la lluvia o el riego excesivo, suelos calcáreos y alcalinos donde la solubilidad del elemento es muy baja, suelos de turba con tendencia a la inundación donde la materia orgánica fija el manganeso y reduce su disponibilidad.

Para corregir esta deficiencia, los suelos con problemas graves de alcalinidad deben regenerarse aplicando abonos orgánicos antes de la siembra. Asimismo, hay que emplear fuentes solubles de manganeso como el MnSO_4 (sulfato de manganeso). En cultivos en pie, aplique MnSO_4 (en disolución de 0.2 a 0.3%) como aplicación foliar (Sharma & Kumar, 2011).

Zinc (Zn)

El zinc (Zn) es necesario para la integridad funcional y estructural de las membranas celulares. Cualquier daño a la integridad estructural celular resulta en permeabilidad de membranas y liberación de exudados.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Los primeros síntomas aparecen aproximadamente quince después de la emergencia de las plántulas.
- Franjas anchas de color blanco o amarillo en la base de las hojas y alrededor de la nervadura central. Tanto esta como los márgenes permanecen verdes.
- La deficiencia de zinc puede provocar que carezcan de anteras.

- Acortamientos de los entrenudos, lo que genera una aglomeración de las hojas en la parte superior, dando la apariencia de abanico.
- En una deficiencia leve, las hojas jóvenes desarrollarán bandas intervenales, similares a las ocasionadas por la ausencia de hierro y manganeso, pero solo en la base.
- En una deficiencia severa, las hojas cambiarán a color verde claro y se desarrollarán bandas anchas de tono amarillo blanquecino entre la nervadura central y el margen de la parte baja de la hoja. Eventualmente, el tejido afectado se secará y se tornará color gris claro (**Figura 1.4**).

La deficiencia de zinc se produce en suelos arenosos lixiviados donde la concentración de total del elemento es baja, suelos alcalinos con pH mayor a 7.5, suelos recientemente nivelados e impactados con maquinaria agrícola y suelos con excesiva aplicación de fósforo, lo cual dificulta la absorción del zinc.

Para corregir esta deficiencia, los suelos con problemas graves de alcalinidad deben regenerarse aplicando abonos orgánicos antes de la siembra. Aplique ZnSO_4 (25-30 kg/ha) o un quelato de zinc (10 kg/ha) una vez cada dos años a los suelos con deficiencia de zinc. Nunca mezcle fertilizantes de este elemento con fertilizantes de fósforo. En cultivos de pie aplique una solución de 3 kg de ZnSO_4 con 1.5 kg de cal viva disueltos en 500 litros de agua como aplicación foliar dos o tres semanas después de la emergencia de las plántulas (Sharma & Kumar, 2011).

Planta de maíz con deficiencia de Ca.



Hoja de maíz con nervaduras verdes prominentes que se destiñen y se tornan de color verde claro o amarillo claro.



Planta de maíz con clorosis entre nervaduras en las hojas superiores (jóvenes).

Planta de maíz con deficiencia de Mn.



Planta de maíz con clorosis intervenal amarillo claro.



Hoja de maíz con deficiencia grave de Mn. Se observa moteado intervenal blanco.

Planta de maíz con deficiencia de Zn.



Planta de maíz con bandas amarillas en la base de las hojas. La nervadura central y los márgenes permanecen verdes.



Hoja de maíz con bandas blancas junto a la nervadura central.

Figura 1.4. Deficiencia de hierro, manganeso y zinc en planta de maíz. Tomado de Sharma & Kumar (2011).

Otros micronutrientos importantes para el maíz son:

Boro (B)

El boro es un oligoelemento esencial relacionado con la fisiología del crecimiento vegetal. En los suelos se encuentra en cantidad suficiente para la nutrición vegetal, pero su disponibilidad para las plantas depende del pH y de la proporción de calcio. Es utilizado por las plantas como H_3BO_3 (ácido bórico), forma en la cual se encuentra en la solución acuosa a pH neutro. En las plantas se halla en pequeñas cantidades, concentrado especialmente en las partes jóvenes.

Este elemento juega un papel fundamental en la formación del tubo polínico y en la fertilidad del polen; en gramíneas esto se traduce en una mayor cantidad de granos en la mazorca o espiga. Asimismo, participa en la síntesis de proteínas y transporte de azúcares, fortalece la pared celular para dar mayor protección fitosanitaria a la planta y promueve el desarrollo apical en tallo y raíz con la síntesis y regulación de hormonas como las auxinas (Mengel & Kirkby, 2001).

Los síntomas de su deficiencia son:

- Se presentan manchas amarillas o blancas en las hojas con líneas engrosadas en relieve, pardas cerosas y entrenudos acortados.
- Causan reducciones importantes en el rendimiento de los cultivos.

En suelos con pH alto y calizos, el boro está bloqueado y la deficiencia resulta muy probable, así como también en suelos con uso excesivo de nitrógeno.

Molibdeno (Mo)

Como sucede con los otros oligoelementos, aunque las plantas requieren molibdeno en cantidades minúsculas, les resulta indispensable para el metabolismo. Este elemento difiere del hierro, manganeso y cobre, en el hecho de que está presente en las plantas como anión, principalmente en la forma más oxidada, Mo(VI), pero también como Mo(V) y Mo(IV). El bajo nivel de este elemento en las hojas de las plantas afecta el aprovechamiento del nitrógeno.

Los síntomas de su deficiencia son:

- Como la función más importante del molibdeno en el metabolismo de la planta es la reducción de NO_3 , la deficiencia se asemeja a la carencia de nitrógeno, volviéndose primero cloróticas las hojas más maduras. En contraste a la deficiencia de nitrógeno, los síntomas necróticos aparecen muy rápidamente en los márgenes de la hoja debido a la acumulación de nitratos (Mengel & Kirby, 2001).
- Clorosis en las hojas basales más viejas. Las hojas jóvenes resultan pálidas y menos desarrolladas.

La deficiencia está asociada con las condiciones de pH bajo.

Cobre (Cu)

El cobre es un elemento que existe en el suelo en su forma catiónica Cu^{2+} y está presente en muy pequeñas cantidades en la solución del suelo. Desempeña funciones de activador de diversas reacciones metabólicas

de las plantas. Interviene en la formación de quelatos altamente estables que permiten la transferencia de electrones, desempeña un papel comparable al del hierro en los procesos redox de la fisiología de la planta; igualmente, participa en el metabolismo de carbohidratos y proteínas y es importante en la fijación de N_2 , y durante el metabolismo secundario incrementa la resistencia de la planta a enfermedades (Jones, 1998; González-Méndez, 2002).

Los síntomas de su deficiencia son:

- Manifiesta una clorosis en las hojas nuevas que muestran decoloración internerval amarillenta, principalmente en la base.
- Afecta al crecimiento reproductivo: la falta de almidón en el polen y la inhibición de la liberación de estambres como resultado de problemas en la lignificación de las paredes celulares de las anteras.
- El retraso en la floración y la senescencia.
- Provoca el crecimiento lento en las hojas jóvenes y necrosis en meristemas apicales.

Los suelos orgánicos tienen mayores posibilidades de sufrir una deficiencia de cobre, a diferencia de los suelos arcillosos. La presencia de hierro, manganeso y aluminio afecta la disponibilidad del cobre (González-Méndez, 2002).

Cloro (Cl)

El cloro es fácilmente tomado por las plantas en su forma de ion inorgánico (Cl^-) y es altamente móvil dentro de la misma. Este

elemento está involucrado en la fotosíntesis, ya que es requerido para la fotólisis del agua en el sitio de oxidación del fotosistema II; además, juega un papel importante en la regulación estomática, sirviendo de anión acompañante al potasio en su entrada y salida de las células guardas. También está implicado en el balance de las cargas y en el ajuste osmótico dentro de las células (Welch, 1995).

Los síntomas de su deficiencia son:

- Causa marchitamiento.
- Puede desempeñar algún papel en la transpiración.

Es difícil que se presente la deficiencia del cloro en las plantas cultivadas, ya que generalmente el agua de riego tiene suficiente cantidad de cloro para suplir las necesidades del cultivo.

1.3 Nutrición orgánica

Importancia

En la agricultura ecológica se utilizan diferentes prácticas agrícolas para nutrir a las plantas, sin embargo, primero se deben conocer las condiciones del suelo para evitar serios desequilibrios que puedan inducir el desarrollo de plantas débiles o enfermas. Prácticas agrícolas como la rotación de cultivos, las asociaciones favorables, la protección de los cultivos, el uso de los abonos verdes y foliares, el manejo adecuado y el aprovechamiento de los residuos de cosechas y los biofertilizantes integrados a un sistema de producción tradicional, pueden disminuir el uso de los productos químicos (Altieri, 1999; Bueno, 2014).

Los abonos orgánicos de origen animal o vegetal son el resultado de la descomposición biológica de la materia orgánica por acción de los microorganismos y de los procesos aeróbicos o anaeróbicos que aceleran la descomposición de los residuos (Salamanca, 2012).

El uso de estos abonos orgánicos como sustrato o fertilizante, son altamente apreciados por su alto contenido de nitrógeno y cantidades significativas de otros elementos minerales (Cegarra et al., 1993) y por favorecer el contenido de materia orgánica del suelo y su densidad aparente (Ouédraogo et al., 2001; Courtney y Mullen, 2008), mejorando la estructura del suelo, el pH y la conductividad hidráulica (Brechelt, 2004).

Ventajas

La nutrición orgánica aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes, lo cual genera un menor gasto de agua y de los fertilizantes inorgánicos; disminuye la concentración de sales solubles en los cultivos durante la sequía y no genera la toxicidad y muerte en las plantas (Román et al., 2013; Ramos & Terry, 2014). El humus en su carácter coloidal y con base en su composición de ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, facilitan la absorción y el intercambio iónico, y favorecen el desarrollo del sistema radicular y la biomasa fresca aérea, estimulando la floración y en consecuencia mejoran la calidad de los granos (Zanor et al., 2018).

También generan las condiciones propicias para el desarrollo de los microorganismos benéficos del suelo, que actúan como agentes microbianos de control de plagas y enfermedades y promotores de crecimiento

vegetativo, tienen un impacto positivo en el ambiente y en la sociedad, no son contaminantes de aguas superficiales y subterráneas ni de los cultivos agrícolas.

Desventajas

- El miedo y el desconocimiento al cambio por parte de algunos agricultores y agricultoras.
- Se requiere tiempo y actividades adicionales para la elaboración de los abonos orgánicos.
- El tratamiento inadecuado de las excretas durante el proceso de compostaje puede generar un fertilizante orgánico inseguro.
- El aumento de la biodiversidad puede traer problemas en su manejo.

Manejo de la fertilidad del suelo

Originalmente los terrenos que se destinaban por primera vez al cultivo de la milpa estaban ocupados por vegetación de tipo arbórea, con una edad mínima de 20 años; después de concluida la primera cosecha, este mismo terreno, denominado cañada, se cultivaba por segunda vez para aprovechar la fertilidad del suelo.

En la actualidad, la escasez de terrenos con este tipo de vegetación ha obligado a los milperos y milperas a utilizar superficies con menor tiempo de descanso y menor fertilidad, lo que repercute en bajos rendimientos de los cultivos (Rodríguez-Canto et al., 2016).

La agricultura itinerante del sistema roza-tumba-quema, que ha sido practicada desde el origen de la milpa, puede ser modificada

de tal manera que se pueda cultivar el mismo terreno durante muchos años mediante el establecimiento de una infraestructura mínima que permita el suministro de agua de riego, el manejo de la fertilidad del suelo mediante la fertilización inorgánica y el uso de los abonos orgánicos que puedan elaborarse por la persona productora (Van Konijnenburg, 2007; Román et al., 2013).

1.4 Descripción de los agentes para la nutrición orgánica

De acuerdo con la fuente de nutrimentos, el grado de procesamiento y su estado físico, los abonos orgánicos se dividen en sólidos o líquidos, y los más utilizados son estiércoles (bovinos, ovinos, caprinos, conejos, gallinas), cachaza, turba, composta, abonos verdes, humus sólido, humus líquido, sustratos y la combinación de varios abonos orgánicos y suelo.

Los productos agrícolas de consumo humano, animal y los destinados a la industria no se incorporan en un ciclo continuo a los suelos; estos de forma indirecta se pueden reintegrar a los suelos.

La composta comienza con el armado de la pila de compostaje, a la cual se le denomina «pila al montón» (parva), constituida por los materiales de origen vegetal y animal. Esta se arma, preferentemente, sobre una superficie impermeable con una adecuada pendiente que permita escurrir los líquidos que se generan (lixiviados).

En la **Figura 1.5** se muestra el tamaño de la pila, la cual puede ser muy variable; sin embargo, no es aconsejable que la misma sea muy alta, ya que el peso del propio mate-

rial genera en el interior de la pila lugares con baja aireación y dificulta el proceso (Van Konijnenburg, 2007; Román et al., 2013; Campitelli, 2014).

A continuación, se describe el procedimiento para la elaboración de la composta:

1. Se afloja el suelo sobre el cual se hará la pila, hasta una profundidad de 30 cm para asegurar un drenaje adecuado.
2. Se colocan los distintos materiales en capas sucesivas (**Figura 1.5**) con la siguiente proporción en peso:
 - 1/3 de vegetación seca (materiales ricos en carbono).
 - 1/3 de vegetación verde, incluyendo los desperdicios de cocina (materiales ricos en nitrógeno).
 - 1/3 de tierra.
 - Se agregan, además, cenizas de madera y estiércol de distinto origen.
1. Después de colocar cada capa de material orgánico, se riega hasta lograr una humedad homogénea (como una esponja mojada y exprimida). La falta de humedad reduce la actividad microbiana, mientras que el exceso de agua provoca asfixia a los microorganismos.
2. Se debe mantener un nivel de humedad del 45 a 60%, regando como si se tratara de una huerta.

El tratamiento de compostaje tiene como objetivo obtener un material inocuo, estable y maduro que pueda incorporarse, sin riesgos al suelo y que no genere daños a los cultivos. Durante el tratamiento se realiza-

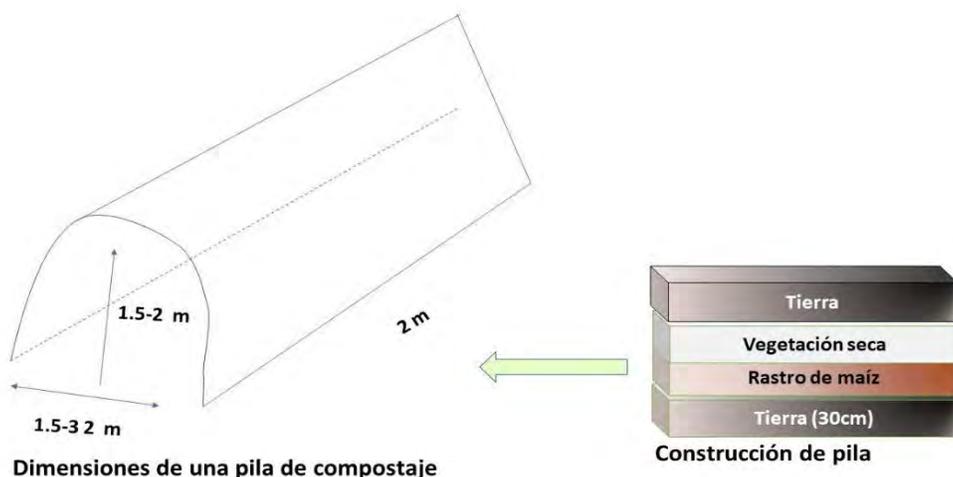


Figura 1.5. Dimensiones y formas de una pila de compostaje.

rán los controles del proceso de compostaje, con los cuales se podrá determinar el tiempo en que se lleva a cabo el proceso, las frecuencias de riegos y volteos (Labrador, 1996; Flórez, 2003; Pascual et al., 2015).

En el compostaje, el principio básico más importante es el hecho de que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos y, por tanto, tiene todas las ventajas y limitaciones de este tipo de procesos; los factores que afectan a los microorganismos son los que requieren mayor control a lo largo del proceso, tales como la aireación, el contenido en humedad, temperatura, pH, los factores nutricionales y la relación carbono:nitrógeno (C:N) (Ramos y Terry, 2014; Zanor et al., 2018).

Aireación. La presencia de oxígeno es necesaria para un buen proceso de compostaje, porque los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Una aireación insuficiente provoca la presencia de los microorganismos anaerobios y, en consecuencia, el retardo de la descomposición (Bidlingmaier, 1996).

El exceso de ventilación puede ocasionar el

enfriamiento de la masa y la reducción de la actividad microbiana; por esta razón, durante el proceso de maduración no deben hacerse aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de estos (Tomati et al., 2000; Zhu, 2006).

Humedad. La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%; la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; por encima del 70%, el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis, la cual origina malos olores y disminuye la velocidad del proceso. Esta se puede reducir con una mayor aireación (Haug, 1993).

Temperatura. Esta es una variable fundamental en el control del compostaje (Liang et al., 2003; Miyatake & Iwabuchi, 2006). Cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva: 15-40 °C para los microorganismos mesófilos, y 40-70 °C para los termófilos (Suler & Finstein, 1977).

Se observan cuatro fases en el proceso de descomposición aeróbica: mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración (Sánchez-Monedero, 2001).

- **Fase mesófila (FI).** Ocurre al inicio del proceso por la fermentación básicamente bacteriana de los compuestos solubles y una disminución del pH (hasta un valor de 5.5).
- **Fase termófila (FII).** La temperatura se eleva por acción de la fermentación iniciada, eliminando las bacterias patógenas y los actinomicetos, y se reduce también la presencia de hongos de pudrición negra, las bacterias lácticas y levaduras. El pH aumenta hasta obtener valores alrededor de 8 por acción del amonio desprendido en la fermentación y la temperatura llega cerca de los 70 °C con una gran demanda de oxígeno.
- **Fase de enfriamiento (FIII).** Después de agotarse los materiales más fácilmente degradables, la temperatura comienza a descender, restableciéndose los hongos que inician la degradación de la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, lo cual dará lugar a las materias húmicas. El pH se estabiliza y la demanda de oxígeno se reduce.
- **Fase de maduración (FIV).** El inicio de la maduración de la composta se caracteriza por la incorporación de mesofauna del suelo y el aumento de las materias húmicas, mientras que al final se caracteriza por la textura del material desmenuzado y de color negruzco, y temperatura estabilizada,

lo cual se comprueba por la variación de esta después de un volteo. Si no cambia la temperatura, la composta está madura.

Durante la fase termófila (FII) del compostaje, muchos grupos microbianos pueden ser eliminados a causa de las elevadas temperaturas alcanzadas. Sin embargo, cuando la temperatura desciende de nuevo hasta valores mesófilos (estabilización), algunos microorganismos recolonizan la composta y siguen desarrollándose durante la etapa de maduración (FIV). Entre los microorganismos vinculados durante el proceso de transformación se encuentran las bacterias como *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *Enterobacter* spp., *Acetobacter indonesiensis*, *Flavobacterium balustinum* y *Pseudomonas* spp., y ciertos actinomicetos como *Streptomyces* spp., *Paecilomyces variotii* y *Penicillium* spp.

Nutrientes. Entre los elementos que componen el sustrato destacan el carbono, nitrógeno y fósforo, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano.

- **Carbono (C).** Es un ejemplo directo de los carbohidratos, que en muchos casos son una de las fuentes principales de energía en forma de azúcares o polisacáridos para los sistemas celulares microscópicos; si proviene de las plantas, serán denominados compuestos celulósicos, aunque a veces se usarán también azúcares de las melazas de caña (azúcar invertido) para activar las poblaciones microbianas. El azúcar es la base de la fermentación porque provee energía a los microorganismos encargados de degradar la

materia orgánica y crear compuestos o productos de fermentación.

- **Nitrógeno (N).** Es un elemento esencial para la reproducción celular. En su composición química tiene proteínas y fracciones nitrogenadas de las dietas de pollos que se liberan en las excretas. Esas proteínas se descomponen por reacciones de hidrólisis dentro de los microorganismos para permitir su sobrevivencia y reproducción.
- **Fósforo (P).** Desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano.

Los minerales contenidos en las materias primas son importantes desde el punto de vista de estabilidad de ese producto, pero es importante que no llegue a superar ciertos límites para alterar los procesos de degradación de la materia orgánica.

Relación carbono:nitrógeno (C:N). Importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno; por tal motivo, se considera que el intervalo de C:N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Jhorar et al., 1991). Si la relación C:N es mayor que 40, la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso. La relación C:N ideal para una composta totalmente madura es cercana a 10, similar a la del humus. En la práctica se suele considerar que una composta es suficien-

temente estable o madura cuando $C:N < 20$ (Golueke & Díaz, 1987; Zhu, 2006).

Agua. Es el principal componente cuantitativo del proceso fermentativo durante el compostaje y, asimismo, durante el crecimiento, reproducción, mantenimiento de las células (procesos regenerativos) y, en algunos organismos como la lombriz de tierra, plantas, animales y el ser humano, representan el componente esencial de la vida.

En la **Figura 1.6** se observan los procesos involucrados en el del compostaje: la recolección de los materiales, reducción del tamaño (en el caso de ingredientes difíciles de descomponer), la homogenización, el humedecimiento, la medición de los parámetros fisicoquímicos y la remoción para eliminar el mal olor que se libera durante la fermentación. La composta madura se obtiene a los tres o cuatro meses, y con esta se puede alimentar a la lombriz californiana y aplicarla en el campo.

Tipos de sustratos

Otro aspecto importante para un proceso de compostaje adecuado es el tipo de sustrato utilizado.

Sustrato como fuentes de carbono o nitrógeno. Durante el compostaje, los residuos de origen vegetal y animal deben mezclarse en proporciones respetando la relación C:N (< 20), cuidar que la humedad y la aireación sean las más adecuadas para estimular una actividad microbiana intensiva y, al mismo tiempo, modificar la estructura física y química de los materiales transformados para que los nutrimentos sean disponibles (Hernández-Rodríguez et al., 2013).

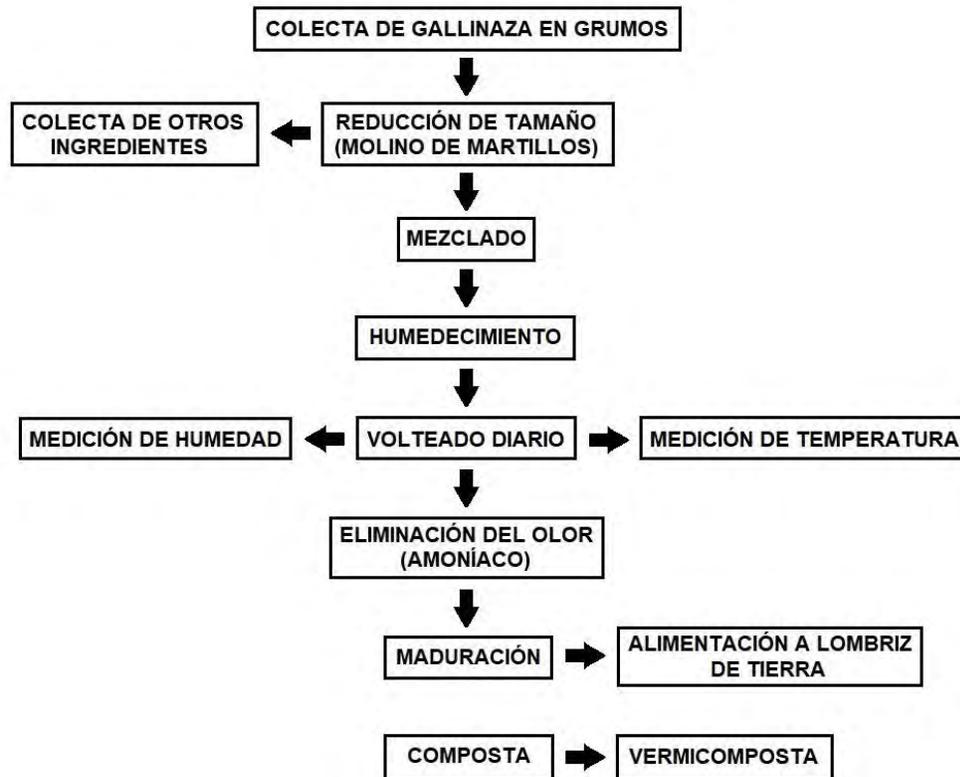


Figura 1.6. Diagrama de los procesos de compostaje y obtención de lombriz de gallinaza.

Residuos vegetales. Los materiales utilizados como fuente de carbono son el aserrín y las hojas secas de diversas plantas, las cuales se mezclan con los componentes que proporcionan nitrógeno, como el estiércol, el lodo residual o los materiales de las plantas verdes para alcanzar una proporción C:N de 20 o 30 a 1 (Plaster, 2005).

Residuos de animales. Las principales materias primas para la fuente de nitrógeno son la gallinaza, pollinaza, estiércol de ganado vacuno, caprino y ovino, la cerdaza y los purines (Pérez et al., 2008).

- **La gallinaza.** Depende principalmente de la dieta y del sistema de alojamiento de las aves. Se compone de una mezcla de deyecciones, plumas, residuos de alimentos, huevos rotos y de un material absorbente que puede

ser viruta, pasto seco, cascarillas, entre otros que forman la cama. Tiene un alto contenido de humedad y altos niveles de nitrógeno que se volatiliza rápidamente, creando malos y fuertes olores, perdiendo calidad como fertilizante, por lo que no se recomienda su aplicación directa a las plantas. Para solucionar este problema es necesario someter la gallinaza a un proceso de secado (Garro-Alfaro, 2016).

- **Pollinaza.** Son remanentes sólidos de la producción de pollo de engorda y está compuesta de plumas, residuos de alimento y de un material absorbente que, por lo general, es viruta de madera o bien, granza de arroz. En este tipo de explotación, el animal por lo general dura menos tiempo en el galpón, el cual ronda los 6 meses. La rela-

ción C:N es 14.5 para la gallinaza y 11.5 para la pollinaza (Del Pino et al., 2008).

- **Estiércol.** Se refiere a las excretas y otras materias orgánicas que se encuentran en descomposición y se utilizan para abonar el suelo; se compone de excretas de animales y de otros desechos, siendo el más utilizado el estiércol de ganado bovino. El nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente bajo forma orgánica y el proceso de mineralización realizado por los microorganismos determina su efectividad como fuente de nitrógeno disponible. La relación C:N (17.5) es uno de los principales factores que afectan la tasa de mineralización del estiércol (Qian & Schoenau, 2002; Del Pino et al., 2008).
- **Cerdaza.** Las excretas de los cerdos contienen la mayoría de los nutrientes que necesita la planta para su crecimiento y desarrollo. Se estima que las excretas diarias son de 65 kg por cada 100 kg de peso vivo. Como materia prima en la elaboración de abonos orgánicos se incorporan contenidos promedio de nitrógeno (1.86%), fósforo (1.06%), potasio (2.23%), carbono (29.50%) y molibdeno (53.10%) (Garro-Alfaro, 2016).
- **Purines.** Se obtiene de la mezcla de excrementos sólidos y líquidos del ganado, diluido en las aguas de limpieza de los establos. La composición final depende del tipo de animal, de la dilución de orines y heces, del tiempo y tipo de fermentación cuando proceda. Por su contenido en sales potásicas, el purín es considerado como un abono rico en nitrógeno y potasio.

Vermicomposta

El vermicompostaje es un método que se usa para el manejo de residuos orgánicos con la ayuda de lombrices de tierra (Bhat et al., 2015). Es un proceso que involucra la adición de ciertas especies de lombrices (*Eisenia foetida*, *E. andrei*) que realizan la conversión de los residuos orgánicos y los transforman en vermicomposta (Atiyeh et al., 2002).

Además, a través de la acción conjunta con los microorganismos, permite el saneamiento y eliminación de compuestos tóxicos, la reducción del tamaño de partículas y el aumento en la disponibilidad de los nutrientes. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de la vermicomposta dependen de los tipos de residuos utilizados.

Cabe mencionar que la transformación de los residuos orgánicos no incluye la etapa termófila. Es conveniente señalar que, durante la producción de humus de la lombriz roja californiana, esta puede ser afectada por diferentes factores, tales como las inclemencias del tiempo, roedores, pájaros y otros; por lo que es importante la construcción de una casa rudimentaria.

En la **Figura 1.7** se presentan las dimensiones que deben tener las camas de las pilas de concreto.

Aspectos prácticos de los procesos de compostaje

En los desechos orgánicos ricos en celulosa, puede darse el caso de contener trozos de madera que, si se desean emplear, deben ser de un tamaño aproximado de 1.3 a 5 cm. Es bueno señalar que partículas más pequeñas

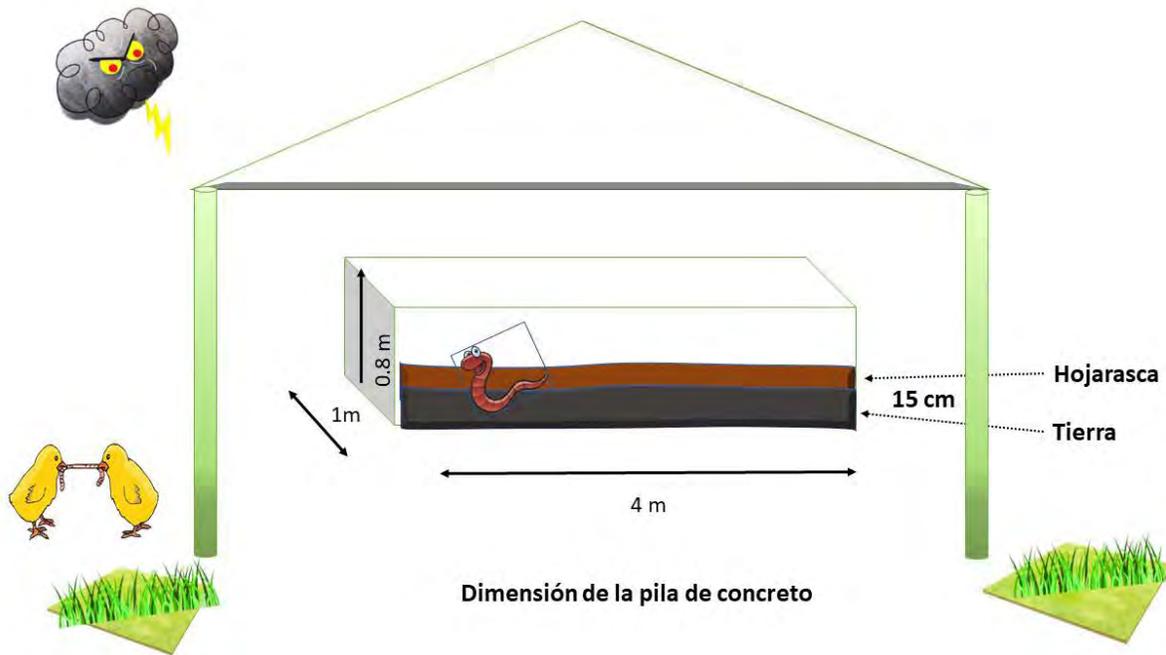


Figura 1.7. Construcción de las pilas de concreto para la producción de humus de lombriz.

permiten mejor contacto y fermentaciones más rápidas y homogéneas, pero demasiado pequeñas se compactan e impiden una adecuada ventilación o aireación.

También se podrían generar algunos materiales no útiles para el compostaje o que no se deben utilizar en el proceso de elaboración de composta, porque algunos no son biodegradables y otros (vidrio, metal y el alambre) pueden dañar las manos durante la mezcla o al momento de realizar el abonado en el campo.

Campitelli (2014) señala que sobre los materiales a compostar se deben tener las siguientes consideraciones:

- La carne, el pescado, mariscos, los huesos, los productos lácteos y las grasas tienen limitaciones en el proceso de compostaje, pues atraen insectos, roedores y pestes que pueden causar malos olores.
- Las plantas infectadas o huevos de larvas pueden sobrevivir al compostaje e infectar el producto final.
- El excremento de perros y gatos puede tener patógenos que sobreviven al proceso de compostaje.
- Los recortes de césped pueden producir compactación si no hay equilibrio en la mezcla; es recomendable mezclarlo con restos de poda y hojas secas.
- Los restos de cosecha de huerta son de descomposición rápida.
- Los vegetales que han sido tratados con químicos pueden transportarlos a la pila y matar a los organismos que producen la composta.
- Las pequeñas cantidades de papel, filtros de café, saquitos de té, etc., son

aceptables en la pila, aunque mucho papel puede concentrar demasiada humedad, producir compactación y detener el proceso de compostaje, además, la celulosa es de degradación lenta.

- Los restos de:
 - Comida elaborada pueden alargar o incluso detener el proceso de compostaje por su elevado contenido salino.
 - Pastas y arroz hervido, causan compactación si se agregan en gran cantidad.
 - Productos lácteos en mucha cantidad pueden causar malos olores.
 - Cáscara de huevo son de descomposición muy lenta y pueden aportar calcio.
 - Huesos se descomponen muy lentamente, pero ayudan a la estructuración.
 - Ceniza de maderas no tratadas aportan minerales a la composta.

Calidad de la vermicomposta

Establecer criterios generales de calidad de la vermicomposta no es tarea sencilla, ya que esta definición implica tener en cuenta diversos aspectos y puntos de vista para un material como la composta, que puede tener diversos usos.

Esta comienza a partir de la elección de los tipos de materiales y las proporciones en que se realizarán las mezclas, la incorporación de agentes sólidos (estructurantes), la mezcla con materiales que aporten nitrógeno y su proporción, el tipo de proceso que se realizará, el tiempo en que se llevará

a cabo el proceso, las frecuencias de riegos y remoción, y el control final de la granulometría y presencia de materiales inertes (Campitelli, 2014).

1.5 Los agentes microbianos en la nutrición de las plantas

El mundo microbiano está conformado por bacterias, hongos, algas, nematodos y otros microorganismos que juegan un papel importante en los procesos de transformación de la materia orgánica. El uso de los agentes microbianos en el mejoramiento de la productividad de los cultivos agrícolas es una estrategia con diferentes modos de acción: competencia (por espacio o por nutrientes), hiperparasitismo, producción de antibióticos, enzimas y la inducción de resistencia a través de la ruta metabólica del ácido salicílico, o bien, del ácido jasmónico (Harman, 2000; Fernández-Larrea, 2001; Harman et al., 2004; Pal & McSpadden, 2006).

Una alternativa para sustituir el uso excesivo de fertilizantes químicos en el cultivo de la milpa se encuentra en las bacterias fijadoras de nitrógeno (N), conocidas como promotoras del crecimiento vegetal; los hongos asociados (micorrizas) y los que no se asocian con plantas, que actúan como agentes de biocontroladores y promotores del crecimiento vegetal.

El concepto de biocontrol se utiliza para describir a los microorganismos que, además, tienen la capacidad de suprimir el crecimiento de los fitopatógenos por los diferentes modos de acción mencionados en el párrafo anterior (Bashan, 1998; INCA, 2006).

Bacterias

Existen bacterias benéficas promotoras del crecimiento vegetal que, a través de sus diferentes mecanismos, favorecen el desarrollo óptimo de los cultivos agrícolas. La fijación biológica del nitrógeno (Holguin et al., 2003) y la síntesis de fitohormonas, como las auxinas (ácido indol acético AIA) (Shah et al., 1998; Maltempi Souza et al., 2014), promueven el crecimiento de la raíz y proliferación de pelos radicales, mejorando la absorción de agua y nutrientes, solubilizando fosfatos y otros minerales (INCA, 2006; De-Bashan et al., 2007; Kumar et al., 2012), la producción de pequeñas moléculas «péptidos no ribosomales» de alta afinidad por el hierro llamadas sideróforos, que actúan de manera específica como agentes quelantes para capturar el ion hierro Fe^{3+} en presencia de otros metales y reducirlo a Fe^{2+} , mucho más soluble y disponible para las plantas (Aguado-Santacruz et al., 2012).

En plantaciones de maíz se ha demostrado que la mayor población de bacterias presentes en la rizosfera es el género *Pseudomonas* y *Azospirillum*. Además de estos grupos, se han aislado los géneros *Burkholderia*, *Bacillus* y *Streptomyces* (Hebbar et al., 1998; Hernández et al., 2003). Asimismo, las bacterias fijadoras de nitrógeno (N) y hongos formadores de micorrizas, tales como *Rhizobium* sp., *Azospirillum* sp. y *Glomus* sp., lograron efectos significativos sobre el crecimiento de diferentes cultivos (Robles & Barea, 2004; Hernández-Martínez et al., 2006; Díaz et al., 2008), y con incrementos en el rendimiento que van del 20 al 70% (Pulido et al., 2003; Carcaño-Montiel et al., 2006).

Entre los agentes de control biológico (ACB's) procedentes de suelos que mues-

tran una capacidad supresora natural, destacan bacterias del género *Pseudomonas*, *P. putida* y *P. fluorescens*, y algunas formas no patógenas del género *Fusarium* (F047).

Asociación de hongos-plantas (micorrizas)

El término micorriza describe globalmente toda una serie de estructuras formadas por las asociaciones que se establecen entre varios géneros de hongos de suelo y las raíces de la mayoría de las plantas vasculares.

Existen dos tipos: las ectomicorrizas, que ocurre cuando el micelio invade la raíz sin entrar en el interior de las células, y las endomicorrizas, cuando el micelio invade la raíz (inicialmente es intercelular), pero luego penetra en el interior de las células radicales desde la rizodermis hasta las células corticales. Los géneros más importantes son *Glomus*, *Gigaspora* y *Acaulospora* del filo Glomeromycota (Berruti et al., 2016).

En una simbiosis de tipo mutualista, el hongo suministra a la planta compuestos inorgánicos (sales minerales) que esta necesita para su nutrición (micotrófica) y la planta aporta al hongo heterótrofo los compuestos orgánicos (fotosintatos) (Barea & Jeffries, 1995).

La mutua dependencia del organismo hospedante y del huésped (hongos MVA), consiste en que el primero representa una fuente directa de carbono y nitrógeno, elementos indispensables para el desarrollo del segundo; la planta (huésped) forma una red fúngica laxa con desarrollo intra e intercelular en la corteza radical de la planta, que se extiende hacia regiones del suelo que están fuera de los límites del sistema de raíz-

ces. Mediante esta red, las raíces absorben agua y minerales (fósforo) transportados a los diferentes órganos del vegetal (Safir, 1990; Kyde & Gould, 2000; Berruti et al., 2016).

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) son más utilizados como bioinoculantes en la agricultura, porque favorecen la absorción de nutrimentos esenciales como fósforo, nitrógeno y agua, y brindan protección a la planta contra organismos patógenos (Ruíz-Lozano & Azcón, 2000; Smith y Read, 2010; Bhardwaj et al., 2014).

Especies de *Trichoderma*

Las especies del género *Trichoderma* se han estudiado por su alta capacidad reproductiva, por su capacidad de colonizar varios ambientes y predominar en los ecosistemas terrestres (suelos agrícolas, pastizales, bosques y desiertos) y acuáticos (Benítez et al., 2004).

Algunas especies son de vida libre, oportunistas, micoparásitos y simbioses con plantas, las cuales estimulan los mecanismos de resistencia sistémica inducida contra fitopatógenos. Comprenden más de 400 especies del género *Trichoderma*, estando entre las más estudiadas: *T. harzianum*, *T. pseudokoningii*, *T. virens*, *T. atroviride*, *T. koningii*, entre otras (Harman, 2000; Harman et al., 2004; Samuels, 2006; Samuels et al., 2014).

Este tipo de hongo crece y se ramifica como hifa fúngica típica microscópica; la esporulación asexual ocurre cuando las esporas son liberadas en un gran número, forma en la que se comercializa y se aplica en la agricultura. La temperatura óptima para su crecimiento y reproducción está entre 20 y 28 °C, con 92% de humedad. Tiene cierta res-

puesta a la luz, especialmente azul y violeta. La luz promueve la formación de esporas, el crecimiento de micelio y la coloración.

Al igual que las rizobacterias y micorrizas favorecen la calidad fitosanitaria al actuar como agentes de biocontroladores y promotores de crecimiento vegetal, protegen el sistema radical contra los efectos nocivos de los fitopatógenos y, además, estimulan el crecimiento de las plantas cultivadas. Forman parte de una tecnología que garantiza una productividad biológica, económica y ecológica más exitosa y sin contaminación del ambiente y de inocuidad reconocida para el ser humano (Fernández-Larrea, 2001; Aceves et al., 2005; Candelero et al., 2015).

Formulados de agentes microbianos

A continuación, se presentan los criterios relacionados con la mayor o menor capacidad de un agente de control biológico al momento de ser formulado (Wilson & Wisniewski, 1989).

- Ser estable desde un punto de vista genético y efectivo a bajas densidades de inóculo.
- Poseer requerimientos nutricionales poco o nada complejos.
- Ser capaz de sobrevivir bajo condiciones ambientales adversas.
- Actuar frente a un amplio rango de patógenos y de cultivos vegetales.
- Su proceso de producción debe ser económicamente viable.

- Debe existir la posibilidad de obtener biofórmulas con un tiempo de vida larga, ser de fácil aplicación y compatible con otros agentes químicos utilizados en campo.

También se pueden aplicar de forma foliar o por inmersión de las raíces; el uso de polvo humectable es el más indicado.

Los componentes que deben mantener la viabilidad, la capacidad potencial, manipulación y dosificación de los agentes microbianos son: la propia matriz sobre la que se han elaborado agentes estabilizantes y controladores del pH, aditivos, inhibidores del crecimiento, dispersantes, lubricantes, sustancias activadoras y nutrientes (Paau, 1998; Campitelli, 2014).

A continuación, se mencionan algunas limitaciones del uso microbiano en la agricultura (Torrientes, 2010):

- No existe una explicación clara y precisa de los mecanismos de acción y su interacción con el cultivo.
- Las actuales condiciones de los suelos (afectados por el manejo de factores antropológicos) dedicados al cultivo, no garantizan totalmente una respuesta estable en todas las variables agronómicas.
- Las recomendaciones y los estudios realizados responden a las metodologías aplicadas al uso de los fertilizantes químicos y no a las tecnologías con microorganismos vivos, los cuales poseen características muy diferentes a las que demandan los productos inorgánicos.

- Las formulaciones líquidas dificultan la aplicación en campo de grandes volúmenes de productos.
- Los estudios de formulación del producto no satisfacen las exigencias del manejo agronómico del cultivo en campo: momentos y formas de aplicación que demanda el cultivo.

En la **Figura 1.8** se muestra el esquema general del uso de los abonos orgánicos con los agentes microbianos en el cultivo de la milpa.

1.6 Otras prácticas ecológicas en la nutrición orgánica

Los abonos verdes y foliares, prácticas culturales, residuos de cosechas, las rotaciones de cultivos, las asociaciones favorables, fertilizantes y enmiendas minerales naturales y la protección de los cultivos de una manera integrada, pueden reducir el uso de los productos químicos (Altieri, 1999).

Abonos verdes

Se le denomina así a la siembra de ciertas plantas que se emplean para ser incorporadas al suelo en un estado vegetativo, por lo general, después de la floración y antes de la fructificación. Las cubiertas vegetales se consideran también un tipo de abono verde y, en este caso, por lo general, la incorporación de la materia orgánica y los nutrientes al suelo se realiza mediante la cosecha.

Como las plantas se incorporan al suelo en un estado vegetativo joven, su descomposición es alta, quedando disponible una gran cantidad de nutrientes para los cultivos. Los abonos verdes pueden contribuir a reducir



Figura 1.8. El uso de los abonos orgánicos enriquecidos con microorganismos en la nutrición orgánica de la milpa.

las pérdidas de nutrientes por lixiviación, aprovechamiento de la materia orgánica donde la descomposición es más lenta, reduce la erosión y mejora la filtración del agua en el suelo (**Figura 1.9**).

Las especies vegetales más utilizadas como abonos verdes son tres familias: las leguminosas (con capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico), las gramíneas sembradas con las leguminosas (forman humus estable) y las crucíferas, que tienen un desarrollo muy rápido proporcionando un buen abono verde cuando se dispone de poco tiempo entre cultivos (Jaramillo, 2002; Guancho, 2012).

Residuos de cosecha

Los residuos de cosecha se dejan sobre el suelo o se incorporan superficialmente.

Algunos son fibrosos y pobres en nitrógeno, pero muy eficientes en proteger los suelos y aumentar el humus. Con esta práctica se mejoran las propiedades y la fertilidad del suelo (**Figura 1.10**).

Los residuos deben incorporarse al suelo con suficiente anticipación a la siembra de la próxima cosecha para evitar deficiencias de nitrógeno en ella (Jaramillo, 2002).

Prácticas culturales

La mayoría de las y los agricultores orgánicos utilizan arados de disco o de cincel (**Figura 1.10**) que tienden a mezclar el suelo en lugar de invertirlo. Además, practican la labranza superficial (6 a 10 cm de profundidad), que retiene los residuos del cultivo y los abonos en o cerca de la superficie del suelo.

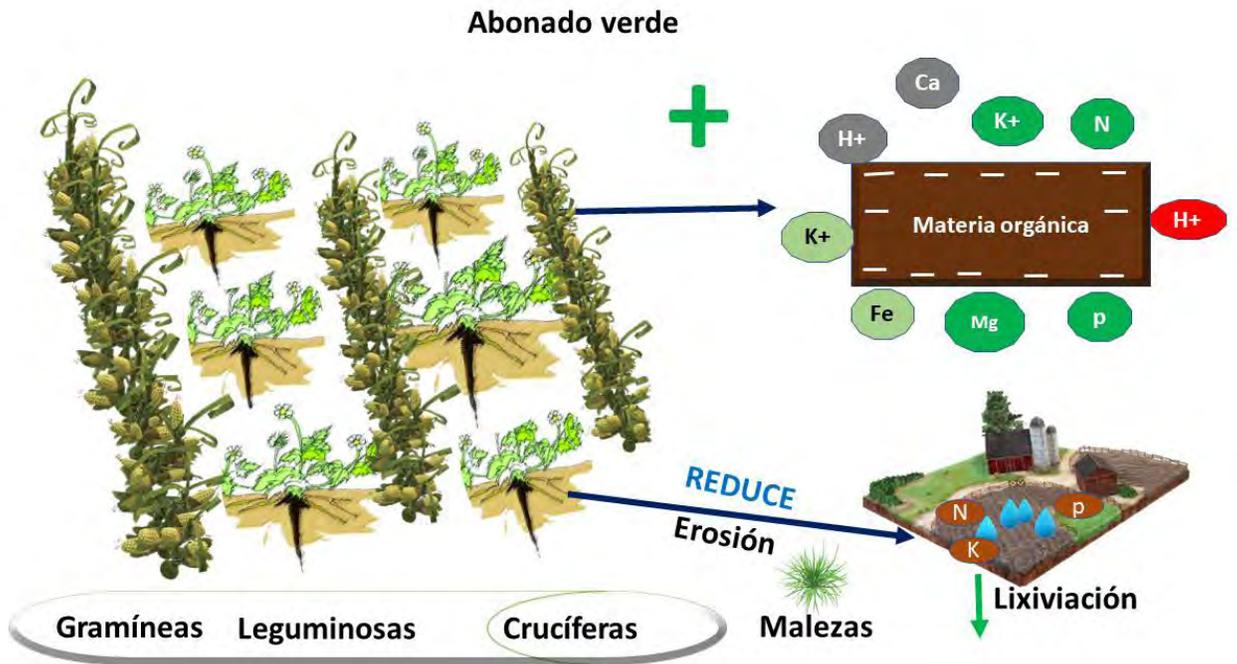


Figura 1.9. Uso de los abonos verdes o de coberturas en la nutrición de los cultivos.



Figura 1.10. Incorporación de los residuos de cosecha y las prácticas culturales en el manejo de la nutrición orgánica de los cultivos.

Con la labranza superficial, los residuos del cultivo protegen la superficie del suelo, de manera que fomenta la infiltración y el almacenamiento de agua y reduce la erosión del suelo y el escurrimiento de nutrientes. Algunas agricultoras y agricultores orgánicos recurren a la siembra tardía para controlar las malezas y aumentar la mineralización de la materia orgánica y la liberación de nutrientes vegetales (Parr et al., 1983).

Rotación de cultivos

Las rotaciones de cultivos como una estrategia de diversificación en el tiempo, así como los cultivos múltiples que desarrollan su estrategia de diversificación en el espacio, comparten un grupo de beneficios comunes.

A continuación, se mencionan algunos de los factores que pueden contribuir al buen comportamiento de esta técnica (Karlen et al., 1994; Gascó, 2001):

- Incremento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, mejora la capacidad de retención del agua y la estructura del suelo.
- Incremento de la actividad microbiana del suelo y el control de malezas.
- Disminuye la incidencia de plagas y enfermedades (foliares y de raíces).
- Presencia de compuestos fitotóxicos que pueden inhibir el crecimiento de otras plantas.

La familia de las leguminosas es la más utilizada en la rotación de cultivo, por su capa-

cidad de fijar nitrógeno atmosférico y habilidad para tomar el nitrógeno remanente en el suelo, especialmente nitrato. El mecanismo de transferencia entre las leguminosas y las plantas no leguminosas es a través de las micorrizas arbusculares (Vandermeer, 1986). El consumo de nitrógeno en leguminosas o el potasio en las gramíneas, es un mecanismo que disponen las plantas para evitar la pérdida de nutrientes del suelo por lixiviación, lo cual funciona muy bien como regulador en la economía y el reciclado de los nutrientes en los sistemas de rotación de cultivos y cultivos múltiples (**Figura 1.11**).

Técnica de la fertilización mineral

La base de la fertilización en la agricultura ecológica es la materia orgánica y no se debe pensar que la fertilización mineral no es importante. Esta consiste en aportar al suelo algunos elementos minerales que en un determinado momento puedan faltar. En función del diagnóstico de la fertilidad del suelo, se determina los elementos y las cantidades de cada uno.

Las algas

Son vegetales marinos que contienen, sobre todo, calcio, magnesio y una serie de oligoelementos proporcionados por el agua marina y su propia composición. Se utilizan para favorecer el descenso de la acidez del suelo o mantenerlo en unos niveles determinados. Son ricas en nitrógeno (0.2-0.8%), fósforo (0.05-0.2%) y potasio (1-3%).

La dosis dependerá de la fertilidad del suelo y de las condiciones geográficas y climáticas. Un ejemplo lo constituye el lithothamne, que está formado por



Figura 1.11. La rotación de cultivos en el manejo de la nutrición orgánica de los cultivos agrícolas.

restos de un alga marina rica en CaO (42-47%) y MgO (3-8%).

Las rocas silíceas

Son rocas muy comunes (granito, basalto) que se utilizan triturándolas hasta formar polvo y que son ricas en elementos minerales y oligoelementos. Las plantas que poseen un alto contenido en sílice son más resistentes frente a los ataques de hongos y otros parásitos. Las dosis también en este caso dependerán de las necesidades del suelo y de las plantas, ya que sobre estas puede utilizarse como sistema de control de la proliferación de hongos (Flórez, 2003).

Métodos de laboreo

Los métodos de laboreo se utilizan en función de los objetivos que se pretenden conseguir.

Método clásico

Se utiliza fundamentalmente en la agricultura convencional. En este método se hace primero una labor profunda, normalmente volteando el terreno y enterrando.

Método de labores invertidas

Se comienza haciendo labores superficiales y, posteriormente, labores algo más profundas. Se deja un espacio de tiempo grande entre las distintas labores para que la vida del suelo se vaya adaptando a las nuevas condiciones; permite que la vegetación se prehumifique en superficie.

Laboreo mínimo o reducido

Consiste en dejar en el terreno los residuos de las cosechas anteriores, lo que permite proteger el suelo de las condiciones ambientales y conserva mejor

la humedad. El mantenimiento de residuos en superficie puede reducir la erosión hasta en un 90%, aumenta la capacidad de infiltración del agua en el suelo y reduce las fluctuaciones bruscas de la temperatura del terreno. En todo caso, las labores del suelo se van restringiendo.

1.7 Elaboración de la composta

En este apartado se explicarán los tipos de sustrato como soporte mineral y el proceso de compostaje para la obtención de los abonos orgánicos: composta y bocashi con residuos de gallinaza, y vermicomposta con la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Composta de gallinaza

Tipos de sustratos

En general, se pueden usar los residuos ricos en nitrógeno, carbono, lípidos y minerales. A continuación, se describen algunos materiales que pueden utilizarse en la elaboración de compostas.

- **Gallinaza.** Es la principal fuente de nitrógeno en la elaboración de los abonos. Aporta nutrientes como fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro, entre otros elementos; además mejora las condiciones biológicas, químicas y físicas del suelo.
- **Aserrín.** Este material es rico en carbono, pero su desintegración es muy lenta, ya que contiene lignina y celulosa. Sin embargo, en caso de no contar con otras opciones, se puede utilizar en un volumen de 1:1 con la gallinaza, o bien, mezclarse en volumen seme-

jante con la ruminaza y mezclar todo junto con la gallinaza.

- **Hojarasca.** El problema de este material es su recolección, pero la ventaja es que al momento de mezclar ya se ha iniciado la descomposición del material orgánico por microorganismos y, por lo tanto, el proceso de compostaje se realizará en menor tiempo o en uno razonablemente corto. En este caso, usar de preferencia dos volúmenes de hojarasca por un volumen de gallinaza.
- **Otras fuentes de carbono.** Si en el sitio de preparación pueden conseguirse bagazo de agave, estopa de coco u olotes de maíz, o cualquier otra fuente de materia orgánica, usar el material en una relación de volumen de 2:1.

Metodología

- a) **Colectar ingredientes.** Como primer paso para la preparación de una composta de gallinaza, se procede a reunir los principales ingredientes que tengamos a la mano.
 - La gallinaza será la fuente de nitrógeno. En ocasiones se consigue en grumos o costras de tamaño grande que al humedecerlas se vuelven una materia prima difícil de tratar o manejar, por lo que se recomienda realizar una molienda o desintegración antes de mezclarla y mojarla.
 - En el caso de la fuente de carbono puede haber una variedad de hojas de árboles que han entrado en proceso de descomposición: estopa de coco, elotes de maíz, bagazo de henequén, así como también aserrín.

- Estos materiales deben ser desmenuzados o molidos para tener un tamaño de partícula que atraviese la malla 10 de un molino de martillos y se tenga un tamaño de partícula entre 2 y 5 milímetros; también puede ser usada la malla de albañilería que sirve para cernir gravilla o *sascab* (tierra blanca o polvo de piedra), a fin de tener un tamaño de referencia.
- Los ingredientes se almacenan en un lugar seguro, protegidos de la lluvia principalmente.

b) **Mezclar.** Se procederá a mezclar la gallinaza con una o más de las fuentes de carbono, de tal manera que por un volumen de gallinaza se utilice uno de la fuente de carbono.

- Se colocará 1 m³ de gallinaza, 1 m³ de hojarasca, aserrín o bagazo de henequén, solos o mezclados (por ejemplo, 0.5 m³ de hojarasca y 0.5 m³ de aserrín).
- En forma práctica se medirá el volumen a mezclar con el número de cubetas usadas y limpias (una cubeta tiene un volumen de 20 litros); se podrá igualar una carretilla que lleva 60 kg, con aproximadamente tres cubetas (60 litros).
- Otra medida de referencia son los costales llenos; en este caso, cada costal tendrá una capacidad aproximada de tres cubetas (60 litros).
- Se recomienda evaluar la calidad de la materia orgánica del abono, pH, nitrógeno, fósforo y potasio y la relación C:N. Los valores óptimos, son 3 a 5% de

materia orgánica, 7.5 a 7.8 de pH, y 12 a 15 de la relación C:N.

- Para una composta de un metro cúbico se recomienda un área aproximada de 2 x 2 m. En la **Figura 1.12** se describe el proceso de compostaje, iniciando con la recolección de los residuos orgánicos como soporte mineral (a), la colocación de los sustratos (b), el mezclado (c) y humedecimiento (d), la colocación del plástico oscuro para activar a los agentes microbianos que intervienen en el proceso de descomposición y la medición de la temperatura (e).

Bocashi de gallinaza

Tipos de sustratos

A continuación, se describen algunos de los materiales que se pueden utilizar en la elaboración del bocashi con gallinaza.

- **Gallinaza.** Es la principal fuente de nitrógeno en la elaboración de este tipo de abono. En la sección anterior se explicó la función y su importancia en el proceso de compostaje.
- **Melaza de caña.** Este insumo no requiere utilizarse normalmente, pero es un ingrediente que induce la actividad de los microorganismos, o sea, es un activador del proceso fermentativo, pues contiene vitaminas y factores de crecimiento, además del azúcar invertido que es fácilmente utilizado por los microorganismos.
- **Ceniza de leña o carbón vegetal.** La ceniza es un ingrediente para regular la acidez de la composta; propor-

a) Obtención de la materia prima.



b) Capas de los sustratos

Residuos de Cosecha

Gallinaza

Suelo



Figura 1.12. Etapas del proceso de compostaje.

cióna minerales como potasio, calcio y magnesio. Al mezclarse con el agua, la ceniza forma una solución alcalina denominada potasa cáustica (lejía), que funciona como un regulador del pH cuando se está realizando la fermentación aeróbica. El carbón ayuda a reducir la formación de olores al adsorber algunos de los compuestos volátiles que se forman durante la fermentación anaerobia: metano o amoníaco.

- **Agua.** Tiene la finalidad de homogeneizar la humedad de todos los ingredientes que componen el abono.
- **Tierra.** Tiene la función de darle una mayor homogeneidad física al abono y distribuir su humedad; con su volumen, aumenta el medio propicio para el desarrollo de la actividad microbiana de los abonos y, consecuentemente, lograr una buena fermentación. Por otro lado, funciona como una esponja al tener la capacidad de retener, filtrar y liberar gradualmente los nutrientes a las plantas.

Metodología

- a) **Colectar ingredientes.** En el trabajo con gallinaza se utiliza el proceso para compostaje denominado bocashi; esto implica contar con algunos de los ingredientes mencionados en la sección anterior: gallinaza, ruminaza, agua, ceniza de leña o tierra (**Cuadro 1.1**). En caso de no contar con ruminaza, se podrá duplicar la cantidad de hojarasca o sustituir por bagazo de agave.
- a) **Mezclar.** Se procederá a mezclar de la siguiente manera:
- Para un metro cubico de mezcla se agregará una cubeta de 20 litros de melaza, la cual será diluida en 100 litros de agua limpia de la llave o con agua del pozo.
 - En esta primera etapa se mezclarán en capas o en el orden indicado en el **Cuadro 1.1**, los componentes a fin de lograr una homogenización de estos.
 - Se irá agregando el agua necesaria para llegar a una humedad del 70%. Este nivel es determinado empírica-

Cuadro 1.1. Componentes y volumen requerido para el compostaje de bocashi con gallinaza.

Volumen	Ingrediente					Totales
	Gallinaza	Ruminaza	Hojarasca	Aserrín	Carbón vegetal	
Carretillas (60 litros)	6	4	4	4	2	20 carretillas
Volumen aproximado (litros)	360	240	240	240	120	1200 litros o 1.2 m ³

mente, por lo que se llama la «prueba del puño», que consiste en tomar parte de los sólidos mezclados. Si el sustrato compactado se desbarata y se logra exprimir entre 2 y 3 gotas, se tiene aproximadamente un 65 y 70% de humedad, lo cual es necesario para iniciar el proceso de fermentación.

- En esta etapa de humedecimiento solamente se utilizará el agua al inicio de la fermentación. Si la humedad se pasa del nivel adecuado, el proceso se volverá anaerobio y se obtendrán los olores mencionados, típicos de formación de metano.
- En el caso de la composta de gallinaza es imposible eliminar en los primeros días y primeras dos semanas el olor a amoníaco, pero por acción de la melaza agregada podrá evitarse, ya que acelera la degradación de las fuentes nitrogenadas. La producción de amoníaco desaparecerá entre el día 21 y 25.
- La pila de composta se volteará u homogenizará continuamente, una vez en la mañana y otra en la tarde. La temperatura no debe exceder de los 60 °C, porque puede alterar el proceso de fermentación y, a su vez, desactivar los microorganismos degradadores. Para esto, se considerará una o las dos opciones siguientes:
 - La primera será envasar el producto.
 - La segunda opción puede ser alimento para la lombriz roja californiana, que ayudará a producir un abono todavía mejor que la composta normal.

- Para el tamizado o cribado, conviene que el tamaño de la criba esté entre 0.5 y 1 cm; a menor tamaño, más fina será la textura de la composta y cuanto mayor sea el tiempo de maduración, más estable será el producto.
- La composta debe reposar durante 15 días antes de aplicarse como abono para que los microorganismos que aún pueda contener desaparezcan.
- El envasado del bocashi se puede realizar en contenedores de plásticos o costales.
- Se recomienda una aplicación de 100 g por planta de maíz antes de la siembra, a 25 cm de profundidad; la segunda en dosis de 200 y 300 g, a los 15 y 25 días de la emergencia del cultivo.

En la **Figuras 1.13 y 1.14** se presentan las etapas del proceso de compostaje de bocashi con gallinaza, que inicia con la obtención y el mezclado de los sustratos como soporte mineral (a), la medición de los parámetros y obtención de la composta madura (b), el tamizado (c), envasado (d) y los usos del bocashi (e).

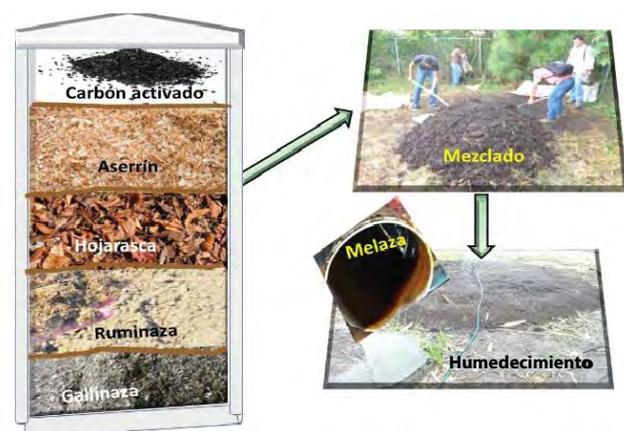


Figura 1.13. Obtención, mezclado y humedecimiento de los residuos orgánicos para el proceso de composta fermentada (bocashi).



Prueba de humedad



Tapado



Temperatura 60 °C



Mezclado



Bocashi

Medición de los parámetros y obtención de la composta.



Secado



Secad tamizado y envasado

Comercialización



Alimento para la lombriz



Frijol



Maíz



Calabaza

Figura 1.14. Medición de los parámetros, obtención y usos del bocashi.

Vermicomposta (humus de lombriz californiana-*Eisenia foetida*)

a) Tipo de sustrato

Previamente a la alimentación de la lombriz con gallinaza precompostada o bocashi, se procede a realizar la prueba de sobrevivencia que consiste en usar una cantidad de la materia orgánica transformada.

b) Construcción de camas o pilas de concreto

Para la alimentación y reproducción de la lombriz roja californiana se recomienda la construcción de camas o pilas de concreto (canteras) con dimensiones de 1 m de ancho x 4 m de largo x 0.8 m de alto. También se pueden colocar bloques sin el uso de cemento.

c) Prueba de sobrevivencia

- Colocar aproximadamente 500 g de gallinaza precompostada en un pequeño recipiente de plástico y agregar una cantidad de 25 o 50 lombrices.
- Humedecer y dejar que las lombrices se introduzcan en el material.
- Si a las 48 horas ninguna de las lombrices resultó muerta, o cuando mucho murieron 2 de 50, la prueba es positiva y el material está listo para alimentar a las lombrices. Si mueren más de 2, el material tiene algún factor que es tóxico para las lombrices.
- En caso positivo, se procederá al cultivo de lombriz de tierra.

d) Cultivo de lombriz roja californiana

- Se coloca una cama de hojarasca y de tierra de unos 15 cm de alto y se procede a colocar las lombrices en la pila de concreto.
- Debe cuidarse que se tenga preparado el alimento para las lombrices; en este caso se utiliza la gallinaza precompostada o que ha pasado la prueba de las 50 lombrices.
- Cada día debe alimentarse con 1 g del alimento por lombriz, en caso de que la lombriz tenga un peso de 1 g, o sea alimentar con la cantidad igual al peso de la lombriz. La alimentación se hará en la mañana de preferencia o cada segundo día con el doble de alimento.
- La humedad de la cama debe mantenerse arriba del 75 al 80%, evitar el exceso de humedad.
- Debe tenerse en cuenta que por metro cuadrado podrán llegar a tenerse más de 2000 lombrices, o sea más de 2 kg (disponer de suficiente alimento). Si se llegara a tener hasta 20 kg de lombrices en una pila de concreto, se tendrán diariamente entre 8 y 10 kg de humus. La lombriz se alimenta diariamente y produce un humus que será aproximadamente la mitad de lo que consume o un poco menos.

- Otro tipo de alimentación para las lombrices con residuos orgánicos es proporcionarles directamente excretas de conejo o de caballo. Evitar las excretas de perro, gato o gallina. En ese caso, hay que precompostear como se describe en este manual.
- Al humedecer las camas se podrán recuperar los líquidos que, haciéndolo de manera cuidadosa, podrán servir como fertilizante foliar.
- Después de tamizar el abono, este se embolsará en costales de rafia. El abono debe contener mínimo 40% de humedad para su venta y distribución.
- Es importante mencionar que debe evaluarse la calidad de la materia orgánica del abono, pH, nitrógeno, fósforo y potasio y la relación C:N.
- Un aspecto que debe destacarse es que los lixiviados se denominan «té de composta» y son excelentes como abonos foliares. En este caso hay que establecer algunos parámetros como contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, así como su vida de anaquel.
- Para el sistema de la milpa maya se recomienda una aplicación de 100 g por planta antes de la siembra y una segunda aplicación en dosis de 200 y 300 g a los 15 y 25 días de la emergencia del cultivo.

En las **Figuras 1.15** y **1.16** se puede observar el proceso de producción de humus y lixiviados de la lombriz californiana, el precomposteo, alimentación, pruebas de supervivencia, construcción de las camas o pilas, colocación del sustrato en las camas, obtención del lixiviado y su aplicación en la milpa.



Precomposteo



Alimentación



Prueba de supervivencia

Figura 1.15. Precomposteo, alimentación y prueba de supervivencia en el proceso de producción de humus y lixiviados de la lombriz californiana (*E. foetida*).



Sin la fijación de cemento



Con la fijación de cemento

CONSTRUCCIÓN DE CAMAS O PILAS DE CONCRETO



COLOCACIÓN DEL SUSTRATO, ALIMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DEL LIXIVIADO



Frijol



Maíz



Calabaza

SECADO, TAMIZADO DEL HUMUS Y SU APLICACIÓN EN LA MILPA

Figura 1.16. Etapas del proceso de producción de humus y lixiviados de la lombriz californiana (*E. foetida*).

1.8 Producción masiva de agentes fúngicos

a) Obtención del inóculo

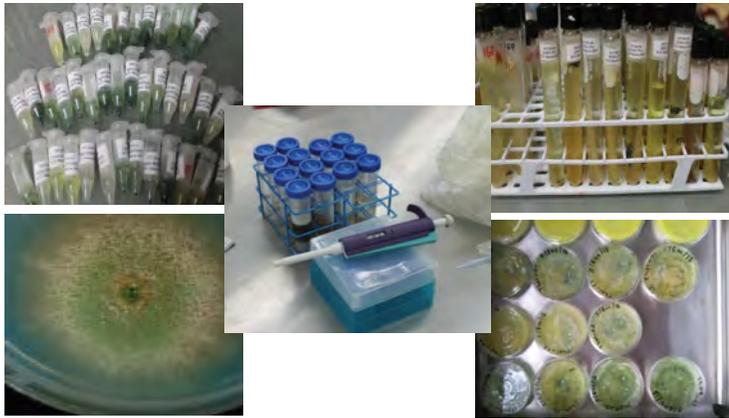
1. Reactivación de las cepas nativas de *Trichoderma* (Th01-01, Th09-06, Th36-60 y Th14-21).
2. Durante 15 días, por 12 horas de luz y 12 de oscuridad continuas, y a 28 °C, se colocarán discos de 5 mm de diámetro con micelio de las especies de *Trichoderma* con 8 días de crecimiento en medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA).
3. Al finalizar el periodo de incubación, se cuantificará la concentración conidial con la ayuda de la cámara de Neubauer.
4. Las muestras se conservarán a 4 °C en refrigeración hasta el momento de su aplicación en el sustrato generado (**Figura 1.17**).

b) Materiales como soporte mineral

1. Se recolectarán hojas de almendro (*Prunus dulcis*), césped (*Brachiaria brizantha* Hochst), rastrojo de maíz y cáscara de naranja.
2. Fragmentar y secar cada uno de los componentes (**Figura 1.17**).
3. Se colocará cada uno de los componentes en una proporción 20:20:30:30.
4. Se desinfectarán en una solución de hipoclorito de sodio al 2% durante 30

minutos; a través de una serie de lavados con agua corriente, eliminar el resto del desinfectante. Para facilitar el manejo durante este proceso, se recomienda colocarlos en bolsas tipo morral o sabucán.

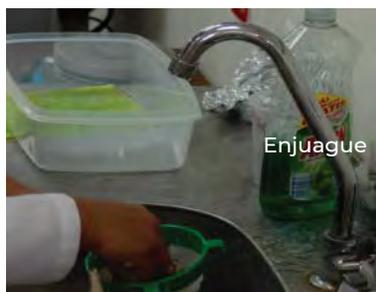
5. El sustrato orgánico se colocará en 5 litros de agua a una concentración de 1×10^6 conidias por ml, durante 15 min. Al finalizar el periodo, se eliminará el excedente de agua.
6. Para favorecer el crecimiento del hongo, se colocarán en recipientes de plástico o en bolsas de pigmento negro. Ambas se resguardarán en cajas de cartón a temperatura ambiente y cada 5 días, se les permitirá el suministro de aire.
7. Al finalizar el periodo de incubación de 21 días a 28 ± 2 °C, se cuantificará el número de conidias por un gramo de sustrato con la ayuda de la cámara de Neubauer.
8. El sustrato orgánico con los agentes fúngicos se conservará en refrigeración (4 °C).
9. Por cada 10 kg de composta o vermicomposta, se le adicionará el 10% del sustrato orgánico (**Figura 1.17**).
10. Previo a la siembra del cultivo de la milpa maya, se recomienda aplicar 200 g por planta de los abonos orgánicos enriquecidos con las especies nativas de *Trichoderma*; la segunda y tercera aplicación a los 15 y 30 días posteriores a la emergencia del cultivo.



Reactivación de los agentes fúngicos



Recolección y fragmentación



Desinfección con cloro comercial (2%) durante 30 minutos



Incubación en el sustrato y mezclado con la composta

Figura 1.17. Procedimiento para la producción de un sustrato masivo de los inoculantes fúngicos de las especies de *Trichoderma*.

1.9 Referencias

- Aceves, M. A., Otero, S. M., Rebolledo, D. O., Lezama, G. R., Ariza, F. R., & Barrios, A. A. (2005). Producción y efecto antagónico de quitinasas y glucanasas por *Trichoderma* spp., en la inhibición de *Fusarium subglutinans* y *Fusarium oxysporum* *in vitro*. *Rev. Chapingo, Ser. Hort.*, *11*, 273-278. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60911213>
- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gómez, B., Betzaida-Jiménez, F., García-Moya, E., & Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. *Rev. Fitotec. Mex.*, *35*, 9-21.
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. SANE – UNDP. Editorial Nordan-Comunidad.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthwormprocessed organic wastes on plant growth. *J. Biores. Technol.*, *84*(1), 7-14.
- Barea, J. M., & Jeffries, P. (1995). Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. En: Hock, B. y A. Varma (Eds.). *Mycorrhiza: Structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer-Verlag.
- Bashan, Y. (1998). Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agricultura. *Biotechnol. Adv.*, *16*(4), 729-770.
- Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2015). Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia foetida* and production of vermicompost. *Spring plus*, *4*, 11.
- Benítez, T., Delgado, J., Rey, M., & Limón, M. C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int. Microbiol.*, *7*, 249-260.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., & Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. *Front. Microbiol.*, *6*, 1-13.
- Bhardwaj, D., Wahid Ansari, M., Kumar Sahoo, R., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agricultura by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microb. Cell Fact.*, *13*, 66.
- Bidlingmaier, W. (1996). Odour emissions from composting plants. En: De Bertoldi, M.; Sequi, P.; Lemmes, B. y T. Papi. (Eds.). *The science of composting*. Blackie Academic & Professional, London.
- Brechelt, A. (2004). *El manejo ecológico de plagas y enfermedades*. Editorial Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina.
- Broyer, T. C., Carlton, A. B., Johnson, C. M., & Stout, P. R. (1954). Chlorine: A micronutrient element for higher plants. *Plant Physiol.*, *29*, 526-532. <https://doi.org/10.1104/pp.29.6.526>
- Bueno, M. (2014). *El huerto familiar ecológico. La gran guía práctica del cultivo natural*. RBA Libros S.A.
- Calderón, A. E. (1993). *Fruticultura general*. Editorial LIMUSA.
- Campitelli, P. (2014). *Compostaje. Obtención de abonos de calidad para las plantas*. Córdoba: Editorial Brujas.

- Candelero, D. J., Cristóbal, A. J., Reyes, R. A., Tun, S. J. M., Gamboa, A. M. M., & Ruíz, S. E. (2015). *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagonicas contra *Meloidogyne incognita*. *Int. J. Experim. Bot.* 84, 113-119.
- Carcaño-Montiel, M. G., Ferrera-Cerrato, R., Pérez-Moreno, J., Molina-Galán, J. D., & Bashan, Y. (2006). Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Kebsiella* aislada de maíz y teocintle. *Terr. Latinoam.*, 24(4), 493-502.
- Castañeda, P. R., Reyes, C. A., & Reyes, F. E. (2002). *Introducción a la agronomía*. Editorial Trillas.
- Cegarra, J. A., Roig, A. F., Navarro, M. P., Bernal, M., Abad, M., Climent, D., & Aragón, P. (1993). Características, compostaje y uso agrícola de residuos sólidos urbanos. En: *Memorias Jornadas de Recogidas Selectivas en Origen y Reciclaje*. Editorial Mundi-Prensa.
- Ciampitti, A. I., Boxler, M., & García, F. O. (2010). Requerimientos de nutrientes en maíz. *Informac. Agron. Con. S.*, 48, 14-28.
- Courtney, R. G., & Mullen, G. J. (2008). Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Biores. Technol.*, 99, 2913-2918.
- De-Bashan, L. E., Holguin, G. B., Glick, R., & Bashan, Y. (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En: *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo*. (Eds.) Ferrera-Cerrato, R. y A. Alarcón. Editorial Trillas
- Del Pino, A.; Repetto, C., Mori, C., & Perdomo, C. (2008). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 26, 43-52.
- Díaz, A., Garza, I., Pecina, V., & Montes, N. (2008). Respuesta del sorgo a micorriza arbuscular y *Azospirillum* en estrés hídrico. *Rev. Fitotec. Mex.*, 31, 35-42.
- Fernández-Larrea, V. O. (2001). Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. Avances en el fomento de productos fitosanitarios no-sintéticos. *Manejo Integrado de Plagas.*, 62, 96-100.
- Flórez, J. (2003). *Agricultura ecológica: manual y guía didáctica*. IRMA, S.L. Instituto de Restauración y Medio Ambiente.
- Garro-Alfaro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica. 1
- Gascó, J. M. (2001). El suelo como recurso. En: *Agroecología y Desarrollo. Aproximaciones a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agroecosistemas mediterráneos*. Edit Labrador. J.Y. Altieri, M. Univ. Extremadura-Mundi Prensa.
- Glinsky, J., & Lipiec, J. (1990). *Soil physical conditions and plantroots*. CRC Press. Inc.
- Golueke, C. G., & Díaz, L. F. (1987). Composting and the limiting factors principle. *Biocy.*, 28(4), 22-25.
- González-Méndez, M. A. (2002). *Diagnóstico de elementos secundarios y micronutrientes en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en Ana-*

- huac*, Nuevo León. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía.
- Guanche, A. (2012). *Los abonos verdes. Información Técnica*. AgroCabildo. Cabildo de Tenerife. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Halliday, D. J., Trenkel, M. E., & Wichmann, W. (1992). *International fertilizer industry association*. Limburgerhof, Germany.
- Harman, G. E. (2000). Myths and dogms of biocontrol. *Plant. Disease*, 84, 377-393.
- Harman, G. E., Howell, C. C., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol.*, 2, 43-56.
- Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers.
- Hebbar, K. P., Martel, M. H., & Heulin T. (1998). Suppression of pre and post emergence damping off in corn by *Burkholderia cepacia*. *Eur. J. Plant. Pathol.*, 104, 29-36.
- Hernández, A., Caballero, A., Pazos, M., Ramírez, R., & Heydrich, M. (2003). Identificación de algunos géneros microbianos asociados al cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en diferentes suelos de Cuba. *Rev. Col. Biotecnol.*, 1, 45-55.
- Hernández-Martínez, M., Cetina-Alcalá, V. M., González-Chávez, M. C., & Cervantes-Martínez, C. T. (2006). Inoculación micorrízica y su efecto en el crecimiento de dos leguminosas arbóreas. *Terr. Latinoam.*, 24(1), 65-73.
- Hernández-Rodríguez, O. A., Hernández-Tecorral, A., Rivera-Figueroa, C., María Arras-Vota, A., & Ojeda-Barrios, D. (2013). Calidad nutricional de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terr. Latinoam.*, 31, 35-46.
- Holguin, G., Bashan, Y., Puente, E., Carrillo, A., Bethlenfalvay, G., Rojas, A., Vázquez, P., Toledo, G., Bacilio, M., Glick, B. R., González, L., Lebsky, V., Moreno, M., & Hernández, J. P. (2003). Promoción del crecimiento en plantas por bacterias de la rizosfera. *Agric. Téc. en Méx.*, 29(2), 201-211.
- INCA. (2006). Congreso Científico (14: 2006 noviembre 9-12: San José de las Lajas) Programa y resúmenes [CD-ROM] La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2006. ISBN 959-7023-27-X.
- Jaramillo, D. F., Parra, L. N., & González, L. H. (1994). *El recurso suelo en Colombia: distribución y evaluación*. Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, D. F., (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.
- Jhorar, B. S., Phogat, V., & Malik, E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Res. Rehab.*, 5, 297-306.
- Jones, B. J. (1998). *Plant nutrition. Manual*. CRC Press.
- Jones, J. R., Wolf, B. J., & Mills, A. H. (1991). *Plant Analysis Handbook*. MicroMacro Publishing, Inc.

- Karlen, D. L., Varvel, G. E., Bullock, D. G., & Cruse, R. M. (1994). Crop rotations for the 21st century. *Advances in agronomy*, 53, 1-45.
- Kyde, M. M., & Gould, A. B. (2000). Mycorrhizal endosymbiosis. En: Bacon, C. W. y J. F. White (Eds.). *Microbial endophytes liver*. Marcel Dekker Blackwell. Londres.
- Kumar, P., Dubey, R. C., & Maheshwari, D. K. (2012). *Bacillus* strains isolated from rhizosphere showed plant growth promoting and antagonistic activity against phytopathogens. *Microbiol. Res.*, 167, 493-499.
- Labrador, M. J. (1996). *La materia orgánica en los agrosistemas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Liang, C., Das, K. C., & McClendon, R. W. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Biores. Technol.*, 86, 131-137.
- Maltempi Souza, E., Satie Chubatsu, L., Huergo, L. F., Monteiro, R., Camilios-Neto, D., Wassem, R., & De Oliveira Pedrosa, F. (2014). Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity. *BMC Proceedings*. 8(Suppl 4): O23.
- Martínez-Lagos, J., & Gallardo-Andías, R. (2018). *Ejemplo de deficiencias de nutrientes en hojas de maíz*. Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/05/14/ficha-tecnica-deficiencia-y-exceso-de-nutrientes-esenciales-en-el-suelo/>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Instituto Internacional del Potasio. Basilea/Suiza.
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Miller, E. V. (1981). *Fisiología Vegetal*. UTEHA.
- Miyatake, F., & Iwabuchi, K. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Biores. Technol.*, 97, 961-965.
- Ouédraogo, E., Mando, A., & Zombré, N. P. (2001). Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agric., Ecosyst. Environment.*, 84, 259-266.
- Paau, A. S. (1998). Formulation of beneficial organisms applied to soil. En: Formulation of microbial biopesticides. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-4926-6_7_235-254 235-254 pp.
- Pal, K. K. & McSpadden, B. (2006). *Biological control of plant pathogens. The Plant Health Instructor*. APSNet.
- Parr, J. F., Papendick, R. I., & Youngberg, I. G. (1983). Organic farming in the United States: principles and perspectives. *Agr. Ecosyst.*, 8, 183 201.
- Pascual J. A., Moreno, J., Ros, M., & Vargas, M. (2015). *De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. II Procesos de biotransformación de la materia orgánica. 1 Aspectos biológicos de la estabilización aeróbica*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la pro-

- ducción de cultivos en República Dominicana. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 8(4), 10-29.
- Plaster, E. (2005). *La ciencia del suelo y su manejo*. Thomson. Madrid, España.
- Pulido, L. E., Cabrera, A., & Medina, N. (2003). Biofertilization using rhizobacteria and AMF in the production of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and onion (*Allium cepa* L). Seedlings. II. Root colonization and nutritional status. *Cult. Tropic.*, 24(2), 5-13.
- Qian, P., y Schoenau, J. J. (2002). Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C:N ratio. *Can. J. Soil Sci.*, 82, 219-225.
- Ramos, A. D., & Terry, A. E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cult. Tropic.*, 35(4), 52-59.
- Restrepo, J., & Hensel, J. (2013). *Manual práctico. El ABC de la agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra*. Feriva.
- Robles, C., & Barea, J. M. (2004). Respuesta de la planta y del suelo a inoculación con *Glomus intraradices* y rizobacterias en maíz en cultivo intensivo. *Terra Latinoam.*, 22, 59-69.
- Rodríguez-Canto, A., González-Moctezuma, P., Flores-Torres, J., Nava-Montero, R., Dzib-Aguilar, L. A., Pérez-Pérez, J. R., Thüerbeck, N., & González-Iturbe, J. A. (2016). *Milpas de las comunidades mayas y dinámica de uso del suelo en la Península de Yucatán*. Centro Regional Universitario Península de Yucatán y Universidad Autónoma Chapingo.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. FAO.
- Ruíz-Lozano, J. M., & Azcón, R. (2000). Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorriza*, 10, 137-143.
- Safir, G. R. (1990). Micorrizas arbúsculo-vesicular y la productividad agrícola. En: Carlson, P.S. (Ed.). *Biología de la productividad de cultivos*. AGT Editor.
- Salamanca, L. S. (2012). La caña de azúcar fuente de energía: compostaje de residuos industriales en Colombia. *Tecnicaña*, 28, 13-18.
- Samuels, G. J. (2006). *Trichoderma: Systematics, the sexual state and ecology*. *Phytopathology*, 96, 195-206.
- Samuels, G. J., Chaverri, P., Farr, D. F., & McCray, E. B. (2014). *Trichoderma online. Systematic Mycology and Microbiology Laboratory*. ARS. USDA.
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores. Technol.*, 78(3), 301-308.
- Shah, S., Li, J., Moffatt, B. A., & Glick, B. R. (1998). Isolation and characterization of ACC deaminase genes from two different plant growth-promoting rhizobacteria. *Can. J. Microbiol.*, 44, 833-843.
- Sharma, M. K., & Kumar, P. (2011). *A guide to identifying and managing nutrient deficiencies*

- in cereals crops*. Majundar, K.; Satyanarayana, T.; Gupta, R.; Jat, M.L.; Sulewsky, D. y L. Armstrong (Eds). Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI), Norcross, GA, EUA. CIMMYT. El Batán, México.
- Sivila, R., & Angulo, W. (2006). Efecto del descanso agrícola sobre la microbiota del suelo (Patarani-Altiplano Central boliviano). *Ecol. en Bol.*, 41(3), 103-115. https://www.researchgate.net/publication/317529981_Efecto_del_descanso_agricola_sobre_la_microbiota_del_suelo_Patarani_-_Altiplano_Central_boliviano
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic press.
- Suler, D. J., & Finstein, S. (1977). Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *App. Environ. Microbiol.*, 33(2), 345-350.
- Syngenta. (2021). *Guía sintomatológica-carencias nutritivas*. <https://www.syngenta.es/ccion-tecnica-herramientas-utiles-para-el-cultivo-del-maiz>
- Tomati, U., Madejon, E., & Galli, E. (2000). Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost. Sci. Utiliz.*, 8(2), 108-115.
- Torrientes, D. (2010). Aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de la caña de azúcar. Perspectivas de su uso en Cuba. *Cult. Tropic.*, 31(1), 19-26.
- Welch, R. M. (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*, 14(1): 49-82.
- White, J. (1987). Fertilization. En: *Roses a manual of greenhouse rose production*. Langhans, R. W. (Ed.). Roses Incorporated. Michigan.
- Wilkerson, D. (1992). Suelos de invernadero: Propiedades básicas. En: *Hortalizas, frutas y flores*. México, D.F. 46-51 pp.
- Wilson, C. L., & Wisniewski, M. (1989). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: an emerging technology. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 27, 425-441. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.27.090189.002233>
- Vandermeer, J. (1986). A computer based technique for rapidly screening intercropping designs. *Experiment. Agric.*, 2(3), 215-232.
- Van Konijnenburg, A. (2007). *Agricultura Orgánica. El compost*. Material didáctico No. 5 INTA.
- Zanor, G. A., López-Pérez, M. E., Martínez-Yáñez, R., Ramírez-Santoyo, L. F., Gutiérrez-Vargas, S., & León-Galván, M. F. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ing. Invest. Tecnol.*, 19(4), 1-10.
- Zhu, N. W. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Biores. Technol.*, 97(15), 1870-1875.



Principales plagas del maíz

Esaú Ruiz Sánchez,
Rubén Humberto Andueza Noh y
René Garruña Hernández

II. PRINCIPALES PLAGAS DEL MAÍZ

2.1 Gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)

Importancia

El gusano cogollero es el estadio larvario de una palomilla nocturna. Es considerada una de las plagas más importantes del maíz. La afectación más grave la resienten las plantas pequeñas que a veces son afectadas en su totalidad. Muchas de ellas retrasan su crecimiento y disminuyen la producción de grano debido al daño foliar por la alimentación de las larvas (Murua & Virla, 2004; Farías et al., 2008).

Descripción morfológica

Los huevos presentan una coloración rosa, quedando gris cuando están próximos a su eclosión (Capinera, 2017). La coloración de las larvas, en general, es oscura con tres rayas pálidas estrechas; en el dorso presentan una banda negruzca más ancha hacia el costado y otra parecida, pero amarillenta más abajo; en la cabeza se distingue una «Y» blanca invertida (Angulo y Olivares, 2001; Sánchez et al., 2004). La pupa es de color caoba y mide de 14 a 17 milímetros de longitud, con 2 espinas o ganchos en forma de «U» invertida en un extremo. Los adultos miden 1.8 cm de longitud y 3.8 cm de ancho con las alas extendidas, presentando una coloración gris oscura (Figura 2.1); las hembras tienen alas traseras de color blancuzco,

mientras que los machos tienen figuras irregulares llamativas en las alas delanteras con alas traseras blancas (Nieto, 1983; Nava & Ramírez, 2002).

Biología y hábitos

Los huevos son depositados en las hojas durante las primeras horas de la noche. Son puestos en grupos o masas cubiertas por escamas del cuerpo de los adultos. La larva emerge y a partir del tercer estadio de desarrollo se introduce en el cogollo, posteriormente se traslada a diferentes partes de la planta para evitar la competencia por el alimento y el canibalismo (Figura 2.1).

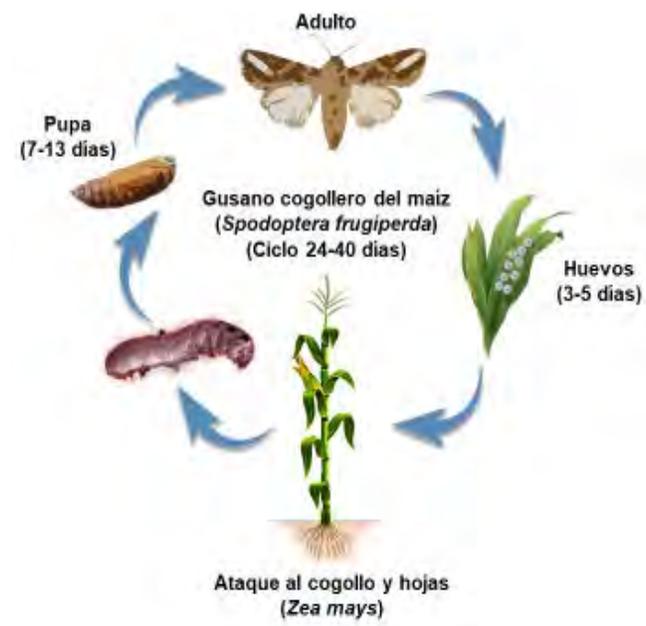


Figura 2.1. Ciclo de vida del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Pasan por 6 estadios. En el primero, las larvas miden entre 2 y 3 mm; en el segundo, miden de 4 a 10 mm. En estos dos estadios se deben tomar medidas de control. Las larvas totalmente desarrolladas pueden alcanzar hasta 3.5 cm. La pupa se desarrolla en el suelo y se mantiene en reposo de 7 a 13 días hasta que emerge el adulto. Los adultos tienen un hábito de vuelo nocturno y son atraídos por la luz (Jiménez, 2011).

Daños

Las larvas se alimentan del cogollo y hojas tiernas. Suelen causar raspaduras en las partes tiernas de las hojas, que posteriormente aparecen como pequeñas áreas traslúcidas; una vez que la larva alcanza el desarrollo, empieza a consumir secciones pequeñas de follaje en plantas pequeñas (**Figura 2.2**). Cuando las larvas se desarrollan pueden afectar secciones amplias del follaje y del cogollo, produciendo pérdida considerable de lámina foliar (**Figura 2.3**). Además, una vez en el cogollo, la larva desarrollada produce una enorme cantidad de heces, característica de la infestación por esta plaga (Sharanabasappa & Maruthi, 2018).

Manejo

Existen varias alternativas que pueden reducir las infestaciones por gusano cogollero. De manera preventiva se recomienda conservar a los enemigos naturales dentro del cultivo, evitando el uso indiscriminado de insecticidas químicos. Lo importante es reducir los niveles poblacionales de la plaga antes de que se establezca en el cultivo. Algunas avispas parasitoides a conservar son: *Trichogramma pretiosum* y depredadores como crisopas (*Chrysoperla carnea*).



Figura 2.2. Daño inicial del gusano cogollero a las hojas de maíz.



Figura 2.3. Pérdida de lámina foliar y daño severo al cogollo en plantas de maíz.

Algunos organismos microbiales pueden tener buen efecto en la reducción de las poblaciones de larvas. Entre los hongos más efectivos se encuentran *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*. Las esporas de estos hongos se comercializan en forma de polvo o líquido con nombres comerciales diversos. También se tienen productos a base de esporas de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, cuyos nombres comerciales comunes son Xentari® y Dipel®. Estos productos deben ser aplicados a las hojas nuevas y al cogollo.

Existen mezclas de extractos vegetales acuosos de hojas de neem, chile, hierba del zorrillo. Las hojas se secan y se trituran hasta obtener fragmentos muy pequeños. Este material se adiciona a un contenedor con agua (30 g por litro agua) y se calienta a 80-90 °C, donde se mantiene por 10 minutos y luego se enfría. La mezcla se filtra antes de su aplicación por aspersión dirigida al cogollo y hojas nuevas de las plantas.

El control químico es a través de insecticidas de diversas clases (**Cuadro 2.1**).

Cuadro 2.1. Insecticidas autorizados para el control químico del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo del maíz.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Coragen®	Clorantraniliprole	175-200 ml
Karate Zeon®	Lambda-cyhalothrin	200-600 ml
Intrepid OS®	Metoxifenocide	30-40 ml
Selyus®	Benzoato de emamectina	100-400 ml
Arrivo 200 CE®	Cipermetrina	400 ml
Rimon 10EC®	Novaluron	100-150 ml
Avaunt 150 SC®	Indoxacarb	100-250 ml

2.2 Gusano elotero (*Helicoverpa zea*)

Importancia

El gusano elotero es la larva de una palomilla nocturna. La larva es una plaga que afecta a varios cultivos como el maíz, sorgo y soya, dañando particularmente a flores y frutos (Cleary et al., 2006; Kriticos et al., 2015).

Descripción morfológica

Los huevos son de color blanco lechoso, quedando gris oscuro cuando están próximos a su eclosión. Son redondos y estriados. La larva en el primer estadio presenta una coloración grisácea y cabeza negra, para después cambiar a una variedad de colores, incluyendo verde, café, rosado y amarillo con franjas en el cuerpo. La pupa presenta una coloración marrón un poco brillante de aproximadamente 1.6 cm de largo. Los adultos tienen el cuerpo color café y miden de 3.5 a 4.0 cm (Balbi et al., 2017).

Biología y hábitos

Los huevos son depositados en los pelos (estigmas femeninos) del fruto (jilote) en pequeños números o pegados a las hojas que envuelven al jilote. Las larvas emergen alrededor de los 5 días y pasan por 6-7 estadios, con una duración de 14 a 25 días como periodo larval completo. Las larvas desarrolladas se vuelven caníbales; al final solo queda una larva por mazorca. Esta, después de alimentarse de los pelos finos del fruto, se alimenta también de la punta de la mazorca. Cuando la larva ya ha completado todo su desarrollo, deja de alimentarse y baja al suelo para enterrarse a unos 10 cm de profundidad y transformarse en pupa; dicho estado

dura de 12 a 15 días (**Figura 2.4**) (Centella et al., 1996; Flores et al., 2005). Los adultos son de hábitos nocturnos, migrantes estacionales que llegan a volar cientos de kilómetros. Suelen alimentarse del néctar de nectarios florales y extraflorales (Zúñiga et al., 2011).

Daños

El daño directo por la larva ocurre cuando se alimenta de los pelos de la mazorca tierna, lo que ocasiona que los granos de maíz no se formen. También puede alimentarse directamente de los granos jóvenes de la punta de la mazorca, donde barrena y penetra para alimentarse (**Figura 2.5**). En infestaciones severas, el rendimiento de grano disminuye de manera significativa. Si el daño es directamente a los granos de las mazorcas, estas pueden infestarse con hongos que las pudren (Smith et al., 1992).

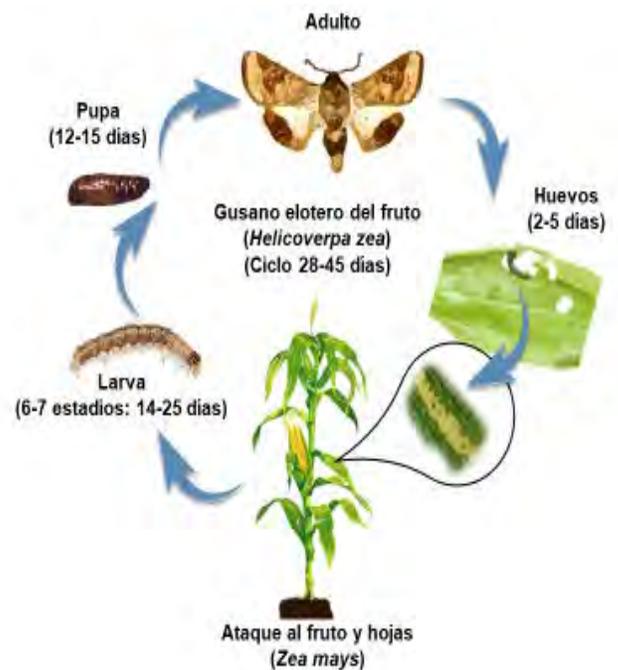


Figura 2.4. Ciclo de vida del gusano elotero del fruto (*Helicoverpa zea*).



Figura 2.5. Daño de gusano elotero a la sección terminal de la mazorca.

Manejo

Existen varias estrategias culturales que pueden utilizarse para reducir las poblaciones de los diferentes estadios. Por ejemplo, para reducir poblaciones de pupas en terrenos mecanizables, se debe realizar barbecho profundo, rastreo y otros métodos de destrucción mecánica.

Algunos productos biorracionales de origen microbiano o vegetal pueden ser efectivos. Para el caso de productos microbiales, se recomiendan los mismos organismos

que se usaron para el caso del manejo del gusano cogollero, incluyendo los hongos *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, así como la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Estos productos deben aplicarse al momento de la formación del jilote, dirigido a los estilos (pelos o barba) del elote en formación. También se pueden aplicar extractos, como lo recomendados para el caso del manejo del gusano cogollero.

Se tiene una lista de insecticidas químicos que son altamente efectivos para la prevención del daño del gusano cogollero (**Cuadro 2.2**).

Cuadro 2.2. Insecticidas autorizados para el control químico del gusano elotero (*Helicoverpa zea*) en el cultivo del maíz.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Coragen®	Clorantraniliprole	175-200 ml
Karate Zeon®	Lambda-cyhalothrin	200-600 ml
Intrepid®	Metoxifenocide	30-40 ml
Selyus®	Benzoato de emamectina	100-400 ml
Ambush 340®	Permetrina	300-450 ml
Prostar 2L®	Diflubenzuron	200-300 ml
Avaunt 150 SC®	Indoxacarb	100-250 ml

2.3 Chicharrita saltona de maíz (*Dalbulus maidis*)

Importancia

Causa pérdidas en la producción de maíz por transmitir enfermedades asociadas al achaparramiento del maíz, como el virus rayado fino del maíz (MRFV), el fitoplasma del achaparramiento (MBSM) y el espiroplasma de achaparramiento (CSS). Las chicharritas causan más daños al maíz sembrado en las fechas tardías y, en esos casos, los daños pueden ser muy graves cuando ocurren severas infestaciones. Los cultivos superpuestos suelen ser los más afectados (Oliveira et al., 1998; Virla et al., 2004).

Descripción morfológica

El huevo es muy pequeño, de forma ovalada y de coloración blanquecina. Recién emergidas, las ninfas son amarillentas transparentes y se alimentan de la base de las hojas en el cogollo o entre las hojas y el tallo en la parte inferior de la planta. Pasan por 5 estadios en un periodo de 10 a 17 días antes de convertirse en adultas. Los machos adultos miden de 3 a 4 mm y la hembra de 4 a 4.2 mm de largo; son de color amarillo paja o amarillo verdoso, con manchas redondas negras sobre la cabeza, las alas delanteras son transparentes y se extienden más allá de la punta del abdomen (Tsai & Perrier, 1996).

Biología y hábitos

Los adultos y ninfas de la chicharrita pueden estar acompañadas por hormigas que se alimentan de la mielecilla secretada por la chicharrita. Los adultos se encuentran principalmente en el envés de las hojas, al

lado de las nervaduras centrales. Las chicharritas prefieren plantas de tres semanas o un mes (**Figura 2.6**). En promedio, una hembra pone 132 huevos durante su vida y deposita de 4 hasta 19 en cada puesta, pero a menudo en hileras de 8 (Virla et al., 2004). Los adultos se caracterizan por ser altamente móviles, vuelan entre plantas y con la ayuda del viento se desplazan a mayores distancias (Valarezo et al., 2009).

Daños

Las chicharritas (adultas y ninfas) succionan la savia de la base de las hojas dentro del cogollo, de las axilas y de la parte inferior de la planta, causando amarillamiento. También es vector del *Spiroplasma kunkelii*, fitoplasmas y el virus rayado fino del maíz, provocando marchitez, clorosis y enanismo en las plantas (**Figura 2.7**). Los adultos excretan sustancias azucaradas en las hojas, lo que puede promover el crecimiento de hongos



Figura 2.6. Ciclo de vida de la chicharrita saltona de maíz (*Dalbulus maidis*).

del género *Capnodium* spp., los cuales afectan el desarrollo de las hojas. Una vez que el insecto adquiere el patógeno a través de la alimentación, continuará transmitiéndolo de por vida. El mayor daño en este caso no es tanto por la succión de savia sino por la transmisión de los patógenos.

Manejo

Como estrategias de manejo cultural se han usado trampas amarillas pegajosas. Existen varias especies de parasitoides de larvas, como *Gonatopus bicolor*. También se encuentran varias especies de hongos, como *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* que pueden reducir las densidades poblacionales de la chicharrita. Algunos de los productos botánicos derivados de chile, ajo, canela y chicalote (nombre comercial Ajick®, Omega®, Cinamix®) pueden ser repelentes efectivos de las chicharritas. Estos productos deben aplicarse los primeros 30 días de desarrollo del cultivo,



Figura 2.7. Síntomas de la enfermedad transmitida por la chicharrita.

cuando la planta está en pleno crecimiento vegetativo.

Existen diversos insecticidas químicos convencionales autorizados en el cultivo de maíz (**Cuadro 2.3**). Los insecticidas deben ser aplicados durante el primer mes de establecido el cultivo, ya que es la época de mayor susceptibilidad de las plantas.

Cuadro 2.3. Insecticidas autorizados para el control químico de la chicharrita saltona (*Dalbulus maidis*) en el cultivo del maíz.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Rescate®	Acetamiprid	0.25-0.37 kg/ha
Coragen®	Clorantraniliprole	175-200 ml
Karate Zeon®	Lambda-cyhalothrin	200-600 ml
Gaucho®	Imidacloprid	10 g/kg semilla
Intrepid®	Metoxifenocide	30-40 ml
Selyus®	Benzoato de emamectina	100-400 ml

2.4 Pulgón verde del maíz (*Rhopalosiphum maidis*)

Importancia

Ocasionalmente ocasionan daños cuando las densidades de las colonias son altas. Estos insectos se reproducen y forman colonias de forma rápida si las condiciones del clima lo permiten. Tanto los adultos como las ninfas se alimentan de la savia de las plantas, produciendo debilitamiento generalizado.

Descripción morfológica

Son insectos muy pequeños, de 1 a 4 mm de longitud; su coloración varía, pero va desde verdes, azules, amarillos o negros. Sus antenas y patas son de color verde oscuro. El cuerpo es blando y de forma ovoide. Los adultos pueden ser alados o no. Los que sí, presentan dos pares de alas membranosas, con las anteriores mucho más grandes (Adams & Drew, 1964; Bustillo & Sánchez, 1977; Blackman & Eastop, 2006).

Biología y hábitos

Pueden encontrarse individuos durante todo el año. El pulgón verde se caracteriza porque en zonas tropicales no produce huevos, sino que las hembras adultas producen ninfas directamente (Menezes Jr. et al., 1994). Las ninfas cuentan con 5 estadios que completa en 17 días (**Figura 2.8**). En promedio, una hembra produce entre 50 y 100 descendientes por ciclo y los nuevos individuos tardan aproximadamente una semana en madurar y comenzar a reproducirse nuevamente.

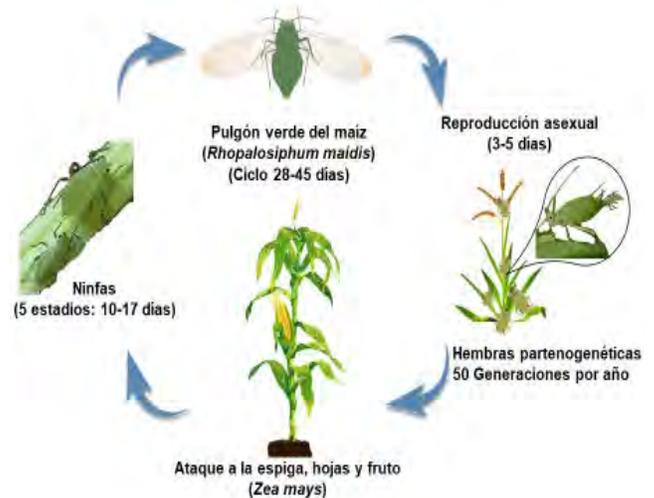


Figura 2.8. Ciclo de vida del pulgón verde del maíz (*Rhopalosiphum maidis*).

En las colonias generalmente se producen hembras sin alas. Estas se reproducen durante varias generaciones, produciendo más hembras sin alas. Cuando se genera algún cambio ambiental importante, como aumento de temperatura o muerte de la planta, algunos individuos producen hembras con alas que vuelan a una planta distinta para iniciar la reinfestación (Paulos & Salto, 1977; Lima, 2018).

Daños

Atacan primero a las hojas tiernas para luego trasladarse a las espigas, produciendo un debilitamiento generalizado de la planta por la succión de savia, de manera que se produce pérdida de vigor y disminuye el rendimiento del cultivo (**Figura 2.9**). Los síntomas son clorosis y manchas amarillentas en las hojas. Los adultos y ninfas excretan sustancias azucaradas que nutren a hongos sobre las hojas, formando una capa oscura

que afecta el vigor de las plantas. Como daño indirecto, el pulgón verde es transmisor de diversos virus, como el enanismo amarillo del maíz (Lima, 2018).

Manejo

Se pueden realizar prácticas culturales preventivas como la eliminación de malezas para evitar la presencia de hospederos alternos de esta plaga. Los pulgones tienen numerosos enemigos naturales, entre los que destacan los depredadores *Chrysoperla carnea*, *Chrysopa formosa* y *Coccinella septempunctata*. También existen microorganismos, como los hongos entomopatógenos, que pueden suprimir poblaciones del pulgón verde; por ejemplo, los hongos *Verticillium lecanii* y *Beauveria bassiana*. Se recomienda tener plantas que funcionen como repelentes, tales como la lavanda, la madre selva, el ajo o la ortiga. El uso de insecticidas químicos es una opción si las poblaciones de pulgón verde incrementan significativamente (**Cuadro 2.4**).



Figura 2.9. Colonia de pulgón verde y su daño en hojas de maíz.

Cuadro 2.4. Insecticidas autorizados para el control químico del pulgón verde del maíz (*Rhopalosiphum maidis*).

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Karate Zeon®	Lambda-cyhalothrin	200-600 ml
Picus 350 SC®	Imidacloprid	200-300 ml
Crusier 5 FS®	Tiametoxam	20-35 ml
Pirimor®	Pirimicarb	100-150 gr

2.5 Complejo gallina ciega (Melolonthidae: *Phyllophaga* sp. y *Anomala* sp.)

Importancia

La gallina ciega está integrada por un complejo de varias especies de escarabajos. Sus estadios larvales son los que causan daño en los cultivos. Los adultos son conocidos comúnmente en la región maya como *kuklin* o «mayates de junio» por parte de los productores locales (Marín & Bujanos, 2008).

Descripción morfológica

Los huevos son de color blanco aperlado, de forma ovalada a redonda. Miden de 1.5 a 3 mm según la especie y se encuentran a una profundidad de 2 a 18 cm dentro del suelo. Las larvas miden de 3 a 3.6 cm aproximadamente y en los primeros estadios son de color blanco grisáceo, mientras que las larvas del tercer estadio son de color blanco cremoso. Las larvas tienen forma de «C» o «U» con la cabeza de color café amarillento. Tienen mandíbulas fuertes y tres pares de patas bien desarrolladas (Ramírez-Salinas & Castro-Ramírez, 2000). Los adultos tienen una coloración café-rojiza, llegando a medir de 1 a 2.5 cm aproximadamente, dependiendo de la especie en particular (Aragón & Morón, 2004).

Biología y hábitos

Su ciclo de vida es muy largo, llegando a durar entre uno y dos años. Este comienza con la oviposición de los huevos en el suelo, cerca de las raíces de las plantas, durando aproximadamente 15 días. Las larvas pasan por 6 u 8 estadios con una duración variable

de 9 a 22 meses dependiendo de la especie; mientras que las larvas más jóvenes producen pocos daños, las más viejas son las más agresivas (Morón, 1986). Cuando las larvas finalizan su alimentación, pasan al estadio de pupa que dura de entre 3 a 6 semanas. Finalmente, al inicio de las lluvias los adultos son estimulados a emerger de las pupas en el suelo para aparearse y, consecuentemente, ovipositar y reiniciar el ciclo (**Figura 2.10**). El daño se presenta de finales de junio a mediados de octubre, pero el periodo crítico es entre los meses de julio y agosto, cuando las larvas de las especies generalmente están en tercer estadio y son muy voraces (CATIE, 1990).

Daños

Los estadios larvales de estos escarabajos son los que causan daño en los cultivos, ya que se alimentan de las raíces de las plantas (**Figura 2.11**), ocasionando un estrés hídrico y, a la larga, la muerte de las plantas (**Figura 2.12**). Los daños iniciales no son visibles en la

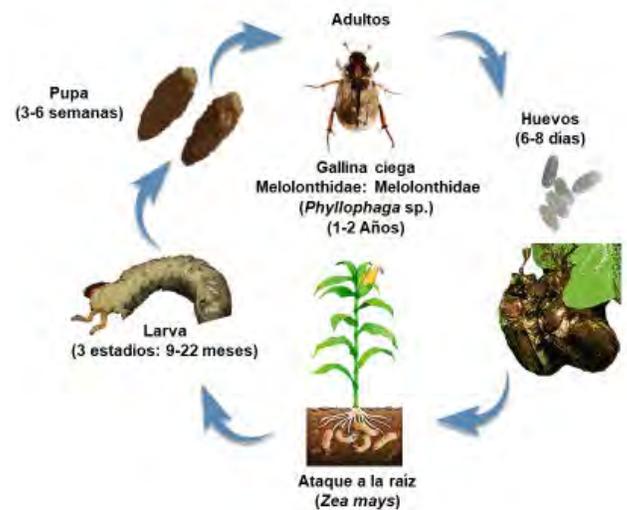


Figura 2.10. Ciclo de vida de la gallina ciega en maíz (*Phyllophaga* spp.).



Figura 2.11. Vista de las larvas de gallina ciega y su daño en raíces de maíz.



Figura 2.12. Daño a las raíces de las plantas y panorámica de un cultivo infestado.

zona aérea de la planta, pues en los estadios iniciales las larvas se alimentan solo de algunos pelos radiculares y materia orgánica adyacente. Cuando se desarrollan, comienzan a alimentarse de las raíces más grandes de las plantas, lo que después se manifiesta como marchitamiento y un pobre desarrollo (Ramírez-Salinas & Castro-Ramírez, 2000).

Manejo

Para establecer estrategias de manejo preventivo, es necesario el monitoreo de la gallina ciega preferentemente en adultos. El momento para realizar el monitoreo de adultos y de suelo es al inicio de la temporada de lluvias, ya que es cuando eclosionan

las pupas. Actualmente se utilizan las trampas de luz. Una alternativa más económica, pero menos sofisticada y efectiva, son las trampas de agua.

Para reducir las poblaciones de larvas se pueden aplicar al suelo en la semilla o al cuello de las plantas si ya emergieron, los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. También puede aplicarse la bacteria *Bacillus popilliae*. Los productos a base de estos agentes biorracionales se deben aplicar al momento de la siembra para proteger a las plantas durante

las primeras etapas de desarrollo (de la siembra a los 40 días posemergencia), ya que en este periodo existe mayor susceptibilidad de las plantas.

El uso de insecticidas químicos es una opción para tratamiento de la semilla antes de la siembra, sobre todo en zonas de alta incidencia de la plaga. Esta práctica evita también el ataque de otras plagas. La aplicación a la semilla permite una protección aproximada de 15 a 20 días. Los insecticidas principalmente se aplican a la semilla o al cuello de la planta recién emergida (**Cuadro 2.5**).

Cuadro 2.5. Insecticidas autorizados para el control químico de la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) y (*Anomalla* spp.) en el cultivo de maíz.

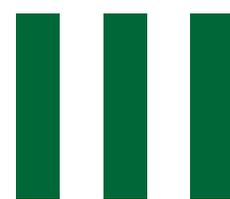
Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Interfuran®	Carbofuran	4-6.5 l
Pirimor®	Pirimicarb	100-150 gr
Crusier 5 FS®	Tiametoxam	20-35 ml
Analor 3G®	Clorpirifos etil	50 a 60 kg

2.6 Referencias

- Adams, J. B., & Drew, M. E. (1964). Pulgones de grano en Brunswick. II. Desarrollo comparativo en el invernadero de tres especies de áfidos en cuatro tipos de gramíneas. *Poder. J. Zool.*, 42, 741-744.
- Angulo, A. O., & Olivares, T. S. (2001). Clave para identificar pupas de especies de noctuidos chilenos (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev. Chil. Entomol.*, 28, 55-58. http://www.insectachile.cl/rchen/pdfs/2001v28/Angulo_Olivares_2001.pdf
- Aragón, A., & Morón, M. A. (2004). Descripción de las larvas de tres especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) del Valle de Puebla. *Folia Entomol. Mex.*, 43(3), 295-306. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42443305>
- Balbi, E. I., Flores, F. M., Tosto, D. S., & Arneodo, J. D. (2017). Further description of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) male genitalia and new genetic evidence of synonymy with respect to the anomalous form, "*Heliothis stombleri*". *J. Insect Sci.*, 17(3), 1-6. <http://dx.doi.org/10.1093/jisesa/iex049>
- Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2006). *Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs (Volume 1 Host Lists and Keys; Volume 2, The Aphids)*. J. Wiley & Sons.
- Bustillo, A., & Sánchez, G. (1977). *Los áfidos en Colombia, plagas que afectan los cultivos agrícolas de importancia económica*. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Capinera, J. L. (2017). Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). *The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS)*, 7, 1-6. <https://doi.org/10.32473/edis-in255-2000>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), (1990). *Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de maíz*. Turrialba Costa Rica. (Serie técnica.) Informe Técnico/ No. 152. 1-88. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2262>
- Centella, C., Urzúa, C., Caro, J., & Jerez, V. (1996). Determinación etaria para los estadios larvarios de *Rhyacionia buoliana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Bosque*, 17(1), 91-96. <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v17n1/art10.pdf>
- Cleary, A. J., Cribb, B. W., & Murray, D. A. H. (2006). *Helicoverpa armigera* (Hübner): can wheat stubble protect cotton plants against attack? *Australian Journal Entomology*, 45(1), 10-15. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2006.00521.x>
- Farias, P. R., Barbosa, J., Busoli, C., Overal, W., Miranda, V., & Ribeiro, S. (2008). Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics. *Neotrop. Entomol.*, 37(2), 321-327. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000300012>
- Flores, L., Bautista, N., Martínez, N., Valdez, J., Morales, O., & Quiñones, S. (2005). Comparación de dos técnicas de medición de cápsulas cefálicas para separar estadios larvales de *Copitarsia incommoda* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 21(2), 109-113. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57521208>

- Jiménez, L. J. D. (2011). *Efectividad biológica de extractos vegetales sobre larvas de Spodoptera frugiperda*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Kriticos, D. J., Ota, N., Hutchison, W. D., Beddow, J., Walsh, T., Tay, W. T., Borchert, D. M., Paula-Moreas, S. V., Czapak, C., & Zalucki, M. P. (2015). The potential distribution of invading *Helicoverpa armigera* in North America: Is It Just a matter of time? *PLOS ONE*, *10*(3), e0119618. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119618>
- Lima, Y. M. O. (2018). *Atividade de inseticidas em tratamento de sementes sobre o manejo da cigarrinha Dalbulus maidis (delong & wolcott) (hemiptera: cicadellidae) e do pulgão Rhopalosiphum maidis (fitch, 1856) (hemiptera: aphididae) em milho*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 1-28.
- Marín, J. A., & Bujanos, M. R. (2008). Especies del complejo "gallina ciega" del género *Phyllophaga* en Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*, *34*(3), 349-355. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60811116010>
- Menezes Jr., A. O., Pereira, R. A. S., Prestes, S. J. N., Rodrigues, S. C., Matsuo, T., & Souza, J. A. M. (1994). *Dinâmica populacional dos pulgões Schizaphis graminum e Rhopalosiphum maidis (Homoptera: Aphididae) e seus inimigos naturais, em plantios de sorgo granífero na região norte do Paraná*. Simposio de Controle Biológico, 4, Gramado, RS. Anais: Sessão de Poster. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT. 358 pp.
- Morón, M. A. (1986). *El género Phyllophaga en México: morfología, distribución y sistemática supraespecífica (insecta: coleoptera)*. Instituto de Ecología.
- Murua, M. G., & Virla, Y. E. G. (2004). Presencia invernal de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el área maicera de la provincia de Tucumán, Argentina. *Rev. Fac. Agron. Plata*, *105*(2), 46-52. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15677/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nava, C. U., & Ramírez, M. D. (2002). *Descripción y combate de plagas de maíz y sorgo forrajero. En producción y utilización del maíz forrajero en la región lagunera*. INIFAP.
- Nieto H. R. (1983). *Biología, identificación de instars y efecto de diflubenzuron en Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)*. Tesis profesional. Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Oliveira, E., Waquil, J. M., Fernandes, F.T., Paiva, E., Resende, R. O., & Kitajima, E. W. (1998). Enfezamento pálido e enfezamento vermelho na cultura do milho no Brasil Central. *Fitopatologia Brasileira*, *23*, 45-47. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43431/1/Enfezamento-palido.pdf>
- Paulos, L. A., & Salto, C. (1977). *Pulgón verde de los cereales. II. Hallazgo y descripción de formas sexuadas en el biotipo 1976*. Chacra Experimental de Barrow. Publicación Técnica N° 15.

- Ramírez-Salinas, C., & Castro-Ramírez, A. E. (2000). El complejo "gallina ciega" (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de maíz, en El Madronal, municipio de Amatenango del Valle, Chiapas, México. *Acta Zool. Mex.*, 79, 17-41. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372000000100003
- Sánchez, G., Sarmiento, J., & Herrera, J. (2004). *Plagas de la caña de azúcar, maíz y arroz*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sharanabasappa, K. C. M., & Maruthi, M.S. (2018). Biología del gusano invasor del ejército de otoño. *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz. *Diario Indio Entomol.*, 80(3).
- Smith, I. M., Mc. Namara, D. G., Scott, P. R., & Harris, K. M. (1992). *Helicoverpa zea*. *Data sheets on quarantine pests*. CAB International & EPPO.
- Tsai, J. H., & Perrier, J. L. (1996). Morphology of the digestive and reproductive systems of *Dalbulus maidis* and *Graminella nigrifrons* (Homoptera: Cicadellidae). *The Florida Entomologist*, 79(4), 563-578. <https://doi.org/10.2307/3496069>
- Valarezo, O., Cañarte, E., Navarrete, B., & Intriago, M. (2009). La chicharrita *Dalbulus maidis* y su manejo en el cultivo de maíz. *Plegable Divulgativo* 305. INIAP.
- Virla, E. G., Díaz, C. G., Carpane, P., Laguna, I. G., Ramallo, J., Gerónimo-Gómez, L., & Giménez-Pecci, M. P. (2004). Evaluación preliminar de la disminución en la producción de maíz causada por el "Corn Stunt Spiroplasma" (CSS) en Tucumán, Argentina. *Bol. San. Veg. Plagas*, 30, 257-267. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/47512/CONICET_Digital_Nro.973c30df-3f6b-4c1d-a650-e18191eee724_A.pdf?sequence=2
- Zúñiga, A., Angulo, A., Rebolledo, R., & Navarro, M. E. (2011). Comparación de estadios larvales de *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante longitud de cápsula cefálica y distancia entre setas frontales. *Idesia (Arica)*, 29(3), 83-86. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000300012



Principales enfermedades del maíz

Esaú Ruiz Sánchez,
Rubén Humberto Andueza Noh y
René Garruña Hernández

III. PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL MAÍZ

3.1 Roya del maíz (*Puccinia sorghi*)

Generalidades

La roya es una enfermedad ampliamente distribuida por todo el mundo, particularmente es común en climas tropicales y subtropicales donde la humedad es alta. En las estaciones húmedas es común encontrar esta enfermedad en el cultivo del maíz, incluso afecta a otros cereales. Se le puede reconocer por las pústulas pequeñas y pulverulentas, tanto en el haz como en el envés de las hojas. Las pústulas son de color café claro en las etapas iniciales de la infección, posteriormente la epidermis se rompe y las lesiones se vuelven negras a medida que la planta madura.

Morfología y biología

Los hongos del género *Puccinia* son parásitos obligados que se manifiestan en forma de pequeñas pústulas pulverulentas. Estas, llamadas también soros, se manifiestan en todas las partes aéreas de la planta, especialmente en hojas y espigas. Producen grandes cantidades de esporas redondas y unicelulares (uredosporas) que aseguran la dispersión de la enfermedad de manera rápida. A finales de temporada aparecen pústulas oscuras. Se trata de la forma invernante del hongo que se reactiva cuando nuevamente hay plantas para infectar al hospedero intermedio; de las pústulas salen esporas que pueden volver a infectar al maíz.

El ciclo vital está conformado por varias fases de la enfermedad que se reconocen por el tipo de lesiones. Las estructuras llamadas ecios se forman en el haz y el envés de las hojas, integrando grupos densos; en ellos se producen esporas llamadas eciosporas. Las estructuras llamadas uredinios se forman en el haz y envés, solitarios o en grupos; están al principio cubiertos por la epidermis de la hoja, pero luego la rasgan tomando color amarillo; contienen esporas llamadas uredosporas. Después se forman las estructuras conocidas como telios, que toman un color negruzco al romper la epidermis de la hoja; contienen las esporas llamadas teliosporas, que originan micelio que desarrollan estructuras denominadas basidios y esporas llamadas basidiosporas (Buriticá, 1999).

Síntomas y daños

Los principales síntomas que se presentan son puntos cloróticos en la superficie del haz y envés de la hoja, donde rápidamente se desarrolla. En cultivares susceptibles las pústulas son grandes, presentando en el interior una coloración pardo-canela luego de romper la epidermis de la hoja (**Figura 3.1**). El tejido foliar que rodea a las pústulas puede quedar amarillo clorótico, dejando áreas de lesión (**Figura 3.1**). Posteriormente, se vuelven de color negro cuando las uredosporas son sustituidas por las teliosporas, las cuales continúan su erupción rompiendo la epidermis a medida que la planta

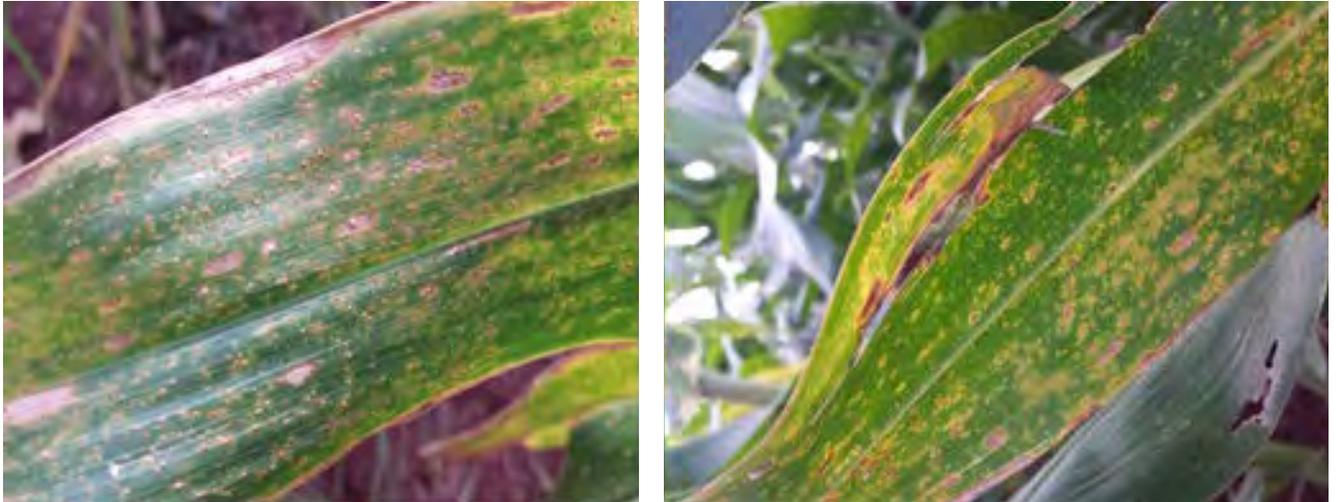


Figura 3.1. Síntomas típicos de pústulas en las hojas y áreas amarillas alrededor de las pústulas.

madura. Cuando los síntomas son severos, el crecimiento resulta afectado y disminuye significativamente el rendimiento (Bade & Carmona, 2011).

Manejo

La aplicación de fungicidas microbianos como *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum* y *Bacillus subtilis* pueden funcionar si las infecciones no son severas. Uno de los productos más usados es el derivado del hongo *T. harzianum*, conocido comercialmente como Natucontrol®. Estos fungi-

cidas microbianos tienen la capacidad de reducir el daño si se aplica de manera preventiva cuando las condiciones ambientales son propicias para el establecimiento y dispersión de la enfermedad.

La mayoría de los fungicidas químicos registrados para su uso en control de enfermedades en el maíz, pertenecen al grupo de los triazoles o estrobilurinas. La combinación de dos principios activos ofrece una mejor protección dentro del ciclo de infección por estos hongos en la fase de esporulación y colonización (**Cuadro 3.1**).

Cuadro 3.1. Fungicidas para el control químico de la roya del maíz (*Puccinia sorghi*).

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Amistar Pack®	Azoxistrobin 25% + Epoxiconazol 12.5%	0.8-1 l
Baytan 150 FS®	Triadimenol	0.7-1.0 l
Flint 50WG®	Trifloxystrobin	0.14-0.175 kg
Solaris Bio 250 EW®	Tebuconazole 23%	0.5-0.6 l

3.2 Tizón de la hoja de maíz anamorfo (asexual): *Curvularia* sp. y *Helminthosporium* sp.

Generalidades

Este hongo se distribuye por casi todo el continente americano. El tizón foliar o tizón sureño del maíz está generalizado en zonas maiceras cálidas y húmedas. Para causar infección, el hongo requiere temperaturas ligeramente más altas, por lo que afecta a los cultivos de maíz en la temporada de verano; también puede afectar al maíz al final de la temporada de invierno (Fernandes y Oliveira, 2004).

Morfología y biología

Se conocen varias razas de tizón que causan serios daños en los cultivos de maíz; es difícil distinguir entre ellas. En *Helminthosporium* sp., normalmente el micelio es oscuro en el sustrato. Las esporas llamadas conidióforos simples o agrupados son de color marrón (Barnett & Hunter, 1999). El género *Helminthosporium* cuenta con varias especies que pueden infestar al maíz. La aparición de la enfermedad se ve favorecida bajo condiciones de clima templado y húmedo. Durante el invierno, el micelio y las esporas del hongo se conservan en los restos del cultivo que permanecen sobre el suelo después de la recolección en las bodegas sobre granos procedentes de mazorcas contaminadas y sobre algunas especies de zacate que crecen como malezas. En condiciones adecuadas de temperatura y humedad, el hongo fructifica y las esporas son transportadas por el viento y por las salpicaduras del agua a plantas en crecimiento, donde se producen nuevas infecciones.

Síntomas y daños

Helminthosporium sp. provoca lesiones de 1 a 3 cm que a menudo llegan a unirse. Los primeros síntomas son manchas ovaladas húmedas alargadas, normalmente fusionadas entre sí (Fernandes y Oliveira, 2004). Al principio las lesiones son pequeñas y romboides. A medida que maduran, las manchas se van alargando, pero las nervaduras adyacentes restringen su crecimiento y la forma final de la mancha es rectangular, de 2 a 3 cm de largo, produciendo quemaduras completas de extensas áreas de las hojas, afectando la fotosíntesis y finalmente provocando la senescencia de hoja (**Figuras 3.2 y 3.3**). Esta enfermedad en condiciones de alta severidad puede ocasionar pudrición de tallo y mazorca (Singh et al., 2012).



Figura 3. 2. Síntomas iniciales de *Helminthosporium* sp.



Figura 3.3. Síntomas severos de *Helminthosporium* sp.

Manejo y control

Entre las medidas de manejo están la diversificación de cultivos, la recolección de tejido muerto y la aplicación de fungicidas microbianos como *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum* y *Bacillus subtilis*. Dos de los productos más usados son los fungicidas a base de *T. harzianum* y *B. subtilis* conocidos como Natucontrol® y Serenade®. Estos productos deben aplicarse de manera preventiva para que su efecto sea mayor.

Se cuenta con fungicidas efectivos convencionales de diferentes grupos químicos (**Cuadro 3.2**).

Cuadro 3.2. Fungicidas para el control químico de *Helminthosporium* sp. y *Curvularia* sp. en maíz.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Amistar Pack®	Azoxistrobin 25% + Epoxiconazol 12.5%	0.8-1 l
BAaytan 150 FS®	Triadimenol	0.7-1.0 l
Bravo 720 SC®	Clortalonil 72%	0.16-1.4 l
Flint 50WG®	Trifloxystrobin	0.14-0.175 kg
Solaris Bio 250 EW®	Tebuconazole 23%	0.5-0.6 l

3.3 Pudrición de tallo, raíz y mazorca de *Fusarium* sp. y *Gibberella* sp.

Especies

Teleomorfo (sexual): *Gibberella fujikuroi*, *G. zeae* y *Nectria haematococca*.

Anamorfo (asexual): *Fusarium moniliforme* sin., *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. moniliforme*, *F. oxysporum* y *F. solani*.

Generalidades

En el maíz hay especies de hongos del género *Fusarium* y *Gibberella* presentes en una amplia distribución de todas las zonas maiceras del mundo (Mendoza et al., 2003). Provocan pudrición de mazorca, tallo y tizón en hojas las plántulas.

Gibberella zeae es el estado sexual de *Fusarium graminearum*. El estado sexual se encuentra en zonas frías y húmedas. Los primeros signos de la infección son la formación de micelios blancos en tallo, raíz, mazorca y hoja. El hongo produce micotoxinas (conocidas como deoxinivalenol, zealalenona y zealalenol) que son tóxicas. De igual manera, la pudrición por *Fusarium moniliforme* está distribuida en todo el mundo (González et al., 2007).

Morfología y biología

En las especies del género *Fusarium* y *Gibberella*, el micelio suele ser extenso y similar al algodón; a menudo es color rosa, púrpura, anaranjado o amarillo. Las esporas tipo conidios son hialinas y principalmente de dos tipos: ligeramente curvadas o dobladas en

los extremos puntiagudos (macroconidio) y ovoides u oblongas (microconidios). Este patógeno es de hábito parasítico en plantas superiores o saprófito en material vegetal en descomposición (Barnett & Hunter, 1999).

Síntomas y daño

Los granos infectados desarrollan un moho algodonoso o rayas blancas en la superficie y germinan estando aún en el olote, causando, además, disminución de la germinación por la muerte del embrión (González et al., 2007; Morales-Rodríguez et al., 2007). Por lo general, las mazorcas invadidas por plagas son más susceptibles a las infecciones por *F. moniliforme*. El hongo produce micotoxinas conocidas como fumonisinas, que son tóxicas para algunas especies animales. Este hongo puede causar daño en todas las etapas del cultivo. Algunas especies del género *Fusarium* afectan al tallo, además de las mazorcas (**Figura 3.4**). En otras especies de *Fusarium*, el micelio puede invadir y ocasionar manchas foliares, marchitamiento, amarillamiento foliar, pudrición radicular y pudrición del cuello del tallo (González et al., 2007).

Manejo

Entre las medidas de manejo se encuentra la recolección de tejido muerto, esterilización de suelo y solarización en los terrenos donde sea viable esta práctica. La aplicación de fungicidas microbianos, como *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum* y *Bacillus subtilis*, puede ser eficiente en condiciones de baja severidad. Al igual que para el caso de la roya y las manchas foliares, las aplicaciones preventivas de estos productos producen mejores efectos en la supresión del daño al cultivo.



Figura 3.4. Síntomas de *Fusarium* en tallo y en hojas.

Existen fungicidas de diversos grupos para el manejo de la enfermedad (**Cuadro 3.3**).

Cuadro 3.3. Fungicidas para el control químico de *Fusarium* y *Gibberella* en maíz

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Amistar Pack®	Azoxistrobin 25% + Epoxiconazol 12.5%	0.8-1 l
Baytan 150 FS®	Triadimenol	0.7-1.0 l
Bravo 720 SC®	Clortalonil 72%	0.16-1.4 l
Sportak®	Procloraz	100-200 g
Flint 50WG®	Trifloxystrobin	0.14-0.175 kg
Solaris Bio 250 EW®	Tebuconazole 23%	0.5-0.6 l
Switch®	Fludioxonil + Ciprodinil	1.0-1.2 l

3.4 Virus del rayado fino del maíz (MRFV)

Generalidades

El rayado fino es causado por un virus transmitido por la chicharrita *Dalbulus maidis* (Fam. Cicadellidae), que es también un vector del achaparramiento del maíz. La enfermedad se ha detectado principalmente en regiones con climas tropicales (De León, 1984).

Biología

El virus del rayado fino se caracteriza inicialmente por la aparición de puntos cloróticos ubicados ordenadamente en paralelo a la vena central y en la base de las hojas jóvenes. Inicia su aparición 3 o 4 días después de que ocurre la infección. Con el avance de la infección, los puntos se van uniendo y originan un rayado muy fino que puede llegar a cubrir toda la hoja. En variedades muy susceptibles hay necrosis de células con ruptura de la hoja, acompañada a veces de marchitamiento. Si la infección ocurre después de la floración, los síntomas no son muy evidentes y algunas veces no se manifiestan.

El virus se multiplica en el insecto y el vector es infeccioso solo después de un periodo de incubación de 8 a 37 días. Por tanto, solo la existencia de maíz y la chicharrita, combinado con la alimentación del vector en las plantas, puede asegurar la supervivencia del virus en una región determinada (Madriz-Ordeñana et al., 2000).

Síntomas y daños

Los síntomas se desarrollan unas 2 semanas después de que las plantas han sido inoculadas. Comienzan como manchas cloróticas pequeñas y aisladas que pueden verse fácilmente colocando la hoja contra la luz. Más tarde, las manchas se vuelven más numerosas y se fusionan, formando rayas de 5 a 10 cm a lo largo de las nervaduras (**Figura 3.5**). Las plantas pueden no mostrar síntomas si son infectadas en la época de floración,



Figura 3.5. Síntomas del rayado fino del maíz

pero el retraso del crecimiento y el marchitamiento pueden también ocurrir dependiendo de la edad y susceptibilidad de la planta (De León, 1984).

Manejo

Rotación de cultivos y evitar el establecimiento de cultivos tardíos. Existen algunos productos vegetales que pueden causar repelencia a los insectos, como los productos vegetales derivados de extractos. Algu-

nas de las especies vegetales usadas como fuente para estos extractos son el neem, el ajo, la canela y el chicalote. Los nombres comerciales de los productos son Cinamix®, Ajick®, Cinacar® y Omega®.

Los tratamientos con insecticidas sistémicos se pueden aplicar a la semilla. En posemgerencia, aplicar insecticidas químicos durante el primer mes de desarrollo del cultivo para evitar el establecimiento del insecto (**Cuadro 3.4**).

Cuadro 3.4. Insecticidas para el control químico de *Dalbulus maidis*, transmisor del MRFV en maíz.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis por hectárea
Rescate®	Acetamiprid	0.25-0.37 kg
Coragen®	Clorantraniliprole	175-200 ml
Karate Zeon®	Lambda-cyhalothrin	200-600 ml
Tracer®	Spinosad	75-100 ml
Confidor 350®	Imidacloprid	0.7-1 l
Sivanto Prime®	Flupyradifurone	1.0-1.5 l
Proclaim®	Benzoato de emamectina	200-250 g

3.5. Referencias

- Bade, C. I. A., & Carmona, M. A. (2011). Comparison of methods to assess severity of common rust caused by *Puccinia sorghi* in maize. *Tropical Plant Pathology*, 36(4), 264-266. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762011000400009>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1999). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (4th ed.). The American Phytopathological Society.
- Buriticá, P. (1999). Familia Phakopsoraceae (Uredinales) en el Neotrópico III, géneros *Batislopsora* y *Phakopsora*. *Rev. Acad. Colom. Cien.*, 23(87), 271-305. https://www.accefyn.com/revista/Vol_23/87/271-305.pdf
- De León, C. (1984). *Enfermedades del maíz, una guía para su identificación en el campo*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
- Fernandes, F. T., & Oliveira, E. (2004). Principales enfermedades en el maíz. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2000, 80 p. REIS, En: *Casa, RT identificación manual y el control de las enfermedades del maíz*. Minas: Agrotécnicas Ciencias. 331p.
- González, H. A., Vázquez, G. L. M., Sahagún, C. J., Rodríguez, P. J. E., & Pérez, L. D. J. (2007). Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México*, 33(1), 33-42. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000100004
- Madriz-Ordeñana, K., Rojas-Montero, R., Lunds-gaard, T., Ramírez, P., Thordal-Christensen, H., & Collinge, D. (2000). Mechanical transmission of maize rayado fino marafivirus (MRFV) to maize and barley by means of the vascular puncture technique. *Plant Pathology*, 49(2), 302-307. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2000.00447.x>
- Mendoza, E. M., López, B. A. O., Oyervides, G. A., Martínez, Z. G., De León, C., & Moreno, M. E. (2003). Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca de maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 267-271. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61221304.pdf>
- Morales-Rodríguez, I., Yáñez-Morales, M. J., Silva-Rojas, H. V., García-Santos, G., & Guzmán-Peña, D. A. (2007). Biodiversity of *Fusarium* species in Mexico associated with ear rot in maize and their identification using a phylogenetic approach. *Mycopathologia*, 163(1), 30-31. <https://doi.org/10.1007/s11046-006-0082-1>
- Singh, R., Srivastava, R. P., & Ram, L. (2012). Northern Corn Leaf Blight-An Important Disease of Maize: An Extension Fact Sheet. *Indian Research Journal of Extension Education, Special Issue*(2), 239-241. <https://www.seea.org.in/uploads/pdf/2012-35-239-241.pdf>



IV

Manejo forestal

Juan Manuel Dupuy Rada,
José Luis Andrade Torres
y José Luis Hernández Stefanoni

IV. MANEJO FORESTAL

4.1 Identificación de zonas de reserva forestal comunitaria

Uno de los criterios más importantes para establecer zonas de reserva o protección en los bosques o selvas, se enfoca en la selección de áreas con la mayor cantidad de biomasa o carbono almacenado (Strassburg et al., 2010). La biomasa de las plantas leñosas se refiere al tejido vegetal seco de las hojas, frutos, ramas, troncos y raíces. Se expresa generalmente en kilogramos (kg) o toneladas (t) de materia seca.

De acuerdo con su posición y características, se reconocen tres tipos de reservorios: la biomasa subterránea (raíces), la del material caído (troncos, ramas, frutos y hojas), y la aérea (troncos, ramas, hojas y frutos de las plantas en pie). De estos tres reservorios, la biomasa aérea es generalmente la única que se reporta debido a que es más fácil de medir (Galicia et al., 2015). En los bosques tropicales, como los de las comunidades de milperos y milperas en Yucatán, típicamente los árboles son los que aportan los mayores contenidos de biomasa leñosa, mientras que otras formas de vida, tales como las lianas o las palmas, solo contribuyen marginalmente a la biomasa total.

Los bosques tropicales, además de proporcionar una gran cantidad de bienes como madera, leña e insumos para medicamentos y para la industria, entre otros, nos proveen una serie de servicios ambientales a la huma-

nidad. Por ejemplo, capturan agua, tienen una gran diversidad de especies de plantas y animales y, además, poseen la capacidad de absorber el dióxido de carbono (CO₂) que está en la atmósfera (Cortés-Calderón et al., 2021).

El dióxido de carbono se absorbe por las plantas durante el proceso de la fotosíntesis y se acumula en sus diferentes tejidos (troncos, ramas, hojas y frutos). Esto ayuda a evitar el calentamiento global del planeta y, por lo tanto, a mitigar el cambio climático. Sin embargo, actividades como la deforestación y la degradación del bosque contribuyen de manera importante a perder el carbono almacenado en las plantas. De ahí que la biomasa aérea de los bosques sea un criterio muy importante para el establecimiento de zonas de reserva.

Se piensa que al proteger las áreas que tienen mayores cantidades de carbono acumulado, también se preserva al mayor número de especies. Sin embargo, la creación de áreas de protección con grandes almacenes de carbono no necesariamente implica una protección de una mayor diversidad de plantas. La cantidad de carbono y la diversidad de plantas incrementan a medida que se regenera un bosque natural después de una perturbación (Dupuy et al., 2012). Sin embargo, las mayores cantidades de carbono almacenado se encuentran en los bosques maduros o monte alto. Aquí, el carbono y la diversidad de árboles no necesariamente se asocian, esto depende de

una gran variedad de factores que afectan a la diversidad y el crecimiento de las plantas, como el clima, el tipo de suelo, entre otros.

La diversidad de plantas se refiere al número de especies diferentes que podemos encontrar en un sitio particular y que son importantes para el bienestar de los seres humanos, ya que están estrechamente relacionadas con la provisión de muchos de los bienes y servicios que proporciona el bosque (Mace et al., 2012). Por lo tanto, la diversidad de plantas es otro criterio importante para la selección de áreas de protección comunitaria.

Para poder maximizar los cobeneficios de tener áreas con mayor cantidad de biomasa almacenada y mayor riqueza de especies, en un estudio realizado en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY), se obtuvieron mapas con la distribución en el espacio, tanto de la biomasa aérea del bosque como de la riqueza de árboles en toda la península de Yucatán, incluyendo las zonas milperas del estado (Hernández-Stefanoni et al. 2021). Posteriormente, se combinaron ambos mapas para poder identificar aquellas zonas en donde existiera mayor biomasa almacenada y mayor diversidad de árboles.

Para su creación se utilizaron datos del Inventario Nacional Forestal en la península de Yucatán. Con estos datos se calculó la biomasa aérea y el número de especies de árboles en campo, los cuales se asociaron con información de imágenes de satélite y se obtuvieron los mapas de biomasa, riqueza de especies y la combinación de ambos.

En la **Figura 4.1** se muestra un mapa en donde se identifican las zonas con caracte-

rísticas para considerarse como zonas forestales de protección comunitaria. Las áreas en azul tienen las mayores cantidades de carbono almacenado y la mayor diversidad de plantas, mientras que las áreas en verde tienen valores bajos de biomasa y altos de diversidad; en contraste, las áreas en amarillo tienen valores altos en carbono almacenado y baja diversidad de plantas. Por último, las áreas en rojo tienen valores bajos en diversidad de plantas y en carbono almacenado.

Para poder obtener la cantidad de biomasa, de riqueza de especies y las zonas con mayor potencial para la conservación, los ejidos y comunidades con actividades de manejo forestal y conservación comunitaria podrían solicitar al CICY estos mapas y, con la ayuda de un(a) experto(a) en SIG (Sistemas de Información Geográfica) y los polígonos con las colindancias de sus comunidades o ejidos, se podría procesar esta información para la obtención de estos mapas dentro de esas áreas. La creación de mapas y el cálculo del contenido de carbono en las comunidades podría, además, utilizarse para solicitar pagos por servicios ambientales (captura y almacenamiento de carbono atmosférico para mitigar el calentamiento global) a la Comisión Nacional Forestal (Conafor).

Una alternativa más general y simple para poder localizar las zonas de reserva forestal, sin la necesidad de obtener estos mapas, sería la utilización de los siguientes criterios:

1. Las áreas de reserva forestal deben contener la mayor cantidad de terreno posible, con árboles de alturas y diámetros grandes. Con esto conseguiríamos áreas con grandes cantidades de carbono almacenado.

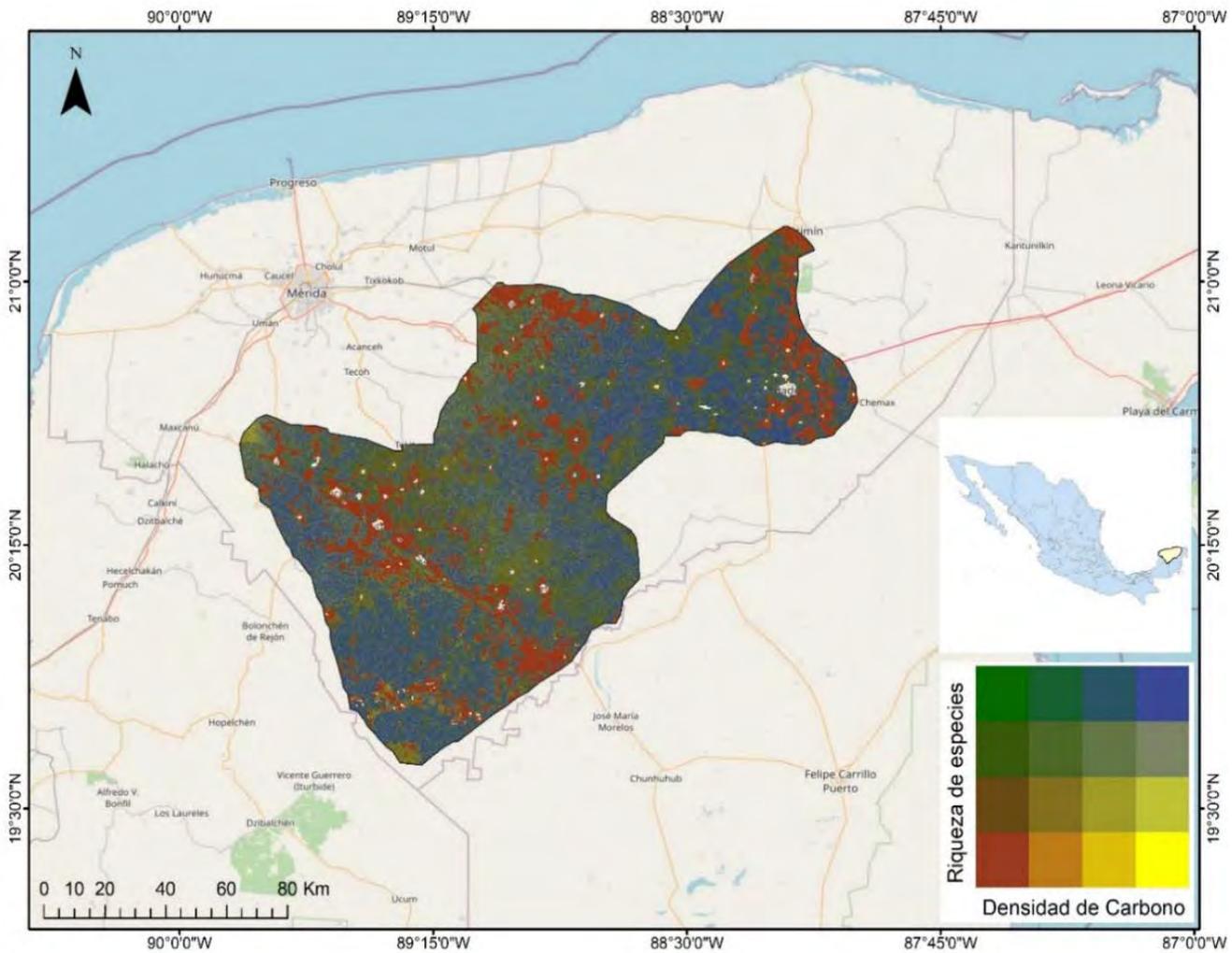


Figura 4.1. Mapa con la identificación de áreas de mayor carbono almacenado y mayor diversidad de especies en las zonas de milpa en Yucatán.

2. Estas áreas deberán contener la mayor cantidad posible de especies de diferentes árboles para contar con la mayor cantidad de bienes y servicios ambientales. Esto implica localizar áreas con alta riqueza o número de especies.
3. Por último, estas no deberían estar aisladas, es decir, que existan áreas de bosque cercanas a la elegida, de manera que las especies de plantas y animales presentes en la reserva puedan desplazarse y enriquecer otras zonas.

4.2 Prácticas forestales tradicionales

El sistema de la milpa se sustenta en la capacidad que tienen los bosques tropicales o selvas de regenerarse, es decir, de recuperar su estructura (la altura de los árboles, el número de plantas en un área dada y cómo las plantas de diferente tamaño se distribuyen en el espacio); diversidad (cantidad de especies y distribución de sus abundancias, es decir, del número de individuos de cada especie) y composición (identidad de las especies); así como las condiciones ambien-

tales, incluyendo las climáticas (temperatura, humedad del aire y del suelo, cantidad y calidad de la radiación que llega al suelo, entre otras) y las condiciones del suelo (cantidad, calidad y fertilidad).

La recuperación de todas estas características ocurre durante el proceso de barbecho (periodo de descanso del cultivo y de desarrollo y recuperación de la vegetación original), que las y los ecólogos denominan sucesión secundaria; es decir, los cambios en la estructura, diversidad, composición y ambiente que ocurren en la vegetación después de que esta es alterada (Chazdon, 2014).

Este proceso (llámese barbecho o sucesión secundaria) es lo que permite la recuperación de la vegetación y de la fertilidad del suelo, sin las cuales no podría mantenerse el cultivo de la milpa. Esto es algo que los agricultores y agricultoras mayas han sabido y es, en gran parte, lo que ha permitido que la milpa maya haya subsistido de manera casi ininterrumpida durante más de dos milenios (Gómez-Pompa & Kaus, 1999; Faust, 2001; Barrera-Bassols & Toledo, 2005).

En este sentido, el barbecho constituye una forma (pasiva) de manejo forestal crucial e indispensable, el cual sustenta todas las demás prácticas forestales y todo el sistema de la milpa. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, para que la vegetación que ha sido alterada (e.g. a través del proceso de roza-tumba-quema y posterior siembra y cultivo) pueda recuperar la estructura, diversidad, composición y condiciones ambientales originales, es fundamental contar con zonas de reserva forestal suficientemente amplias y bien conservadas que puedan servir como fuente de semillas, dispersores de

estas, así como polinizadores y muchas otras funciones y procesos naturales (Gibson et al., 2011; Barlow et al., 2016).

Tanto la vegetación secundaria (aquella que se desarrolla después del abandono del cultivo a través del proceso de sucesión secundaria) como la vegetación madura (presente en las reservas forestales), pueden y suelen ser activamente manejadas en beneficio de las familias y comunidades que practican la milpa (González-Cruz et al., 2015). Lo que se debe tener en cuenta y tratar de garantizar, es que las prácticas de manejo forestal no pongan en riesgo o limiten la capacidad de regeneración natural de los bosques o selvas originales. El sistema de la milpa, así como la provisión de numerosos servicios ambientales o ecosistémicos (todos los bienes, servicios y beneficios que obtiene la sociedad de la naturaleza, tales como la provisión de madera, leña, alimentos, productos medicinales, la regulación del clima, la purificación del aire y del agua, el control de plagas y enfermedades, el control de la erosión y el mantenimiento de la fertilidad del suelo, entre otros) dependen de la regeneración del bosque (Balvanera et al., 2016). Es decir, se trata de lograr un manejo forestal sostenible que permita conservar la diversidad biológica (o biodiversidad) existente en los bosque o selvas, así como sus diversos procesos naturales y funciones, a la vez que se hace uso de estos. En otras palabras, el manejo forestal sostenible implica un uso múltiple de los bosques o selvas que tiene como meta la producción sostenida de diversos productos y servicios sin menoscabar su diversidad, composición, estructura, procesos y funciones (Kates et al., 2001).

La población maya de la península de Yucatán realiza diversas prácticas de manejo forestal basadas en el conocimiento tradi-

cional ancestral de los recursos naturales, tanto en las zonas de barbecho como en las zonas de reserva forestal (González-Cruz et al., 2015). Estas prácticas forestales incluyen, entre otras: la recolección de leña, la producción de miel y la extracción de productos forestales para diferentes usos, tales como alimentos, medicinas, artesanías y materiales para construcción (Kantún-Balam, 2005).

Todas estas prácticas son potencialmente sostenibles, dado que, si se realizan de manera adecuada, no comprometen el mantenimiento de la diversidad forestal, sus procesos y funciones. Sin embargo, si se realizan de manera muy intensiva, frecuente o extensa, pueden afectar negativamente la diversidad, estructura, composición y funcionamiento de las selvas, comprometiendo su capacidad de regeneración y su persistencia (Guariguata, 2009).

La recolección de leña como combustible para cocinar está muy extendida en las zonas rurales de Yucatán, incluyendo la zona milpera maya (Quiroz-Carranza et al., 2009). Esta práctica puede ser sostenible si se rea-

liza de manera moderada, enfocándose en el material leñoso caído (tallos y ramas) sin eliminarlo por completo, dado que cumple una función importante como almacén de carbono y nutrientes que se reincorporan al suelo lentamente a través del proceso de descomposición y como hábitat de varias especies de animales vertebrados e invertebrados, y de hongos y bacterias, muchas de las cuales participan en este importante proceso (Prause et al., 2002; Ayral et al., 2015).

También se puede recolectar material leñoso en pie, preferiblemente tallos y ramas que ya estén muertos para no afectar la supervivencia de las plantas de las que forman parte. Algunas de las características que presentan las especies de mayor calidad para este uso, son el poseer una alta densidad de la madera y corteza delgada con bajo contenido de agua o que pueda desprenderse fácilmente para reducir la cantidad de humo (Kantún-Balam, 2005). En el **Cuadro 4.1** se enlistan las especies de árboles más utilizadas para leña en tres sitios de la península de Yucatán, según estudios realizados en el CICY.

Cuadro 4.1. Lista de especies de árboles más usados para leña en El Palmar (selva baja caducifolia), Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo (FCP, selva mediana subperennifolia); y Kaxil Kiuic (selva mediana subcaducifolia, ubicada dentro de la zona milpera).

Familia	Nombre científico	El Palmar	FCP	Kaxil Kiuic
Anacardiaceae	<i>Metopium brownei</i>	x	x	
Boraginaceae	<i>Bourreria pulchra</i>		x	x
	<i>Cordia gerascanthus</i>	x		x
	<i>C. alliodora</i>		x	
	<i>C. dodecandra</i>		x	
	<i>Ehretia tinifolia</i>			x

Familia	Nombre científico	El Palmar	FCP	Kaxil Kiuc
Bignoniaceae	<i>Tabebuia guayacan</i>	x		
Ebenaceae	<i>Diospyros anisandra</i>	x		x
	<i>D. cuneata</i>	x	x	x
	<i>D. verae-crucis</i>		x	x
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum rotundifolium</i>	x	x	x
Euphorbiaceae	<i>Croton arboreus</i>	x		
	<i>C. glabellus</i>			x
	<i>C. reflexifolius</i>		x	x
Fabaceae	<i>Acacia collinsii</i>	x		
	<i>A. gaumeri</i>			x
	<i>A. pennatula</i>		x	x
	<i>Apoplanesia paniculata</i>	x		x
	<i>Apoplanesia</i> sp.		x	
	<i>Bauhinia divaricata</i>	x	x	x
	<i>Caesalpinia gaumeri</i>	x	x	x
	<i>Caesalpinia mollis</i>	x	x	
	<i>Chloroleucon mangense</i>	x	x	x
	<i>Lonchocarpus longistylus</i>		x	x
	<i>L. rugosus</i>	x		
	<i>L. rugosus</i>		x	x
	<i>L. xuul</i>	x	x	x
	<i>L. yucatanensis</i>			x
	<i>Diphysa carthagenensis</i>	x	x	x
	<i>Gliricidia sepium</i>		x	x
	<i>Havardia albicans</i>	x		
	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	x	x	x
	<i>Mimosa bahamensis</i>	x		x
	<i>Piscidia piscipula</i>	x	x	x
<i>Platymiscium yucatanum</i>	x	x	x	
<i>Senna atomaria</i>	x		x	

Familia	Nombre científico	El Palmar	FCP	Kaxil Kiuic
Lamiaceae	<i>Vitex gaumeri</i>	x	x	x
	<i>Cornutia pyramidata</i>		x	
Lauraceae	<i>Nectandra salicifolia</i>		x	
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>			x
	<i>Luehea candida</i>			x
	<i>L. speciosa</i>		x	
Malpighiaceae	<i>Malpighia emarginata</i>	x		
	<i>M. glabra</i>			x
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>		x	
Myrtaceae	<i>Eugenia axillaris</i>			x
	<i>E. buxifolia</i>			x
	<i>Psidium sartorianum</i>		x	x
Olacaceae	<i>Schoepfia schreberi</i>			x
Polygonaceae	<i>Coccoloba acapulcensis</i>		x	x
	<i>C. diversifolia</i>			x
	<i>C. spicata</i>		x	x
	<i>Gymnopodium floribundum</i>	x	x	x
	<i>Neomillspaughia emarginata</i>	x	x	x
Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i>		x	
	<i>C. elliptica</i>	x		x
	<i>C. greggii</i>			x
	<i>Karwinskia humboldtiana</i>			x
	<i>Krugiodendron ferreum</i>		x	x
Rubiaceae	<i>Cosmocalix spectabilis</i>		x	
	<i>E. caribaeum</i>		x	x
	<i>E. mexicanum</i>	x		x
	<i>Guettarda combsii</i>		x	x
	<i>G. elliptica</i>	x		x
	<i>G. gaumeri</i>			x
	<i>Randia longiloba</i>	x	x	x

Familia	Nombre científico	El Palmar	FCP	Kaxil Kiuc
Sapotaceae	<i>Pouteria reticulata</i>		x	
	<i>Chrysophyllum mexicanum</i>		x	
	<i>Manilkara zapota</i>		x	
	<i>Sideroxylon foetidissimum</i>		x	
Sapindaceae	<i>Melicoccus oliviformis</i>		x	x
	<i>Thouinia paucidentata</i>	x	x	x
Simaroubaceae	<i>Alvaradoa amorphoides</i>			x

Aunque el estado de Yucatán, en particular la zona milpera, tiene una baja aptitud para la extracción de madera con fines comerciales (POEGT Yucatán, 2012), se han implementado algunas prácticas de manejo para la extracción de madera, así como de materiales para la construcción de casas tradicionales mayas (Sanabria, 1986).

Estas prácticas tienen un mayor impacto en la diversidad y composición de especies, así como en la capacidad de regeneración de las selvas, dado que, por lo general, involucran la muerte de varios individuos, generalmente en edad reproductiva, por lo que deben realizarse de manera muy controlada y bien regulada evitando la sobreex-

plotación de las poblaciones de las especies (Putz et al., 2008).

La palmera *Sabal yapa* (guano), especie muy valorada para la construcción de techos, es un claro ejemplo de las consecuencias negativas de la sobreexplotación, ya que esta se ha extinguido en varias localidades del estado debido a su sobreexplotación (Caballero-Nieto et al., 2001), a pesar de que solamente se utilizan las hojas y se podría explotar sin comprometer la supervivencia de la planta. En un estudio realizado en Tixcacaltuyub (Kantún-Balam, 2005), se identificaron 47 especies de plantas usadas para la construcción de casas tradicionales mayas (**Cuadro 4.2**).

Cuadro 4.2. Usos de especies de plantas para la construcción de casas tradicionales mayas, según información proporcionada por los habitantes de Tixcaltuyub, Yucatán (Kantún-Balam, 2005).

No.	Especie (nombre científico)	Usos de las especies vegetales																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	<i>Acacia gaumeri</i>				x													
2	<i>Acacia pennatula</i>	x	x		x													
3	<i>Alvaradoa amorphoides</i>		x													x		
4	<i>Ardisia escallonioides</i>												x					
5	<i>Arrabidaea floribunda</i>																x	
6	<i>Bauhinia divaricata</i>												x					
7	<i>Bourreria pulchra</i>		x							x		x						
8	<i>Caesalpinia gaumeri</i>	x	x		x		x					x						
9	<i>Caesalpinia vesicaria</i>	x			x													
10	<i>Caesalpinia violacea</i>	x	x	x	x					x	x		x	x				
11	<i>Cedrela odorata</i>																x	
12	<i>Coccoloba cozumelensis</i>		x				x				x							
13	<i>C. spicata</i>		x	x							x		x	x				
14	<i>Cordia dodecandra</i>																x	
15	<i>Croton glabellus</i>		x	x				x		x	x		x	x				
16	<i>C. reflexifolius</i>																x	
17	<i>Diospyros cuneata</i>																x	
18	<i>D. schippii</i>		x														x	
19	<i>Diphysa carthagenensis</i>	x			x		x	x			x						x	
20	<i>Eugenia capuli</i>			x														
21	<i>Eugenia sp.</i>						x				x							
22	<i>Exostema caribaeum</i>		x	x			x	x		x	x		x					
23	<i>Gliricidia sepium</i>	x	x		x												x	
24	<i>Guettarda elliptica</i>				x													
25	<i>Haematoxylum campechianum</i>	x	x		x			x										
26	<i>Hampea trilobata</i>										x						x	
27	<i>Havardia albicans</i>	x	x		x													
28	<i>Helicteres baruensis</i>					x			x			x		x				
29	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i>																x	
30	<i>Jacquinia sp.</i>		x	x						x			x					
31	<i>Lonchocarpus xuul</i>		x	x		x						x		x				
32	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	x															x	x

No.	Especie (nombre científico)	Usos de las especies vegetales																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
33	<i>Machaonia lindeniana</i>										x							
34	<i>Malmea depressa</i>					x			x			x						
35	<i>Metopium brownei</i>		x												x	x		
36	<i>Mimosa bahamensis</i>	x			x									x				
37	<i>Neomillspaughia emarginata</i>										x			x				
38	<i>Piscidia piscipula</i>	x	x		x										x			
39	<i>Pithecellobium mangense</i>	x													x			
40	<i>Platymiscium yucatanum</i>	x													x			
41	<i>Psidium sartorianum</i>			x			x											
42	<i>Sabal japa</i>																	x
43	<i>Senna atomaria</i>	x			x			x										
44	<i>Senna racemosa</i>	x	x		x			x			x							
45	<i>Thouinia paucidentata</i>	x	x	x				x		x	x		x					
46	<i>Vitex gaumeri</i>										x							
47	<i>Zuelania guidonia</i>																x	

Notas:

1	Orcón	10	<i>Winkinche'</i>
2	Balo	11	Jiles
3	<i>Kahnaj pach nah</i>	12	<i>Honakche'</i>
4	<i>Ocomoy</i>	13	Bajareque
5	<i>Jalache'</i>	14	Marco de puerta
6	Tisera	15	Puerta
7	<i>Kabak</i>	16	<i>Anil kab</i>
8	<i>Kajnah kopomoy</i>	17	Techo
9	<i>Belcho'</i>		

Es importante tomar en cuenta que la disponibilidad de especies forestales para los diferentes usos varía con la edad sucesional o tiempo de barbecho. Por ejemplo, en el **Cuadro 4.3** se muestran las especies con diferentes usos presentes en rodales de una selva mediana subcaducifolia de diferente edad sucesional en Tixcaltuyub (Kantún-Balam, 2005). Como puede apreciarse en este caso, y por regla general, las selvas de mayor edad albergan un mayor número de especies e individuos de mayor tamaño, por lo que son una fuente muy importante de productos forestales.

Cuadro 4.3. Especies de plantas registradas en diferentes edades de sucesión (tiempos de barbecho: 5, 20 y 40 años) en Tixcacaltuyub, Yucatán, su valor de importancia relativa (VIR, calculado en función de la abundancia, frecuencia y tamaño de las plantas) y usos (Kantún-Balam, 2005).

No.	Especie (nombre científico)	VIR 5	VIR 20	VIR 40	Usos
1	<i>Chamaecrista glandulosa</i>	3.43	--	--	Melífera
2	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i>	2.45	--	--	Melífera, medicinal
3	<i>Cordia cilindostrachia</i>	2.45	--	--	Medicinal
4	<i>Eupatorium odoratum</i>	2.25	--	--	Melífera, medicinal
5	<i>Randia gaumeri</i>	1.98	--	--	--
6	<i>Turnera difusa</i>	1.96	--	--	Medicinal
7	<i>Sebastiania adenophora</i>	1.38	--	--	--
8	<i>Guettarda</i> sp.	1.24	--	--	Construcción
9	<i>Viguiera dentata</i>	0.99	--	--	Melífera, forrajera
10	<i>Lantana urticifolia</i>	0.98	--	--	--
11	<i>Solanum hirtum</i>	0.98	--	--	Medicinal
12	<i>Jatropha gaumeri</i>	--	3.80	--	Medicinal
13	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	--	2.24	--	Construcción, melífera
14	<i>Bourreria oxyphylla</i>	--	1.36	--	Construcción
15	<i>Senna atomaria</i>	--	1.20	--	Melífera
16	<i>Acacia pennatula</i>	--	1.11	--	Construcción, melífera
17	<i>Casearia nitida</i>	--	1.10	--	--
18	<i>Abutilon</i> sp.	--	1.08	--	--
19	<i>Randia longiloba</i>	--	1.08	--	--
20	<i>Thouinia paucidentata</i>	--	--	7.17	Construcción
21	<i>Acacia gaumeri</i>	--	--	5.67	Construcción, melífera, leña
22	<i>Sapindus saponaria</i>	--	--	4.64	Construcción
23	<i>Zuelania guidonia</i>	--	--	3.78	Construcción
24	<i>Aphelandra deppeana</i>	--	--	3.72	--
25	<i>Coccoloba acapulcensis</i>	--	--	3.44	Construcción, leña
26	<i>Psychotria microdon</i>	--	--	2.62	--
27	<i>Byrsonima crassifolia</i>	--	--	2.15	Alimenticia

No.	Especie (nombre científico)	VIR 5	VIR 20	VIR 40	Usos
28	<i>Malmea depressa</i>	--	--	2.07	Construcción, medicinal
29	<i>Karwinskia calderoni</i>	--	--	2.02	Construcción
30	<i>Vitex gaumeri</i>	--	--	1.84	Construcción, melífera
31	<i>Bursera schlechtendali</i>	--	--	1.72	Construcción
32	<i>Brosimum alicastrum</i>	--	--	1.59	Forrajera, alimenticia
33	<i>Jacquinia</i> sp.	--	--	1.53	Construcción
34	<i>Cordia gerascanthus</i>	--	--	1.50	Construcción
35	<i>Plumeria obtusa</i>	--	--	1.26	Ornamental
36	<i>Nopalea cochenellifera</i>	--	--	1.15	--
37	<i>Phitecoctenium crucigerum</i>	--	--	0.94	--
38	<i>Tecoma stans</i>	--	--	0.94	Medicinal, ornamental
39	<i>Cydista potosina</i>	--	--	0.93	--
40	<i>Astrocacia phyllantoides</i>	--	--	0.92	--
41	<i>Cordia</i> sp.	--	--	0.92	--
42	<i>Cydista diversifolia</i>	--	--	0.92	Artesanal
43	<i>Pisonia aculeata</i>	--	--	0.92	--

4.3 Mantenimiento de especies prioritarias en zonas de reserva federal comunitaria

En las zonas milperas de Yucatán existe un mosaico de entornos ambientales que multiplica y mantiene la biodiversidad animal y vegetal, las cuales son especies que tienen usos variados para la comunidad. En estas zonas los árboles son los que aportan la mayor biomasa en las reservas forestales, pero, además, tienen usos para construcción, ritual, combustible, cercas vivas, forraje y muchos más. Otras formas de vida (herbáceas, arbustos, bejucos, lianas, suculentas) son igualmente valiosas para las comuni-

dades con usos como alimenticias, melíferas, medicinales, artesanales, ornamentales, entre otras (Terán & Rasmussen, 2009).

Como se ha señalado anteriormente, la diversidad de plantas y animales es muy importante para el bienestar de los seres humanos y está estrechamente relacionada con la salud del bosque. Las plantas requieren de luz, agua y nutrientes minerales, además de dióxido de carbono para crecer. Los árboles al crecer hacia lo alto proveen sombra para otras formas de vida (y posiblemente nutrientes minerales y agua del suelo), pero también soporte para los bejucos y las epífitas.

Este crecimiento vertical de los árboles suministra muchos sitios y alimentos para la vida de muchos animales, como insectos, aves, reptiles, anfibios, mamíferos y muchos microorganismos del suelo, como bacterias y hongos (Lodge et al., 1996; Cayuela & Gran-zow-de la Cerda, 2012). Todo este crecimiento armónico de vida en los bosques maduros es sumamente importante, no solo para las comunidades aledañas, sino para la región por el papel que juegan en el ciclo del agua y en la mitigación al cambio climático (Arellano-Martín & Andrade, 2016; León-Palomo & Andrade, 2016; Fernández-Molina et al., 2020).

Por otra parte, así como nosotros usamos las plantas del bosque como medicinales, los animales utilizan diferentes especies como alimento o para sus nidos, que les proporcionan beneficios a la salud. De hecho, los alimentos de la milpa, de sus solares y de la carne de monte son alimentos funcionales de calidad excepcional (Terán & Rasmussen, 2009; Durán & Méndez, 2010; Flores, 2012). Asimismo, los diferentes animales y plantas tienen alimentos balanceados, por lo que

difícilmente virus, bacterias y protozoarios provocan muertes masivas o reducción de sus poblaciones.

La actividad de la milpa es también importante para enriquecer la vida de los bosques. Esto es porque algunas hierbas y arbustos requieren más luz para crecer y completar su ciclo de vida y los sitios de descanso de la milpa son ideales para estas formas de vida. De hecho, plantas de crecimiento rápido, y que por lo tanto requieren más agua y luz, proporcionan flores y frutos en un periodo corto (época de lluvias) y mantienen muchos animales, como las abejas y otros insectos (y, estos a su vez, a aves y reptiles). Por lo tanto, la itinerancia de la actividad milpera engrandece la biodiversidad de la región (Durán & Méndez, 2010).

Las especies de plantas consideradas prioritarias en zonas de manejo forestal son muchas, pero algunas de las especies de árboles más importantes de diferentes bosques de Yucatán y de las zonas milperas, se mencionan en el **Cuadro 4.4**.

Cuadro 4.4. Árboles y palmeras de selvas del sur de Yucatán y sus usos. Los nombres comunes fueron obtenidos del *Listado Florístico* de W. J. Hayden (Hayden, 2010), del *Listado Florístico de Kaxil Kuic* (Trejo-Torres et al., 2014) y proporcionados por don Evelio Uc (Com. Pers.).

Nombre común	Nombre científico	Usos
<i>Abal ak'</i>	<i>Spondias mombin</i> L.	Comestible, maderable, melífera, medicinal
<i>Jobo</i>	<i>S. radlkoferi</i> Donn. Sm.	Cercas, combustible
<i>Nicté ch'oom</i>	<i>Plumeria obtusa</i> L.	Medicinal, ornamental
<i>X-opi ka'ax</i>	<i>Annona reticulata</i> L.	Comestible, melífera, medicinal
<i>E'elemuy</i>	<i>Malmea depressa</i> (Baillon) R.E. Fr.	Maderable, medicinal
<i>Sak e'elemuy</i>	<i>Sapranthus campechianum</i> (Kunth) Standl.	Combustible

Nombre común	Nombre científico	Usos
Ak' its	<i>Cascabela gaumeri</i> (Hemsl.) Lippold	Medicinal, ornamental
K'anlol	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Medicinal, ornamental
Chu'um	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Cerca viva, medicinal, ornamental, melífera
Baka ché	<i>Bourreria pulchra</i> (Millsp.) Millsp.	Medicinal, melífera, utensilio, combustible, construcción
Box kopté	<i>Cordia dodecandra</i> DC.	Comestible, maderable, medicinal, utensilio
Sak kopte	<i>Bourreria oxyphylla</i> Standl.	Construcción
Beek	<i>Ehretia tinifolia</i> L.	Combustible, maderable, ornamental, medicinal
Tres marías	<i>Forchhemmeria trifoliata</i> Radlk.	Forraje
Chakaj	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Artesanal, insecticida, fibra, medicinal
Put ch' iich	<i>Carica papaya</i> L.	Comestible, medicinal
K'uun che	<i>Jacaratia mexicana</i> A. DC.	Comestible, medicinal
	<i>Hemiangium excelsum</i> (Kunth) A.C. Sm.	Combustible
Chun lok	<i>Hippocratea excelsa</i> Kunth	Comestible, ornamental, combustible, melífera
Pukté	<i>Albizia tomentosa</i> (Micheli) Standlt.	Maderable, melífera
K'ak'alché	<i>Diospyros anisandra</i> S.F. Blake	Comestible, maderable, melífera, utensilio
Sak siliil	<i>Diospyros cuneata</i> Standl.	Construcción, melífera
Box siliil	<i>Diospyros verae-crucis</i> (Standl.) Standl.	Comestible, melífera, construcción, utensilio, maderable
Box e'elemuy, Box sibul	<i>Diospyros yatesiana</i> Standl.	Melífera
Ikché	<i>Erythroxylum rotundifolium</i>	Construcción
P'eresk'uts, P'eresk'uch	<i>Croton glabellus</i> L.	Medicinal, melífera
Kuxu ché, k' u linché	<i>Croton lundelli</i> Standl.	Melífera
Pomol ché	<i>Jatropha gaumeri</i> Greenm.	Forraje, medicinal

Nombre común	Nombre científico	Usos
Subin	<i>Acacia collinsii</i> Saff.	Combustible, medicinal, melífera
Box katsim	<i>Acacia gaumeri</i> S.F. Blake	Combustible, forraje, medicinal, cerca viva, maderable, melífera
Ch'imay	<i>Acacia pennatula</i> (Schltl. & Cham.) Benth.	Comestible, forraje, melífera
Ki'ik ché	<i>Apoplanesia paniculata</i> C. Presl	Construcción, maderable, melífera
Sak ts'uru'tok	<i>Bauhinia divaricata</i> L.	Maderable
Cola de gallo	<i>Bauhinia jenningsii</i> P. Wilson	Construcción, medicinal, melífera
Box ts'uru'tok	<i>Bauhinia unguolata</i> L.	Maderable
Kitinché	<i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm.	Combustible, medicinal, melífera, ornamental
Chakte 'viga	<i>Caesalpinia mollis</i> (Kunth) Spreng.	Construcción, maderable
Tak'inché	<i>Caesalpinia yucatanensis</i> Greenm.	Maderable, melífera, ornamental
Ya'ax eek	<i>Chloroleucon mangense</i> (Jacq.) Britton & Rose	Construcción, maderable
Ts'u'ts'uk	<i>Diphysa carthagenensis</i> Jacq.	Combustible, melífera, construcción, medicinal
Pich	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Comestible, maderable, medicinal, melífera, ornamental
Chak mo'ol ché	<i>Erythrina standleyana</i> Krukoff	Artesanal, comestible, cerca viva, medicinal, ornamental
Waxim	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Forraje, insecticida, medicinal, melífera
K'anasin	<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth.	Combustible, melífera, maderable, medicinal
Xuul	<i>Lonchocarpus xuul</i> Lundell	Construcción, utensilio, maderable, melífera
Tsalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	Combustible, cerca viva, cortiente, construcción, maderable, medicinal, melífera, sombra
Sak katsim	<i>Mimosa bahamensis</i> Benth.	Combustible, medicinal, melífera
Ja'abin	<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	Construcción, melífera, maderable, medicinal

Nombre común	Nombre científico	Usos
Ts'iuché	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Comestible, medicinal, maderable, forraje, ornato, melífera
Subinché	<i>Platymiscium yucatanum</i> Standl.	Maderable, medicinal
Tu'ja'ché	<i>Senna atomaria</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby	Medicinal
Lo'obché	<i>Cornuta pyramidata</i> L.	Medicinal, melífera
Ya'axnik	<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.	Forraje, maderable, medicinal, melífera
Box sipché	<i>Bunchosia grandulosa</i> (Cav.) DC.	Medicinal, ritual
Sak sipché	<i>Bunchosia swartziana</i> Griseb.	Medicinal, ritual
X-ox'ak	<i>Gaudichaudia albida</i> Schltld. & Cham.	Construcción
Wayakté	<i>Malpighia glabra</i> L.	Medicinal
Wayum ak'	<i>Tetrapteryx seleriana</i> Nied.	Melífera
Ya'ax ché	<i>Ceiba pentandra</i> Gaertn.	Medicinal, melífera, ritual, utensilio
Pi'im	<i>Ceiba schottii</i> Britten & Baker f.	Comestible, cerca viva, fibra, forraje, utensilio
Pixoy	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Combustible, medicinal, forraje, ornato, melífera, utensilio
Jool	<i>Hampea trilobata</i> Standl.	Construcción, medicinal, melífera
Sutup	<i>Helicteres baruensis</i> Jacq.	Artesanal, construcción, melífera, medicinal
Joolol	<i>Heliocarpus donellsmithii</i> Rose	Melífera
K'ascaat	<i>Luehea candida</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Mart.	Construcción, melífera
Kakaw ché	<i>Luehea speciosa</i> Willd.	Construcción, melífera, medicinal, utensilio
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Insecticida, maderable, medicinal
Ch'oben ché	<i>Trichilia hirta</i> L.	Insecticida, maderable
Oox	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Forraje, comestible, maderable, medicinal
Moras	<i>Chlorophora tinctoria</i> (L.) Gaudich. ex Benth.	Colorante, cerca viva, maderable, melífera

Nombre común	Nombre científico	Usos
Koopo	<i>Ficus cotinifolia</i> Kunth.	Medicinal, sombra
Sak loob	<i>Eugenia buxifolia</i> Lam.	Melífera
Pichi'ché	<i>Psidium sartorianum</i> (O. Berg) Nied.	Comestible, forraje, maderable, medicinal, melífera
Ta'tsi	<i>Neea psychotrioides</i> Donn. Sm.	Colorante, melífera
Sak beek	<i>Schoepfia schreberi</i> J.F. Gmel.	Comestible, medicinal
Ixi'imché	<i>Phyllanthus acuminatus</i> Vahl.	Medicinal, melífera
	<i>Ph. liebmannianus</i> Müll. Arg.	Melífera
Tojyub	<i>Coccoloba acapulcencis</i> Standl.	Maderable, melífera
	<i>C. barbadensis</i> Jacq.	Maderable, medicinal, melífera
Boob	<i>C. spicata</i> Lundell	Maderable, medicinal
Ts'i'ts'ilché	<i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe	Forraje, maderable, melífera, ornamental
Sak its'a	<i>Neomillspaughia emarginata</i> (H. Gross) S.F. Blake	Construcción, forraje, melífera
Bel sinik ché	<i>Alvaradoa amorphoides</i> Liebm.	Maderable, medicinal, melífera, utensilio
X pukin	<i>Colubrina greggii</i> S. Watson	Combustible, melífera, construcción, medicinal
Lu'umche'	<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Zucc.	Forraje, construcción
Chintok'	<i>Krugiodendron ferreum</i> (Vahl) Urb.	Forraje, maderable, medicinal
Ja'as ché	<i>Alseis yucatanensis</i> Standl.	Maderable, melífera
Box sabakché	<i>Exostema cariabeum</i> (Jacq.) Roem. & Schult.	Construcción, melífera
Chak sabakché	<i>Exostema mexicanum</i> A. Gray	Medicinal
Tasta' ab	<i>Guettarda combsii</i> Urb.	Construcción, utensilio
Box subin t'eel	<i>G. elliptica</i> Sw.	Forraje, melífera
K'anam	<i>Hamelia patens</i> Jacq.	Medicinal, ornamental

Nombre común	Nombre científico	Usos
<i>K'uch'el</i>	<i>Machaonia lindeniana</i> Baill.	Maderable, medicinal, melífera
<i>Xpech kitam</i>	<i>Randia aculeata</i> L.	Medicinal, melífera
<i>K'axi</i>	<i>R. longiloba</i> Hemsl.	Comestible, medicinal, ritual
<i>Sak cruz k'iix</i>	<i>R. obcordata</i> S. Watson	Colorante, melífera, ritual, utensilio
<i>Yuy</i>	<i>Casimiroa tetrameria</i> Millsp.	Forraje, medicinal, melífera
<i>Chot ché, Ixi'imché</i>	<i>Casearia corymbosa</i> Kunth	Forraje, medicinal, melífera, ritual
<i>Sak ta'amay, zapote amarillo</i>	<i>Laetia thamnia</i> L.	Maderable, melífera, ritual
<i>Box ta'amay</i>	<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton & Millsp.	Forraje, medicinal, melífera, utensilio
<i>Xik'bach</i>	<i>Allophylus cominia</i> (L.) Sw.	Medicinal, melífera
<i>Wayam</i>	<i>Talisia oliviformis</i> (Kunth) Radlk.	Combustible, colorante, comestible, forraje, medicinal, melífera
<i>X-muyché</i>	<i>Bumelia retusa</i> Sw.	Comestible, maderable, medicinal, melífera
<i>Ya</i>	<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	Comestible, maderable, ornamental
<i>Caracolillo</i>	<i>Sideroxylon foetidissimum</i> Jacq.	Combustible, forraje, maderable
<i>Kaapoch, X-kaapoch</i>	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Humb. ex Roem. & Schult.) T.D. Penn.	Combustible, melífera, ornamental
<i>Kaan ché</i>	<i>Phyllostylon brasiliense</i> Capan. ex Benth. & Hook. f.	Combustible, melífera
<i>Guarumbo</i>	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol	Medicinal
<i>Guarumbo</i>	<i>Cecropia peltata</i> L.	Medicinal
<i>Cocoyol, Tuk</i>	<i>Acrocomia mexicana</i> Karw.ex Mart.	Comestible, cerca viva, medicinal
<i>Xiat</i>	<i>Chamaedorea seifrizii</i> Burret	Medicinal, ornamental
<i>Huano, Xa'an</i>	<i>Sabal japa</i> C. Wright ex Becc.	Comestible, medicinal, construcción, forraje, melífera, utensilio

Las especies prioritarias para mantener en las zonas de reserva dependerán en parte de los usos que brinden a las comunidades, de manera que se podrían priorizar con base en la cantidad o el tipo de uso, según las prioridades de uso y manejo que identifique cada comunidad. Además, como se indicó anteriormente, es deseable mantener especies que permitan almacenar grandes cantidades de carbono por largos periodos, para de esta manera contribuir a mitigar el cambio climático y, eventualmente, poder acceder al mercado de bonos de carbono como pago por dicha contribución (López-Toache et al., 2016).

En este sentido, las especies que más carbono pueden almacenar por un tiempo prolongado son las de mayor tamaño y densidad de la madera, las que, además, suelen ser especies de alto valor maderable (ver el **Cuadro 4.4**). Aunque muchos usos son compatibles y pueden reforzar el valor prioritario de las especies (por ejemplo, plantas medicinales, melíferas y comestibles), es importante tener en cuenta que algunos usos pueden ser incompatibles con otros. Por ejemplo, las especies que se utilizan como combustible liberan dióxido de carbono a la atmósfera durante su combustión (Quiroz-Carranza et al., 2009), lo cual, lejos de mitigar el calentamiento global, lo agrava. Por otra parte, esto no necesariamente ocurre con las especies maderables, si estas son usadas para la construcción de casas o muebles, dado que, en este caso, buena parte del carbono almacenado en la biomasa seguirá almacenado por largos periodos de tiempo (Skog, 2008), en lugar de ser consumido y liberado a la atmósfera, como sí ocurre con la leña que se emplea como combustible. Sin embargo, se deben considerar los impactos de todo el ciclo de

vida de los productos maderables, incluyendo su tiempo de descomposición, los desechos y las emisiones asociadas al procesamiento y transporte de estos (Ingerson, 2011).

4.4 Referencias

- Arellano-Martín, F., & Andrade, J. L. (2016). Aspiradoras verdes: captura de carbono en bosques tropicales. *Biodiversitas*, 125, 1-7. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/12752.pdf>
- Ayral, D. R., De Jong, B. H. J., Ochoa-Gaona, S., Mendoza-V, J., & Esparza-Olguín, L. (2015). Successional and seasonal variation in litterfall and associated nutrient transfer in semi-evergreen tropical forests of SE Mexico. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 103, 45–60. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9719-0>
- Balvanera, P., Armendáriz-Arnez, C., & Tauro, A. (Coords.). (2016). Los servicios ecosistémicos. En P. Balvanera, J. E., Arias-González, R. Rodríguez-Estrella, L. Almeida-Leñero, & J. J. Schmitter-Soto (Eds.), *Una mirada al conocimiento de los ecosistemas de México* (pp. 229–340). Universidad Nacional Autónoma de México. <http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/1954>
- Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Nally, R. M., Thomson, J. R., De Barros Ferraz, S. F., Louzada, J., Oliveira, V. H. F., Parry, L., De Castro Solar, R. R., Vieira, I. C. G., Aragão, L. E. O. C., Begotti, R. A., Braga, R. F., Cardoso, T. M., De Oliveira, R. C., Souza Jr., C. M., ... Gardner, T. A. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, 535, 144-147. <https://doi.org/10.1038/nature18326>

- Barrera-Bassols, N., & Toledo, V. M. (2005). Ethnoecology of the yucatec maya: Symbolism, Knowledge and Management of Natural Resources. *Journal of Latin American Geography*, 4(1), 9-41. <https://www.jstor.org/stable/25765087>
- Caballero-Nieto, J., Martínez, A., & Gama, V. (2001). El uso y manejo tradicional de la palma de guano en el área maya de Yucatán. *Biodiversitas*, 39, 1-6. http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/biodiver39.pdf
- Cayuela, L., & Granzow-de la Cerda, I. (2012). Biodiversidad y conservación de bosques neotropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 1-5. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/7>
- Chazdon, R. L. (2014). *Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation*. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Cortés-Calderón, S., Mora, F., Arreola-Villa, F., & Balvanera, P. (2021). Ecosystem services supply and interactions along secondary tropical dry forests succession. *Forest Ecology and Management*, 482, 118858. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118858>
- Dupuy, J. M., Hernández-Stefanoni, J. L., Hernández-Juárez, R. A., Tetetla-Rangel, E., López-Martínez, J. O., Leyequién-Abarca, E., & May-Pat, F. (2012). Patterns and correlates of tropical dry forest structure and composition in a highly replicated chronosequence in Yucatan, Mexico. *Biotropica*, 44(2), 151-162. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00783.x>
- Durán, R., & Méndez, M. (2010). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Faust, B. (2001). Maya Environmental Successes and Failures in the Yucatan Peninsula. *Environmental Science and Policy*, 4(4-5), 153-169. [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(01\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(01)00026-0)
- Fernández-Molina, D., Andrade, J. L., & Cejudo, E. (2020). Los árboles ¿verdaderos dioses de la lluvia? *Biodiversitas*, 152, 7-11. https://www.researchgate.net/publication/348235965_LOS_ARBOLES_VERDADEROS_DIOSES_DE_LA_LLUVIA
- Flores, J. S. (2012). *Huertos familiares de la Península de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Galicia, L., Saynes, V., & Campo, J. (2015). Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473-484. <https://doi.org/10.17129/botsci.66>
- Gibson, L., Lee, T. M., Koh, L. P., Brook, B. W., Gardner, T. A., Barlow, J., Peres, C. A., Bradshaw, C. J. A., Laurance, W. F., Lovejoy, T. E., & Sodhi, N. S. (2011). Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*, 478, 378-381. <https://doi.org/10.1038/nature12933>
- Gómez-Pompa, A., & Kaus, A. (1999). From pre-Hispanic to Future Conservationist Alternatives: Lessons from Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 5982-5986. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5982>

- González-Cruz, G., García-Frapolli, E., Casas-Fernández, A., & Dupuy-Rada, J. M. (2015). Responding to disturbances: lessons from a Mayan social-ecological system. *International Journal of the Commons*, 9(2), 831-850. <https://doi.org/10.18352/ijc.571>
- Cuariguata, M. R. (2009). El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. *Revista de Estudios Sociales*, 32, 98-113. <http://journals.openedition.org/revestud-soc/16572>
- Hayden, W. J. (2010). *Flora of Kaxil Kiuic versión 2.0*. [<http://chalk.richmond.edu/flora-kaxil-kiuic/index-kiuic%20checklist.html>] (accedida el 1 de septiembre, 2020).
- Hernández-Stefanoni, J. L., Castillo-Santiago, M. A., Andrés-Mauricio, J., Portillo-Quintero, C. A., Tun-Dzul, F., & Dupuy, J. M. (2021). Carbon stocks, species diversity and their spatial relationships in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Remote Sensing*, 13(16), 3179. <https://doi.org/10.3390/rs13163179>
- Ingerson, A. (2011). Carbon storage potential of harvested wood: summary and policy implications. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16, 307-323. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9267-5>
- Kantún-Balam, J. M. (2005). *Diagnóstico de la vegetación secundaria de Tixcacaltuyub, Yucatán y opciones de manejo basadas en la estructura y composición de especies*. Tesis de maestría en Ciencias en Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., McCarthy, J. J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N. S., Kasperson, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., ... Svedlin, U. (2001). Sustainability Science. *Science*, 292(5517), 641-642. <https://www.jstor.org/stable/3083523>
- León-Palomo, M. A., & Andrade, J. L. (2016). ¿El agua que usamos en Yucatán viene de las selvas? *Bioagrocencias*, 9(1), 17-22.
- Lodge, D. J., Hawksworth, D. L., & Ritchie, B. L. (1996). Microbial diversity and tropical forest functioning. En G. H. Orians, R. Dirzo, & J. H. Cushman (Eds.), *Biodiversity and ecosystem processes in tropical forests* (pp. 69-100). Springer-Verlag.
- López-Toache, V., Romero-Amado J., Toache-Bertolini, G., & García-Sánchez, S. (2016). Bonos de carbono: financiarización del medioambiente en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 25(47), 190-214. <https://www.redalyc.org/pdf/417/41744004008.pdf>
- Mace, M., Norris, G., Ken, H., & Fitter, A. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>
- POEGT Yucatán. (2012). Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio. *Diario Oficial del Estado de Yucatán*, 7 de septiembre de 2012. <http://bitacoraordenamiento.yucatan.gob.mx/archivos/poegt.pdf>

- Prause, J., Lifschitz, A. P., Dalurzo, H. C., & Agudo, D. E. (2002). Leaf litterfall and decomposition in a forest of the Chaco argentino. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33, 19-20. <https://doi.org/10.1081/CSS-120015913>
- Putz, F. E., Sist, P., Fredericksen, T., & Dykstra, D. (2008). Reduced-impact logging: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 256(7), 1427–33. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.036>
- Quiroz-Carranza, J., Cantú-Gutiérrez, C., Díaz-Jiménez, R., & Orellana-Lanza, R. (2009). *Uso de la leña en Yucatán y tecnología para su aprovechamiento sustentable*. Asociación Red Verde y Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.
- Sanabria, O. L. (1986). *El uso y manejo forestal en la comunidad de Xul, en el sur de Yucatán. Etnoflora Yucatanense*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Skog, K. (2008). Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States. *Forest Products Journal*, 58(6), 56–72. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/31171>
- Strassburg, B. B., Kelly, A., Balmford, A., Davies, R. G., Gibbs, H. K., Lovett, A., & A. S. Rodrigues. (2010). Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems. *Conservation Letters*, 3(2), 98-105. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2009.00092.x>
- Terán, S., & Rasmussen C. (2009). *La milpa de los mayas: la agricultura de los mayas prehispánicos y actuales en el noreste de Yucatán* (2nd ed.). Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad de Oriente.
- Trejo-Torres, J. C., Hayden, W. J., Pasos-Enríquez, R. M., Carvajal-Mejía, L. A., & Callaghan J. M. (2014). *Catálogo de la Flora de Kaxil Kiuic*. Kaxil Kiuic A.C. y Programa de Pequeñas Donaciones – FMAM-México – PNUD.

