

Manejo Agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao

Orlando López Báez, Sandra Isabel Ramírez González,
Saúl Espinosa Zaragoza, José Luis Moreno Martínez,
Carmen Ruiz Bello, Juan Manuel Villarreal Fuentes,
Jorge Luis Rojas



Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao

© 2012 Primera edición impresa Universidad Autónoma de Chiapas

© 2015 Primera edición digital Universidad Autónoma de Chiapas

Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao

ISBN: 978-607-8363-67-4

©Orlando López Báez, autor
©Sandra Isabel Ramírez González, autor
©Saúl Espinosa Zaragoza, autor
©José Luis Moreno Martínez, autor
©Carmen Ruiz Bello, autor
©Juan Manuel Villarreal Fuentes, autor
©Jorge Luis Ruiz Rojas, autor
©Universidad Autónoma de Chiapas, México

Contacto: olopez.baez@gmail.com

Fotografía de Portada: Orlando López Báez

Diseño de Portada: Gabriel Velázquez

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; México Febrero 2015

www.espacioimasd.unach.mx

CONTENIDO

1 EL CACAO EN MÉXICO

- 1.1. Características de las zonas de cultivo del cacao en México

2 AGROECOLOGÍA DEL CACAO

- 2.1. Requerimientos agroecológicos de la planta de cacao
 - 2.1.1. Precipitación
 - 2.1.2. Humedad relativa
 - 2.1.3. Temperatura
 - 2.1.4. Luminosidad
 - 2.1.5. Altitud
 - 2.1.6. Vientos
 - 2.1.7. Suelos y topografía
 - 2.1.8. El pH
 - 2.1.9. Sombreamiento
- 2.2. El cacao: un sistema agroforestal
 - 2.2.1. Importancia de producir Cacao en un Sistema Agroforestal
- 2.3. Ecofisiología de la producción en una plantación de cacao
- 2.4. El papel de la sombra

3 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA PLANTA DE CACAO

- 3.1. La extracción de nutrientes en una plantación de cacao
- 3.2. Síntomas de deficiencias nutricionales
 - 3.2.1. Síntomas de deficiencias de nitrógeno

- 3.2.2. Síntomas de deficiencias de potasio
- 3.2.3. Síntomas de deficiencias de fosforo
- 3.2.4. Síntomas de deficiencias de azufre
- 3.2.5. Síntomas de deficiencias de magnesio
- 3.2.6. Síntomas de deficiencias de calcio
- 3.2.7. Síntomas de deficiencias de boro
- 3.2.8. Síntomas de deficiencias de zinc
- 3.2.9. Síntomas de deficiencias de hierro
- 3.2.10. Síntomas de deficiencias de molibdeno

4 EL MANEJO AGROECOLÓGICO DEL SUELO

- 4.1. El manejo ecológico del suelo
- 4.2. El suelo y la materia orgánica
- 4.3. La teoría de la trofobiosis

5 EL MANEJO DE LA NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DEL CACAO

- 5.1. Las fuentes de alimentos para los suelos y las plantas de cacao
 - 5.1.1. El agua y el CO₂
 - 5.1.2. La restitución por el reciclaje del cacao y la sombra
 - 5.1.3. Las reservas minerales del suelo
 - 5.1.3.1 Interpretación de los resultados de un análisis de suelo
 - 5.1.4. La síntesis microbiana
 - 5.1.5. La aplicación de abonos orgánicos y minerales
 - 5.1.6. La aplicación de enmiendas para corregir la acidez del suelo

6 LA ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

- 6.1. Los abonos orgánicos fermentados sólidos
 - 6.1.1. Propiedades de los Abonos Orgánicos.

- 6.1.1.1 Propiedades físicas
- 6.1.1.2 Propiedades químicas
- 6.1.1.3 Propiedades biológicas
- 6.1.2. La elaboración de composta
- 6.1.3. El bocashi
- 6.2. Los abonos orgánicos fermentados líquidos
- 6.2.1. Abono líquido aeróbico
- 6.2.2. Abono líquido anaeróbico
- 6.2.2.1 Biofertilizante líquido básico anaeróbico
- 6.2.2.2 El caldo super 4
- 6.2.2.3 El caldo Magro
- 6.2.2.4 Caldos microbiales
- 6.3. La producción de vermicomposta
- 6.3.1. Importancia de las lombrices de tierra
- 6.3.2. La técnica de cultivar lombrices
- 6.3.3. Humus de lombriz
- 6.3.4. La producción de humus de lombriz
- 6.3.4.1 Tipos de lombrices para la descomposición de la materia orgánica
- 6.3.4.2 Construcción de infraestructura o módulo integral
- 6.3.4.3 Pie de cría
- 6.3.4.4 Alimentación
- 6.3.4.5 Manejo y cuidados del criadero
- 6.3.4.6 Aplicación de lombricomposta en cacao

7 RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA EL MANEJO ORGÁNICO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL CACAO

8 BIBLIOGRAFÍA

9 GALERÍA DE IMÁGENES

1. EL CACAO EN MÉXICO

El cacao *Theobroma cacao* L. perteneciente a la familia Esterculiáceas, es una planta originaria de América tropical, es un árbol pequeño que alcanza alturas entre cuatro y ocho metros. El producto de valor comercial de esta especie es la semilla y constituye la base de alimentos consumidos bajo el nombre de chocolate; las semillas de cacao contienen, además, entre un 40 y 50 de grasa que es utilizada en las industrias chocolatera y farmacéutica. Hasta ahora ha sido la única especie del género *Theobroma* explotada por siglos comercialmente para abastecer de materia prima a la industria.

En América, el cacao se encuentra distribuido desde el sur de México hasta la región del Amazonas en una gran diversidad de ambientes que ha propiciado plantaciones con una gran diversidad de materiales genéticos, producto de procesos de domesticación y adaptación a condiciones climáticas muy particulares. El cacao, como cultivo es nativo de México y en la actualidad existen plantadas 61,344.25 ha ubicadas en los estados de Tabasco, Chiapas, Guerrero y Oaxaca. El SIAP de la SAGARPA (2011) reporta que el estado de Tabasco cuenta con la mayor superficie sembrada, con el 67.25%, seguido de Chiapas con el 32.32% y la superficie restante se ubica en los estados de Oaxaca y Guerrero.

Los estados de Tabasco y Chiapas producen alrededor de 27,000 toneladas de cacao seco, sin embargo, las características de cacao fino, ubican a México en un lugar preponderante sobre los grandes productores de cacao en el mundo. Desde el punto de vista agroecológico, las plantaciones de cacao constituyen agroecosistemas que por su estructura y función se asemejan al ecosistema tropical húmedo, se considera por lo tanto que este cultivo posee un alto valor ecológico contribuyendo a la conservación de los recursos naturales del trópico. Dada la condición del cacao de ser una planta poco tolerante a altas exposiciones solares se han desarrollado propuestas de cultivo en

sistemas agroforestales donde además del cacao se aprovechan otros productos, pero donde las necesidades de nutrición y manejo del agroecosistema cambian.

1.1 Características de las zonas de cultivo del cacao en México

En México, las regiones productoras de cacao están localizadas entre las coordenadas 14º 33' a 18º 40' de latitud norte y 92º 08' a 94º 06' de longitud oeste. Según se aprecia en el Cuadro 1, en éstos se diferencian los tipos de clima Af, Am y Aw que según la clasificación de koeppen modificada por García corresponden a los climas cálido-húmedos con variaciones en la cantidad y distribución de la lluvia.

Cuadro 1. Características climáticas de las principales zonas productoras de cacao en México.

Región	La Chontalpa, Tabasco	Sierra de Tabasco y centro - norte de Chiapas	El Soconusco, Chiapas
Tipo de clima	Am	Af	Aw
Precipitación media anual en mm	1800	3900	3500
Temperatura media anual	26	26	25.6
Distribución de la lluvia en meses	10 - 11	11	7

En las planicies del golfo de México en el estado de Tabasco y en la Sierra centro - norte de Chiapas la lluvia media anual varía de 1800 a 3900 mm, distribuidos en los meses de mayo a marzo con una pequeña estación seca.

En el Soconusco, en la costa pacífica de Chiapas, la precipitación media anual es de 3500 mm que se distribuyen de mayo a noviembre. Las temperaturas promedio son similares en las tres regiones y fluctúan alrededor de 26°C. Las máximas que se registran son 32°C en la Chontalpa, Tabasco y 40°C en el Soconusco, Chiapas. Los suelos predominantes donde se cultiva el cacao son del grupo fluvisol, en menor importancia destacan los del grupo andosol en el Soconusco, Chiapas, y luvisol en la sierra de ambos estados. La topografía varía desde plana en las partes bajas hasta ondulada en las estribaciones de la sierra.

La distribución de la cosecha en el año está estrechamente asociada a la distribución de la lluvia. Por esta razón, en el Soconusco, Chiapas, la cosecha principal se presenta de octubre a enero, mientras que en Tabasco y norte de Chiapas la cosecha se encuentra distribuida en tres períodos; el primero en abril-junio, el segundo en agosto-septiembre y el tercero y último de octubre a febrero; esta última se considera la más importante por el volumen de producción que se obtiene.

En el cuadro 2 se presentan los registros de precipitación y temperatura en cinco municipios productores de cacao del estado de Chiapas.

Temperatura

Localidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tapachula	35	36	36	37	35	34	34	33	33	34	34	34
Huehuetán	36	36	36	36	37	35	36	36	35	36	36	36
Tuxtla Chico	33	33	34	35	36	33	33	33	32	32	33	32
Tecpatán	26	27	31	34	34	32	30	30	29	28	27	25
Pichucalco	30	32	38	38	38	37	38	36	35	33	33	29

Precipitación

Localidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tapachula	0.6	1.8	19	30	258	297	253	375	388	276	79	24
Huehuetán	0	37	37	17	151	186	105	157	241	111	12	0
Tuxtla Chico	30	90	42	100	475	467	469	486	565	550	123	22
Tecpatán	100	96	42	60	75	220	145	146	278	289	135	114
Pichucalco	212	227	61	34	438	481	142	624	589	331	539	410

Cuadro 2. Temperaturas promedio (°C) y lluvia mensual (mm) en cinco municipios productores de cacao del estado de Chiapas.

2. AGROECOLOGÍA DEL CACAO

El Cacao (*Theobroma cacao* L.) se encuentra en condiciones naturales como un componente de la selva tropical perennifolia en países de América latina. En este ecosistema, se encuentra en equilibrio biológico con el resto de componentes existentes; no obstante, este equilibrio se puede alterar permitiendo a la planta desarrollar todo su potencial y alcanzar mejores rendimientos, es decir, que en la medida que se logra una mayor adaptabilidad, respuesta a la nutrición y al manejo de la plantación con la modificación del ambiente, se obtendrán mejores cosechas. Los factores externos, internos y las interacciones influyen sobre la fisiología del cacao, dificultando la estimación de la influencia del ambiente sobre su producción y calidad. Puesto que el cacao es originario de la selva tropical americana, las mejores condiciones para su cultivo deberían parecerse al entorno climático de las poblaciones silvestres. Sin embargo, son varias las experiencias que muestran que se puede obtener buenos rendimientos en plantaciones cultivadas en entornos ambientales muy diferentes al de las poblaciones nativas (Cope, 1979; Hardy, 1960; León, 1987; Enríquez, 1985). El crecimiento y el desarrollo del cacao están determinados por factores ambientales como la temperatura, la luz, la precipitación, la humedad relativa y otros, que varían de acuerdo a la zona de cultivo. Esta variación hace que su comportamiento sea diferente en cada sitio y en ocasiones el entorno climático afecta directamente la fenología del cultivo. De los factores ambientales, la disponibilidad de energía y agua juegan un papel clave en la producción, ya que tienen fuerte influencia sobre los procesos físicos y bioquímicos necesarios para el desarrollo de las plantas.

Desde el punto de vista Agronómico, para el establecimiento y manejo de plantaciones de cacao es importante considerar el factor ambiental y su relación con el crecimiento, la floración, la fructificación y la aparición de algunas enfermedades que causan daños a la planta y a las cosechas, por lo que en la práctica se hace

necesario satisfacer los requerimientos mínimos de precipitación, humedad relativa temperatura, luminosidad, suelos y altitud.

El cacao es una planta muy sensible a la falta de humedad del suelo por esto es importante una buena distribución de la lluvia a través del año, los suelos deben presentar un drenaje perfecto, la humedad relativa debe ser mayor al 70%. Los suelos más apropiados para el cultivo del cacao, son los suelos aluviales de textura franca (franco arcillo, franco arenosa o arenosa arcillosa); sin embargo, se ha observado una gran adaptabilidad a suelos en laderas con pendientes mayores a 25% aún con afloramiento rocoso en un rango muy amplio de reacción del suelo entre (pH = 4.0 - 7.5), por ejemplo en algunas regiones productoras de países como Colombia, Perú y Ecuador. También los suelos de regiones accidentadas pueden aprovecharse para el cultivo del cacao en laderas (Cope, 1979; Hardy, 1960; León, 1987; Enríquez, 1985).

Aunque la altitud constituye un factor secundario y no es tan determinante como lo son los factores climáticos y edafológicos para el buen crecimiento del cacao, es importante tener en consideración que esta especie crece mejor en las zonas tropicales cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud. Sin embargo, en latitudes cercanas al ecuador las plantaciones se desarrollan normalmente en mayores altitudes que van del orden de los 1,000 a 1,400 msnm. Respecto al rol que desempeñan los árboles de sombra, se ha planteado que el cacao es una especie adaptada a la sombra, pero también se ha demostrado que el cacao no es específicamente un árbol de sombra. Investigaciones relacionadas con la densidad de flujo fotónico, han demostrado que las plantas de cacao de los dos tipos genéticos Criollo y Forastero, y el híbrido entre estos dos tipos (Trinitario) se saturan a densidades de flujo fotónico comprendidas entre 400 a 600 $\mu\text{mol m}^2/\text{s}$, intensidades que equivalen a un 25 - 30% de la radiación máxima en un día despejado.

Esta información demuestra la necesidad de proporcionar sombreado a las plantas de cacao tanto en etapa de

crecimiento como de producción. Un aspecto relevante de la poca tolerancia del cacao a altas radiaciones por parte del cacao, es el tiempo de vida promedio de las hojas que se ha estimado que es de 450 y 250 días en plantas bajo sombra o a plena exposición solar, respectivamente (Alvim, 1977; Almeida y Valle, 2007). Se resalta que necesariamente las plántulas de cacao deben ser sembradas bajo sombra parcial, en la cual las plantas mantienen mayores concentraciones de clorofila que influye en mayores tasas de asimilación de CO₂. Un aspecto importante, ya descrito para otros cultivos, es la variabilidad de respuestas que se pueden encontrar en los diferentes cultivares ante variaciones de los diferentes parámetros como lo es la temperatura y luz y disponibilidad de agua (Alvim, 1959; 1960; 1977). El punto crucial en sombra es la intensidad que debe haber alrededor de las plantas de cacao y esto es importante ya que afecta otros factores microclimáticos como la temperatura, la humedad relativa, evaporación y disponibilidad de agua en el suelo además de factores que influyen en la fertilidad de la plantación como velocidades de incorporación de hojarasca que sumados afectan tanto el crecimiento del cacao como su producción.

2.1. Requerimientos agroecológicos de la planta de cacao

2.1.1. Precipitación

El cacao es un cultivo que requiere para un crecimiento y una producción óptima, de una alta humedad relativa; por esta razón la lluvia representa uno de los factores más importantes del ambiente que condiciona a este cultivo. Dada esta sensibilidad a la escasez de agua pero también al encharcamiento, el cacao requiere de suelos provistos de un buen drenaje. Un encharcamiento o estancamiento prolongado puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo (Alvim, 1977; Cope, 1979; Hardy, 1960; León, 1987; Enríquez, 1985).

La cantidad óptima de lluvia para satisfacer las necesidades del cacao oscila entre 1800 y 2500 mm al año, con una buena distribución en el año. Los periodos de sequía por más de tres meses resultan perjudiciales para la planta. Los requerimientos de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o en los valles altos. La disponibilidad de agua, junto con sus variaciones, durante la época del año, es el principal factor responsable de las diferencias en la producción de cacao observadas de una región a otra.

Es importante tener en cuenta que una buena distribución de las lluvias es más conveniente para las relaciones ecofisiológicas y la producción de cacao, que una precipitación estacionaria en cualesquiera de los dos semestres. En aquellas zonas donde es muy prolongada la estación seca, y se concentran las lluvias en un corto tiempo, puede ocurrir una reducción de las cosechas por incidencia en la floración, en el cuajamiento de frutos y en el desarrollo de las mazorcas. Al comparar los datos de precipitación y temperatura con la producción de cacao en las diferentes regiones de cacao de América, se observa un ciclo de producción de frutos que sigue una curva más o menos estable para cada región en particular, sobresaliendo dos picos de cosecha durante el año, que coincide con los meses posteriores a las altas precipitaciones.

En otro sentido, precipitaciones que excedan los 2,600 mm pueden afectar la producción del cultivo de cacao.

2.1.2. Humedad relativa

El ambiente ideal para el cacao es aquel en donde la humedad relativa predominantemente es alta; un promedio de 70 a 80% de humedad relativa es el más adecuado. Sin suficiente agua en el suelo las plantas se benefician de una alta humedad relativa en la atmósfera, circunstancia que restringe la transpiración foliar excesiva (Braudeau, 1970). Los niveles de humedad relativa

superiores al 70% favorecen el establecimiento del cacao después del trasplante, y una media de 75 a 80% parece ser la humedad relativa más conveniente para el cultivo. Pero valores superiores al 85%, combinados con abundante precipitación y altas temperaturas, estimulan la presencia de enfermedades fungosas como la escoba de bruja y la moniliasis (Enríquez, 1985), que causan grandes pérdidas en las cosechas.

2.1.3. Temperatura

Para un buen crecimiento del cacao, la temperatura media debe oscilar entre 20 y 30°C, la temperatura media anual óptima para el cacao se sitúa alrededor de 25°C y no debe ser inferior a 21°C. Las temperaturas extremas muy altas, superiores a 35°C, pueden afectar momentáneamente las funciones del árbol, aunque el efecto de las altas temperaturas es disminuido por el sombreado. En cuanto al límite inferior, la media mínima diaria debe ser superior a 15°C y la mínima absoluta nunca inferior a 10°C; el cacao no soporta temperaturas bajo cero, aunque sea por poco tiempo. la temperatura mínima no debe descender de 15°C. La mejor temperatura es aquella en la cual el promedio de la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas en una región no pasa de 9°C (Alvim, 1977; Cope, 1979; Hardy, 1960; León, 1987; Enríquez, 1985).

Los niveles de temperatura son adecuados para el cultivo en las proximidades de la línea ecuatorial y a baja altitud. Aunque existen plantaciones comerciales con buenos rendimientos en ambientes con temperatura promedio de 23°C.

En las zonas productoras donde no se observan cambios bruscos de temperatura en las diferentes épocas del año y donde la media es de 25°C., se observa una producción casi continua de frutos de cacao durante el año; sin embargo, en zonas altas donde existen diferencias de temperatura entre el día y la noche o en diferentes épocas del año, el crecimiento vegetativo, el desarrollo de los frutos y la floración se ven afectados. En diversas investigaciones se ha observado que existe una correlación entre la temperatura

baja y la reducción en el desarrollo del tejido leñoso o cambium y una baja intensidad de floración, así mismo, cuando hay una gran cantidad de frutos en la planta disminuye la floración, debido posiblemente, al efecto depresivo de la abundancia de frutos.

En el desarrollo de los frutos, la temperatura influye, de manera positiva, se observa un crecimiento más rápido cuando las temperaturas son altas y se necesita un periodo más corto para la maduración del fruto lo cual ocurre entre 140 y 175 días; cuando los frutos se desarrollan en periodos fríos la maduración se prolonga hasta los 170 días. En sí, el cacao no soporta temperaturas bajas, siendo su límite medio anual de temperatura los 21°C ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja.

La temperatura determina la formación de flores. Cuando ésta es menor de 21°C la floración es menor que a 25°C, donde la floración es normal y abundante. Esto provoca que en determinadas zonas la producción de mazorcas sea estacional y durante algunas semanas no haya cosecha. La temperatura también influye sobre el desarrollo de los frutos que en los meses más calurosos maduran entre 140 y 175 días, mientras que en los más fríos, la maduración ocurre entre 167 y 205 días (Alvim, 1977; Cope, 1979; Hardy, 1960; León, 1987; Enríquez, 1985; Hunter, 1990).

Las temperaturas extremas definen los límites de altitud y latitud para el cultivo de cacao. La absorción del agua y de los nutrientes por las raíces de la planta del cacao está regulada por la temperatura. Un aspecto a considerar es que a temperaturas menores de 15°C la actividad de las raíces disminuye. Las temperaturas altas afectan las raíces superficiales de la planta del cacao limitando su capacidad de absorción, por lo que se recomienda proteger el suelo con la hojarasca existente. Del mismo modo, la rápida descomposición de la materia orgánica en el suelo a través de la oxidación y en presencia de la humedad está determinada por la temperatura. Por otra parte, las altas temperaturas afectan las funciones de la planta, entre ellas la

floración y desarrollo foliar que se restringen con temperaturas superiores a 30°C (Hardy, 1960). La fuerte interacción genotipo - ambiente respecto a la expresión de la floración, dificulta la evaluación de la influencia de la temperatura (Enríquez, 1985). La pérdida de la dominancia apical es otro síntoma del exceso térmico (Braudeau, 1970; Enríquez, 1985).

Las bajas temperaturas afectan la calidad de la manteca de cacao, porque son responsables de un aumento en la proporción de grasas no saturadas. Como resultado la manteca exhibe un bajo punto de fusión (Enríquez, 1985), una característica indeseable para la industria de los chocolates.

2.1.4. Luminosidad

El cacao es considerado una especie umbrofila, es decir requiere del sombreado durante toda su vida; la cual es proporcionada por los árboles de sombra. El grado de luz que la planta debe recibir está estrechamente relacionado, a la edad de la plantación, a la disponibilidad de agua y humedad ambiental, y al estado nutrimental del suelo. En regiones donde las nubes producen una capa que interfiere con los rayos luminosos se produce un efecto de sombreado natural y por lo tanto la luminosidad que llega al sistema es menor. Además, el efecto de la luminosidad puede ser regulado mediante una adecuada distribución de los árboles de sombra y del manejo mediante la poda tanto de los árboles de sombra como de los de cacao.

En plantaciones jóvenes, menores de cinco años, el cacao requiere de un 30% de luminosidad; en plantaciones adultas, conforme la planta crece y desarrolla una copa densa que favorece el autosombramiento, las necesidades de luminosidad aumentan a un 50 a 75%. Es importante tomar en cuenta que la luz directa del sol ocasiona daños a la planta de cacao, por lo que debe evitarse el establecimiento de cacaotales a plena exposición solar o con un sombreado deficiente.

No obstante, la luz es un factor ambiental de importancia para el desarrollo, la morfología y la fisiología del cacao, especialmente

para la fotosíntesis, la cual ocurre a baja intensidad aun cuando la planta este a plena exposición solar; en éste último punto los efectos de la radiación solar pueden considerarse bajo dos aspectos principales, los efectos térmicos y los de iluminación. Dentro de los efectos de la iluminación directa podemos mencionar que afecta tres procesos importantes de la planta, los cuales son: la fotosíntesis, el movimiento de los estomas y la expansión celular de ciertos tejidos (Alvim, 1977; Cope, 1979; Hardy, 1960; León, 1987; Enríquez, 1985).

El componente luminoso se relaciona con la fotosíntesis, la apertura estomática y crecimiento celular, entre otros procesos fisiológicos de las plantas. Los factores que influyen en la cantidad total de radiación que recibe una zona determinada son: la latitud, el tiempo y la nubosidad.

La latitud determina el número de horas de luz diaria que se recibe en un sitio directamente encima de la capa de nubes, es decir es el número de horas de luminosidad efectiva que llega a la superficie sin interferencia de las nubes.

La radiación recibida en el Ecuador al nivel del límite superior de la atmósfera, es casi constante durante el año. Pero la variación de la nubosidad influye sobre la cantidad e intensidad de la radiación fotosintéticamente activa que llega a las plantas, es decir aquella que se mueve en el rango de 400 a 700 nm (unidad de medida de la longitud de onda de cualquier tipo de radiación), es diferente para distintas zonas cacaoteras.

En la etapa de establecimiento del cultivo de cacao es recomendable la siembra de otras plantas para hacer sombra, debido a que las plantaciones jóvenes de cacao son afectadas por la acción directa de los rayos solares.

Para plantaciones ya establecidas, se considera que una intensidad lumínica menor del 50% del total de luz limita los rendimientos, mientras que una intensidad superior al 50% del total de luz los aumenta. Para su crecimiento normal, el cacao joven requiere de una sombra relativamente densa que permita el paso del 30 a 50% de la luminosidad total recibida en el sitio

(Enríquez, 1985), ya que a temprana edad las plantas no producen suficiente auto-sombreamiento.

Existe una relación estrecha entre la luminosidad y el sombreamiento que se le proporciona al cacao a través de los árboles de sombra. Entre los beneficios del sombreamiento se cuentan la regulación térmica de las hojas, que de otro modo transpirarían agua en exceso para atenuar y disipar el excedente de energía recibida y transformada en calor (Alvim, 1977; Cope, 1979; Hardy, 1960; León, 1987; Enríquez, 1985; Hunter, 1990).

Además, la sombra ejerce un efecto regulador de la temperatura del suelo que si se eleva demasiado, por ejemplo arriba de 38°C, deprime la actividad microbiana, actúa contra el rol absorbente de los pelos radicales y acelera la pérdida de humedad. Una vez desarrollado, el cacaotal se provee de autosombreamiento y en este escenario la intensidad lumínica media recibida por unidad de superficie foliar, disminuye sobre el conjunto del árbol. Por esta razón, a medida que crece la planta, es recomendable reducir progresivamente la sombra para permitir el paso del 70% de luminosidad, o más, si se trata de plantaciones sembradas con alta densidad y dotadas de copas densas que se trastocan en diversa medida (Braudeau, 1970). Sin embargo, es conveniente, para mejorar la funcionalidad de la plantación, individualizar cada árbol en su propio espacio, reduciendo al mínimo las interferencias con los árboles vecinos. En lugares con precipitación marcadamente estacional, si el cacao se cultiva a plena exposición solar, alcanzará máximos rendimientos únicamente combinando altas dosis de fertilización y la implementación del riego artificial. En caso contrario, la falta de sombra causará efectos depresivos sobre la producción (Braudeau, 1970; Enríquez, 1985; Wood y Lass, 1985) y la muerte a largo plazo de los árboles.

2.1.5. Altitud

El cacao es una planta que se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1,400 m sobre el mar, dependiendo del país y su ubicación en relación al Ecuador (Enríquez, 1985). En países cercanos al Ecuador, como Colombia, Ecuador y Perú, el rango óptimo se ubica entre 250 a 900 m sobre el mar. Sin embargo, a medida que las regiones productoras se alejan del Ecuador este rango se reduce, así por ejemplo en México el límite de altitud se ubica desde el nivel del mar hasta los 500 m sobre el mar; fuera de este límite altitudinal la fisiología de la planta se altera y se afecta el potencial productivo lo que se refleja en un menor rendimiento y baja rentabilidad para el agricultor.

2.1.6. Vientos

Los vientos fuertes producen efectos desfavorables en el cacao, ya que incrementan la evaporación y la transpiración, y en consecuencia pueden provocar la deshidratación y el marchitamiento de las hojas muy jóvenes lo que al final provoca defoliaciones en el árbol, ya que estas son extremadamente sensibles a los movimientos del aire. Dado que el viento es el factor que determina la velocidad de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo y de la planta, en las plantas expuestas continuamente a vientos fuertes se produce la defoliación o caída prematura de hojas. En regiones con frecuencia de vientos fuertes, es aconsejable establecer árboles que funcionen como cortinas rompe vientos.

La información del efecto de este factor sobre la producción y el comportamiento fenológico del árbol, es muy escasa; sin embargo, se ha observado a través de algunas investigaciones desarrolladas, que algunos cultivares tienen tolerancia a las corrientes de aire y su consecuente pérdida prematura de las hojas. En el cultivo de cacao queda muy difícil separar el efecto de los vientos de la radiación solar ya que el sombrero interfiere, profundamente, en estos dos factores. En plantaciones donde la velocidad del viento es del orden de 4 m/seg y el cacao tiene poca sombra, es frecuente

observar defoliaciones fuertes. El principal efecto de los vientos sobre el árbol de cacao es provocar una caída prematura de la hoja con su consecuente defoliación posiblemente por la pérdida excesiva de agua y el daño mecánico. El efecto de los vientos está muy relacionado con los arboles de sombra, recomendando la siembra de distintas especies arbóreas (frutales o maderables) que se disponen alrededor de los árboles de cacao y así proteger a las plantas de los vientos y de la radiación solar.

Por lo general, se estima que los niveles de radiación solar superiores a 250 calorías por centímetro cuadrado por día, causan pérdidas hasta del 23% en su producción cuando se protege en forma lateral el cultivo de cacao con sistemas de barreras y, de sólo el 2.6% de pérdidas cuando el cultivo se protege del viento y contra la radiación solar, lo cual sugiere que las plantaciones de cacao se deben proteger contra el viento y las altas radiaciones solares.

2.1.7. Suelos y topografía

Los suelos más apropiados para el cultivo del cacao, son los suelos aluviales de textura franca (franco arcillo, franco arenosa o arenosa arcillosa); sin embargo, se ha observado una gran adaptabilidad a suelos en laderas con pendientes mayores a 25% aún con afloramiento rocoso en un rango muy amplio de reacción del suelo entre (pH = 4.0 - 7.5). También se puede sembrar en laderas con manejo de coberturas establecidas a curvas de nivel.

Indicadores de un buen suelo para el cacao

De acuerdo con Wood y Lass (1985), Braudeau (1970) y Enríquez (1985), los suelos adecuados para el cacao son aquellos que presentan las siguientes características:

- Profundos (una profundidad efectiva superior a 1 m).
- Ricos en materia orgánica y nutrientes minerales.

- Capacidad de intercambio de bases (CIC) en la capa superficial, no menor de 12meq. /100 cc de suelo y en el subsuelo no menor de 5 meq./100 cc.
- Contenido medio de materia orgánica en los 15 cm superiores del perfil del suelo, no menor del 3.0% (1.5% de carbono orgánico).
- Que no presenten capas permanentes, dura, ni rocas continuas o terrones.
- Textura franca a arcillosa, los suelos arenosos no son recomendables para el cacao.
- Permeables es decir que tengan un buen drenaje o bien que sean fáciles de drenar con la ayuda de canales. En un suelo donde el agua no puede evacuarse rápidamente, las raíces se ahogan y la planta muere.
- pH en un rango de 6.0 a 7.5 en la capa superficial, sin ser excesivamente ácido (pH menor a 4.0) o alcalino (pH mayor a 8.0), hasta una profundidad de un metro. El incumplimiento de estos estándares, de ninguna manera quiere decir que allí no crecerá el cacao, pero es posible que se presenten problemas de nutrición difíciles de corregir.
- Pendiente no mayor del 30%; aunque el desarrollo de la planta no es afectado por la pendiente del suelo, en suelos con pendientes pronunciadas se presentan problemas para el manejo de la plantación, la cosecha, y además el consecuente riesgo de erosión.
- Saturación de bases en las capas sub-superficiales en un porcentaje que no sea inferior al 35% (a menos que la capacidad de intercambio de bases sea excepcionalmente alta).

La materia orgánica es uno de los elementos que favorece la nutrición del suelo y a través de ésta a la planta. Su contenido en el suelo influye en las condiciones físicas y biológicas de la plantación. Así mismo, favorece la estructura del suelo posibilitando que éste se desmenuce con facilidad, al mismo

tiempo, evita la desintegración de los gránulos del suelo por efecto de las lluvias. Otro factor importante de la materia orgánica es que constituye la reserva de los macro y microelementos del suelo que participan en forma activa en la nutrición de la planta. Producto de la descomposición de la materia orgánica en el suelo se obtiene el humus que constituye un depósito de calcio, magnesio y potasio entre otros elementos. Entre otras características que pueden servir de apoyo para evaluar el potencial de un suelo para establecer un cultivo de cacao se cuentan: la cantidad de hojarasca en la superficie, el espesor de la capa de suelo húmico y la porosidad de la capa inmediatamente inferior y la presencia de lombrices de tierra. No se recomienda la siembra de cacao en suelos pantanosos o anegadizos, con pendientes fuertes, pedregosos, poco profundos, infértiles y muy cercanos al mar por el riesgo de salinidad. El cacao es muy susceptible al problema de alta concentración de sales en el suelo.

2.1.8. El pH

Este término se refiere a la acidez que presenta un suelo y está directamente relacionado con la concentración del hidrógeno expresada mediante el parámetro denominado potencial de hidrógeno, es decir el "pH", que es dependiente de las concentraciones relativas de los cationes promotores de la acidez (Hidrogeno y Aluminio) y de las bases (Calcio, Magnesio y Potasio) adheridos a la superficie de las partículas de arcilla y coloides húmicos del suelo. La medida del pH se extiende en una escala que va de 1 a 14, un pH inferior a 7 es considerado ácido y superior a 7 es alcalino. En sistemas naturales los valores de pH se hallan generalmente en un intervalo de 4,5 a 10.

La acidez del suelo es provocada por el exceso de ciertos elementos llamados iones de hidrógeno que pueden tener diferentes causas. La realidad es que no hay nada malo con la acidez cuando ésta no impide el desarrollo del cultivo y los problemas que éste pueda presentar. El pH influye en las propiedades físicas y químicas del suelo. Las propiedades físicas

resultan más estables a pH neutro esto es a un valor de 7. A un pH ácido es decir por debajo de 7, hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. A diferencia en un pH alcalino, superior a 7, las arcillas se dispersan, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico.

La asimilación de nutrientes del suelo por la planta de cacao es afectada por el pH, ya que ciertos nutrientes no se encuentran disponibles para las plantas en determinadas condiciones de pH. La mayor disponibilidad de nutrientes se da a pH entre 6-7,5 pero esto depende de cada cultivo. Cada planta adquiere mayor vigor y productividad dentro de ciertos intervalos pH. Comúnmente la acidez del suelo indica la existencia de niveles muy bajos los de cationes principales Calcio (Ca), Potasio (K) y Magnesio (Mg) (Fassbender y Bornemisza 1987). La acidez del suelo o pH ideal para el cultivo del cacao se ubica entre 6 y 7, siendo 6,5 el pH óptimo. Sin embargo, el cultivo puede desarrollarse sobre suelos con reacción ácida pH con valores cercanos a 5 e incluso en suelos alcalinos con pH entre 7 y 8.

Desarrollo de la acidez del suelo

En muchos casos los suelos se vuelven ácidos porque la roca de donde se derivan es muy pobre en minerales a lo cual se agrega el efecto de las lluvias que provocan el lavado de los suelos. Para ser saludables, los suelos necesitan elementos como: Nitrógeno (N), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Fósforo (P), y de otros elementos. Los suelos ácidos están propensos a perder minerales por la lixiviación; entre más nutrientes son lixiviados mayor es la acidez. El pH sube al aumentar las concentraciones de bases y baja al incrementarse las concentraciones de Hidrogeno y Aluminio. La escala del pH varía de 0 a 14. En respuesta al pH, a medida que se aumenta la acidez del suelo se reduce la disponibilidad del Calcio, Magnesio, Molibdeno y el Fosforo, y se incrementa la del Hierro, Manganeso, Boro, Cobre y Zinc (Fassbender y Bornemisza 1987). La acidez también influye sobre la disponibilidad del Nitrógeno

que se hace más accesible a las plantas con un pH entre 6.0 y 7.0, rango que además es el mejor para la mayoría de los cultivos, entre ellos el cacao. Valores inferiores a 7 se traducen en diferentes intensidades de acidez, mientras que valores superiores representan diferentes grados de basicidad. Aunque el cacao es tolerante a la acidez, en el peor de los casos el pH para el cultivo no debería ubicarse debajo de 5.5. El pH es una de las mediciones químicas más importante que se puede hacer en un suelo. A pesar de su simplicidad, no sólo indica si el mismo es ácido, neutro o alcalino, sino que aporta información básica para conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes esenciales y la toxicidad de otros elementos. Permite predecir los cationes dominantes en los coloides del suelo y está involucrado en la retención de plaguicidas, factor importante al momento de evaluar la contaminación de los suelos y las aguas.

2.1.9. Sombreamiento

El objetivo del sombreamiento al inicio de la plantación es reducir la cantidad de radiación que llega al cultivo para reducir la actividad de la planta y proteger al cultivo de los vientos que la puedan perjudicar. Cuando el cultivo se halla establecido se podrá reducir el porcentaje de sombra hasta un 25 o 30%. La luminosidad deberá estar comprendida más o menos al 50% durante los primeros 4 años de vida de las plantas, para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas. Para el sombreamiento del cultivo se emplean arboles de altura superior a la del cacao, que son intercalados en el diseño de la plantación (Cuadro 3).

Los conceptos y conocimientos de las relaciones entre la radiación solar y los efectos fisiológicos sobre el cacao ha tenido gran evolución en los últimos años y, por lo, tanto existe bibliografía en la que se perciben puntos de vista relacionadas con el papel desempeñado por los arboles de sombra. Es muy importante tener en cuenta que la planta de cacao es una especie típica de sombra y que existen factores de su comportamiento relacionados con la

tolerancia de la planta a la sombra, y hasta ahora su mayor desempeño fisiológico se obtiene bajo sombra. Experiencias desarrolladas en diversos países, ayudan a clarificar el concepto de que no se pueden establecer plantaciones de cacao a plena exposición solar.

Cuando las plantaciones se desarrollan a plena exposición solar con precipitaciones adecuadas y se les proporciona los nutrientes de acuerdo con las exigencias y se protegen de los vientos, producen mayores volúmenes de cacao que aquellos cultivados bajo sombra en las mismas condiciones debido a la alta intensidad de fotosíntesis, pero la planta tiende a reducir sus producciones con un rápido envejecimiento. Desde este punto de vista, la explotación de cacao en aquellas zonas de fertilidad natural alta y con un flujo de capital adecuado puede tener una alta sostenibilidad económica, pero no se debe olvidar que el cacao, a plena exposición, puede presentar daños severos por el ataque de insectos y algunas enfermedades.

Teniendo en cuenta estos factores, se deben considerar especies para el sombreado tomando en cuenta conceptos ecológicos y económicos, interrelacionándolo con aspectos agronómicos y fisiológicos puesto que un sombreado moderado tiene ventajas que contribuyen a mejorar la estabilidad ecológica produciendo condiciones adecuadas para la reproducción y desarrollo de insectos polinizadores cuya escasez es supuestamente uno de los factores responsables de la baja productividad. En el Cuadro 3 se muestran algunas especies que pueden servir como plantas de sombra para el cacao.

Sabiendo que la radiación solar varía en forma considerable, en todas las zonas cacaoteras y por las posiciones fisiográficas de las plantaciones, se debe poner especial atención al establecimiento de árboles para el sombreado definitivo y permanente, su orientación y especies utilizadas (Figura 1).

Funciones de los árboles de sombreado en los cacaotales:

1. Regulan la cantidad de luz a entrar dentro de la plantación, protegiendo a las hojas contra el efecto directo del sol, evitándose el quemado foliar.
2. Proporcionan condiciones ambientales más estables, regulando la temperatura en el interior del cacaotal, lo que permite una descomposición de la materia orgánica en forma más lenta y por ende se disminuye el rango de temperatura diaria.
3. Al interceptar la lluvia, previenen la erosión y la pérdida de fertilidad del suelo, favorece la infiltración, mantiene la permeabilidad y aireación, ya que el cacao por sí mismo no asegura una cubierta suficiente.
4. Debido a la reducción de la temperatura favorece un aumento de la Humedad relativa.
5. Se disminuye la pérdida de agua por transpiración, esto se debe a que se reduce la presión de vapor dentro de la hoja con relación con la de la atmósfera.
6. Disminuyen la evaporación del suelo, conservándose la humedad en ellos.
7. Mantienen en cierto grado un control de las malezas.
8. Asegura una producción que sin alcanzar los rendimientos óptimos, permite una buena rentabilidad de la explotación.
9. Disminuye la incidencia de algunas enfermedades (*Phytophthora* y *Moniliophthora*) y principalmente de insectos plaga como el Trips.
10. Aportan nutrientes a través del reciclaje de la hojarasca, ramas, tallos, flores, frutos, etc.
11. Permiten un mejor aprovechamiento de los fertilizantes, ya que los que se perderían por lixiviación son aprovechados por los árboles de sombra, de raíces más profundas. Además, depositan hojas, flores y ramas, lo que mejora las propiedades físicas y químicas (materia orgánica) del suelo. La especie *Erythrina* utilizada con frecuencia para el sombreado, aporta entre un 3 a 6% de Nitrógeno, producto del reciclaje proporcionando al suelo el equivalente de unos 22,5 Kg/ha de

Nitrógeno. Otras plantas proporcionan sub-productos como madera, frutas, aceites y fibras.

Algunas Desventajas del sombreamiento

1. Disminuye o frena la producción, la cual sería mayor a plena exposición solar, pero esto ocurriría siempre y cuando todos los elementos minerales existan y estén disponibles, haya buena suplencia de agua y exista un buen control de plagas, malezas etc.
2. Pueden transmitir plagas y enfermedades.
3. Si presentan raíces superficiales, competirían, con el cacao, por agua y nutrimentos del suelo.
4. Contribuyen a la pérdida de agua por transpiración.
5. La emisión de rebrotes y la formación de hojas nuevas es menos frecuente.
6. La caída de ramas o tallos y/o el árbol completo puede ocasionar destrucción de los árboles de cacao.

Tipo de especies	Funciones y aprovechamiento
Leguminosas y otras especies de sombra y acompañantes del cultivo	<i>Gliricidia sepium</i> <i>Erythrina spp.</i> <i>Inga spp.</i> <i>Leucaena leucocephala</i> <i>Aspidosperma spp.</i>
Frutales	Mamey <i>Pouteria sapota</i> Cítricos <i>Citrus spp.</i> Aguacate <i>Persea americana</i> Rambután <i>Nephelium lappaceum</i> Plátano macho, banano, etc. <i>Musa spp</i> Cocotero <i>Cocos nucifera</i>
Maderables	Primavera <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Cedro <i>Cedrela odorata</i> Bojon o laurel <i>Cordia sp.</i> Melina <i>Gmelina arborea</i> Caoba <i>Swietenia macrophylla</i> Teca <i>Tectonis grandis</i> Guanacaste <i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Otras especies	Ornamentales: Heliconias Cingiberáceas, Follajes Pimienta <i>Pimienta dioica</i> Canela <i>Cinnamomun zeylanicum</i>

Cuadro 3. Algunas especies asociables en plantaciones de cacao de Chiapas, México

2.2. El cacao: un sistema agroforestal

El cacao es un sistema agroforestal (Enríquez, 1985; Fassbender *et al.*, 1988), esto es debido a la habilidad del cacao de crecer, desarrollarse y producir cosechas en asociación con otras especies para conformar sistemas agroforestales sustentables.

Un sistema agroforestal o SAF, es una área donde se combina un cultivo principal con otros cultivos, árboles y en algunas ocasiones animales.

Un sistema agroforestal tiene las siguientes ventajas:

1. Mejor aprovechamiento del suelo.
2. Protección del suelo.
3. Permite producir varios cultivos o productos en la misma parcela, por ejemplo Cacao + frutales + maderables + medicinales + ornamentales.
4. Aumentar los ingresos por la venta de cada uno de los productos.
5. Vender diversos productos de la parcela en diferentes épocas del año.
6. Sistema Agroforestal: estrategia de Conservación del ambiente.

2.2.1. Importancia de producir Cacao en un Sistema Agroforestal

El área donde se siembra el cacao puede aprovecharse al máximo estableciendo otros cultivos y árboles que ayuden a mejorar la nutrición del suelo y la economía de las familias campesinas especialmente antes que el cacao comience a producir. Entre los productos que se pueden obtener durante los tres primeros años de establecido el cacao se encuentran: maíz, frijol, gandul, yuca, banano y plátanos, entre otros. El establecimiento de cultivos temporales y anuales dentro de áreas de cacao, permite reducir costos de establecimiento y manejo en los primeros años de vida del cultivo debido a que producen en pocos meses y parte de la producción puede venderse para garantizar el manejo y enfrentar otras demandas del cultivo de cacao (Figura 2).

Los árboles dentro de un sistema agroforestal además de dar sombra a la planta de cacao, proporcionan otros beneficios como:

1. Madera
2. Leña
3. Frutas
4. Protección del suelo
5. Reciclan nutrientes provenientes de la hojarasca, ramas. Flores, frutos y otros residuos de plantas.
6. Favorece la biología del suelo
7. Producción de oxígeno para mejorar el aire que respiramos.

En los nuevos diseños de agroecosistemas, el cacao se integra a un sistema agroforestal que pudiera estar dividido en dos o tres estratos en función de los componentes del sistema. Estos sistemas constituyen complejos de interacción y funcionamiento que han demostrado ser una alternativa social, económica y de conservación en el medio tropical y han permitido diversificar la producción (Enríquez, 1985; Fassbender *et al.*, 1988).

En los trópicos se encuentran diferentes combinaciones de sistemas agroforestales que varían de acuerdo a la región, posibilidades económicas y factibilidad de mercado de los componentes del sistema, en la Figura 3 se parecía un sistema de cacao, café y árboles forestales. En la mayoría de las nuevas combinaciones agroforestales el manejo se ha realizado tomando como ejemplo experiencias de los sistemas agroforestales tradicionales, incluyendo la fertilización aplicada. En muchos casos se desconoce si los aportes nutricionales a través de fertilizantes complementan lo faltante, o si, al contrario son sobredosis y gastos innecesarios y para el caso de experiencias con cacao las evaluaciones con diferentes tipos de fertilización ha dado resultados que varían y que pueden ser debido a tipos de suelo, aplicaciones de fertilizaciones en diferentes momentos de disponibilidad de agua entre otros (Cabala, 1970).

Se ha planteado que altas cantidades de fertilizantes son necesarias en plantaciones de cacao sin sombra (Wood y Lass 1985; Enríquez, 1985; Fassbender *et al.*, 1988), en todo caso, la diversificación del sistema que incluya algunas especies que dan sombra al cacao y que tradicionalmente se les ha llamado sombra temporal como es el caso de las musáceas, con la combinación de especies maderables o con otro tipo de árbol frutal, además del cacao, son una alternativa económica para pequeños y medianos productores.

Existen pocas experiencias orientadas a evaluar el efecto de las especies asociadas al cultivo del cacao; considerando que algunas especies proporcionan sombreado pero existen otras cuya

producción es aprovechada por los productores como es el caso de especies como el café, el plátano, el rambután, la pimienta, el aguacate, los cítricos y arboles maderables. Ante esta biodiversidad con que se compone el agroecosistema cacao, es importante tener en cuenta el concepto de que el cacao, más que un monocultivo, representa un sistema complejo en donde es posible encontrar diversidad de plantas que acompañan al cacao. Cada especie, dependiendo de la preferencia de los productores, es observable diferencias en la altura, el tamaño y forma de la copa, la distribución de ramas y hojas, y los aportes al reciclaje, conceptos que definirán el tipo de plantación predominante en cada región. Esta combinación de especies puede dar diferentes ambientes, grados de sombreado, temperatura y humedad al interior de la plantación y aportes al mantenimiento de la fertilidad del suelo por el reciclaje conjunto del agroecosistema.

2.3. Ecofisiología de la producción en una plantación de cacao

Diversos estudios han demostrado que la capacidad productiva de cacao está controlada por tres factores: la capacidad de la fuente de fotoasimilados, el tamaño de la fuente de los mismos y su distribución en los diferentes órganos de la planta. La capacidad fotosintética de la planta de cacao se mide por la cantidad de CO₂ absorbida por la superficie de una hoja en la unidad de tiempo (mg de CO₂/m². S-1), la cual varía con la edad, posición y tipo de hoja (Almeida y Valle, 2007; Alvim, 1988; 1977; Baligar *et al.*, 2005; Hardy, 1060; Purseglove, 1977).

Comparativamente con otros cultivos tropicales, el cacao tiene una tasa fotosintética relativamente baja. Las hojas del cacao presentan varios estados de crecimiento durante su periodo de vida y su máximo potencial fotosintético es alcanzado a una edad aproximada de 20 días. El tamaño de la fuente de fotoasimilados o sea la capacidad que tiene la planta para producir los carbohidratos, está relacionada en forma directa con la arquitectura de la planta, el volumen de la copa, la cual se expresa

con frecuencia por el índice de área foliar (IAF), expresando esta como la relación entre la sumatoria del área foliar de todas las hojas de la planta y el área ocupada por la planta. A medida que el índice foliar es mayor, la planta tiene mayor capacidad fotosintética y por tanto, tendrá mayor capacidad para elaborar carbohidratos, producir mazorcas y emitir hojas nuevas. Al analizar los diferentes clones se observa que existe una gama de tamaño de hojas, arquitectura de la planta que le genera la capacidad para realizar la fotosíntesis y producir carbohidratos y almacenarlos en mazorcas y tejidos. En estudio de diferentes clones e híbridos de cacao desarrollados por Alvim (1977) y otros investigadores, ponen de manifiesto que los índices de área foliar varían entre los valores de 1.37 y 5.6. Este concepto se debe tener en cuenta para la realización de prácticas de manejo como la poda del árbol, puesto que, en la medida que la planta tenga una buena arquitectura y un índice de área foliar alto, tendrá, mayor capacidad para elaborar fotoasimilados.

La distribución de los carbohidratos producidos en los sitios de fabricación que son las hojas y la distribución hacia los sitios de crecimiento, brotes, flores, entre otras, y sitios de almacenamiento, se conoce como la capacidad que tienen las plantas de cacao para acumular elementos producto de la fotosíntesis. Se ha observado que la traslocación de fotoasimilados está relacionada, en forma indirecta, con la capacidad que tiene los cultivares para almacenar los carbohidratos en los frutos y relacionado con un problema fisiológico conocido como el "marchitamiento prematuro" de los chilillos o "cherelle wilt" el cual se caracteriza por el amarillamiento prematuro, marchitamiento y momificación de los frutos jóvenes; éste es controlado por un mecanismo interno de la planta debido, posiblemente, a la competencia de fotoasimilados entre las hojas y los frutos nuevos o, a la competencia interna de los frutos de edades diferentes.

Este fenómeno es diferente a los causados por agentes patógenos que generan enfermedades en el cacao; sin embargo, se debe

tener en cuenta que cualquier condición que reduzca la disponibilidad de fotoasimilados para la planta como reducción de capacidad fotosintética o inhibición de la translocación también puede aumentar la ocurrencia de secamiento de chilillos.

2.4. El papel de la sombra

En su estado natural, el cacao convive en asociación biológica con otras especies vegetales en la que se pueden distinguir diversos estratos altitudinales; el cacao comúnmente se la ha encontrado creciendo debajo de las copas de árboles más altos, por esta razón se le ha considerado una especie umbrofila y el establecimiento de cultivos a plena exposición solar es muy difícil debido a problemas de plagas, enfermedades, malezas y ocurre una alta mortandad de plantas en la fase de establecimiento. Debido a esta razón, es aconsejable establecer especies para el sombreado temporal de las plántulas de cacao, por lo menos durante los primeros cuatro años de plantado.

Para su crecimiento normal, la planta joven de cacao requiere de sombreado denso que permita el paso de un 30 a 40% de la luminosidad total recibida en el sitio (Enríquez 1985), ya que a temprana edad las plantas no producen suficiente auto-sombreado. Entre los beneficios del sombreado se cuentan la regulación térmica de las hojas, que de otro modo transpirarían agua en exceso para atenuar y disipar el excedente de energía que se transforma en calor. Algunos días después del trasplante a campo, las plántulas de cacao, pueden manifestar daños por quemaduras en las hojas debido por exceso de luz solar, esto ocurre particularmente cuando se siembra en lugares donde la sombra temporal o permanente es deficiente (Alvim, 1959; 1960; 1977; Cabala, 1970).

Además, la sombra ejerce un efecto regulador de la temperatura del suelo que si se eleva demasiado, por ejemplo arriba de 38°C, deprime la actividad microbiana, actúa contra el rol absorbente de los pelos radicales, y acelera la pérdida de humedad. La sombra tiene varias funciones que afectan la fisiología de la planta de

cacao; el efecto no es solo reducir la cantidad de luz, sino también reducir el movimiento del aire que perjudica a la planta, igual o más que la temperatura. Cuando la planta ha alcanzado una estructura que le asegura el autosombreamiento, la sombra ya no es tan indispensable y puede eliminarse gradualmente hasta llegar a un punto de equilibrio.

Las investigaciones de Alvim (1960, 1977) demostraron la existencia de una fuerte interacción entre el sombreamiento, la fertilidad y la producción de la planta de cacao. En la Figura 4 puede observarse la interacción entre la luminosidad, la fertilidad y la producción de la planta de cacao. Se nota que bajo una sombra intensa aun con muy buena fertilidad, no hay una buena cosecha. En otras palabras, lo anterior indica que aplicar fertilizantes o abonos en una plantación muy sombreada no es recomendable. Por el contrario, con una reducción del grado de sombreamiento, aun en condiciones de baja fertilidad, se obtienen mejoras en los rendimientos, que son más notables con una mejora de la fertilidad.

Debido a la diversidad de ambientes, suelos y componentes de la sombra que acompañan a las plantaciones de cacao, es necesario, encontrar el punto óptimo para cada región.

En varios países se ha podido constatar que una reducción de la sombra en plantaciones en producción, induce mejores rendimientos, pero también genera un deterioro de la producción y la muerte de algunos árboles, también es notoria la aparición de algunas enfermedades y daños por insectos particularmente en el follaje y en los frutos. En general, es aconsejable mantener una sombra alrededor del 50% para obtener un desarrollo óptimo de las plantas y alcanzar buenas cosechas.

3. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA PLANTA DE CACAO

3.1. La extracción de nutrientes en una plantación de cacao

La extracción de nutrientes por el cultivo de cacao se incrementa rápidamente durante los primeros cinco años después de la siembra y luego de establecerse manteniendo esa tasa de absorción por el resto de vida útil de la plantación. En general, el potasio (K) es el nutriente más absorbido por el cacao, seguido por el nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg). La cantidad exacta de nutrientes removidos por un cultivo en particular depende del estado nutricional del árbol. (Omotoso, 1975; Uribe, Méndez y Mantilla, 2000; Sánchez *et al.*, 2005; Fassbender *et al.*, 1988).

En el Cuadro 4 se resumen reportes de investigaciones realizadas en varias partes del mundo.

Nutriente kg	Omotoso (1975)	Alpizar, <i>et al.</i> , (1988); Fassbender <i>et al.</i> , (1988).	Mejía (2000)	Enríquez (2005)
Nitrógeno	20	19-26	31 a 40	44
Fósforo	4	4-4.3	5 a 6	10
Potasio	10	26-28	86	77
Calcio		5-7	5 a 8	
Magnesio		4-4.5	5 a 7	

Cuadro 4. Extracción de nutrientes en una cosecha de 1000 kg de cacao seco por ha.

En promedio una cosecha de una tonelada de semillas de cacao extrae 35 Kg de N, 10 kg de P_2O_5 , 50 Kg de K_2O , 13 Kg de CaO y 150 Kg de MgO. Además, también se remueven nutrientes en la cáscara de la mazorca que es rica en K. Por otro lado, también se requieren nutrientes para construir el cuerpo del árbol.

3.2. Síntomas de deficiencias nutricionales

En la Figura 5 se puede apreciar la sintomatología provocada por deficiencias de diferentes elementos nutricionales en la planta de cacao.

3.2.1. Síntomas de deficiencia de nitrógeno (N)

La carencia o deficiencia de N se manifiesta en reducción de la velocidad de crecimiento de las plantas. Una planta sometida a condiciones de deficiencia detiene su crecimiento en pocas semanas y rápidamente presenta enanismo. Los requerimientos de N están estrechamente relacionados con la intensidad de la luz bajo la cual crecen las plantas: al aumentar la luminosidad aumenta la intensidad del síntoma.

Cuando la sobre exposición a la luz induce una deficiencia de N se presentan áreas de color amarillo pálido entre las venas de las hojas, condición que parece estar asociada con una alta relación carbohidratos: N, Si no existe suficiente N para ser transportado de las hojas viejas a las hojas nuevas, las hojas bajas toman una tonalidad uniforme verde pálida o amarillenta. Cuando la deficiencia es severa este color verde pálido uniforme afecta incluso a las nervaduras. Las plantas pueden permanecer en este estado durante largo tiempo.

3.2.2. Síntomas de deficiencia de potasio (K)

Los síntomas de deficiencia de K aparecen inicialmente en las hojas más viejas y se acentúan con el desarrollo de brotes como consecuencia de la translocación del nutriente viejo a tejido joven. La translocación es de tal naturaleza que para el momento en que el brote joven se expande totalmente, las hojas viejas se caen. A

medida que la deficiencia se acentúa, las hojas de los brotes y chupones son cada vez más pequeños.

En las hojas maduras los síntomas se inician como parches intervenales de color verde amarillento pálido ubicados cerca de los márgenes de las hojas, particularmente en la mitad distal. Luego estos parches se necrosan y permanecen en áreas pequeñas aisladas por cierto tiempo y luego se unen para formar un área continua en el borde de la hoja. Generalmente, en una planta deficiente en K se observan pocas hojas con la sintomatología debido a que las hojas afectadas caen fácilmente del árbol. Antes de caer la hoja se vuelve completamente de color amarillo naranja.

3.2.3. Síntomas de deficiencia de fósforo (P)

Cuando existe deficiencia de fósforo (P) la planta crece lentamente por falta de raíces absorbente (pelos absorbentes) y las hojas, especialmente las más pequeñas no desarrollan. Las hojas maduras desarrollan un color pálido en los filos y en las puntas, mientras que las hojas jóvenes se tornan más pálidas que las venas. Más tarde se queman los filos de las hojas. El crecimiento nuevo tiene entrenudos cortos y las hojas se posicionan en ángulo agudo con relación a la rama. Las hojas maduras desarrollan un color verde muy oscuro. Las estipulas permanecen luego de que las hojas han caído.

3.2.4. Síntomas de deficiencia de azufre (S)

Los síntomas de deficiencia de azufre (S) son a menudo difíciles de distinguir, debido a que se confunden con los síntomas de deficiencia de N. Los síntomas se presentan inicialmente en las hojas nuevas que desarrollan un color amarillento brillante incluyendo las nervaduras, sin embargo, no existe reducción marcada del tamaño de las hojas. En las hojas viejas se presentan parches amarillentos de tono pálido, mientras que en las nuevas son inicialmente de color amarillo brillante e incluyen las nervaduras, las cuales pueden ser aún más claras, rasgo este que

la diferencia de la deficiencia de N. Posteriormente el brillo desaparece y la tonalidad es pálida y el síntoma aparece en todas las hojas. También aparecen necrosis apicales que luego se enrollan y finalmente las hojas caen.

3.2.5. Síntomas de deficiencia de magnesio

El síntoma típico de la deficiencia de Mg, aparece como una clorosis que comienza en las áreas cercanas a la nervadura central de las hojas más viejas luego de un tiempo el síntoma se difunde entre las nervaduras hacia los bordes de la hoja. A medida que la carencia avanza los filos de las hojas entre las nervaduras se tornan pálidos y se inicia la necrosis por la fusión de las áreas afectadas. En casos severos de deficiencia se presentan áreas necróticas aisladas. Generalmente, se pueden observar una zona amarilla prominente que avanza delante de las zonas necróticas y la cual es generalmente, más brillante que en el caso de deficiencia de K.

3.2.6. Síntomas de deficiencia de calcio

Los síntomas de deficiencia de calcio (Ca) aparecen en las hojas más jóvenes, las cuales presentan parches necróticos que se inician como manchas blancas en la región cerca de los márgenes. Posteriormente estos parches pueden fusionarse para formar áreas necróticas marginales, las cuales son más extensas en las hojas de mayor edad. En casos de deficiencia severa ocurre una caída prematura de las hojas y muerte de los brotes y yemas. En las hojas más viejas la quemazón apical y marginal progresa rápidamente, dejando áreas sanas dentro de la zona necrosada. La deficiencia de Ca, causa disminución de crecimiento de la raíz. Los síntomas de deficiencia de Ca se pueden confundir con las deficiencias de Mg, sin embargo, existen notorias diferencias. La deficiencia de Ca se presenta en las hojas nuevas mientras que en las de Mg aparecen en las hojas viejas. Cuando se presenta clorosis, la causada por la deficiencia de Ca avanza desde los

bordes hacia la nervadura central, mientras que la de Mg lo hace en sentido contrario.

3.2.7. Síntomas de deficiencia de boro

La deficiencia de boro (B) afecta los puntos de crecimiento activo de la planta, por esta razón, los síntomas característicos se presentan en los tejidos más jóvenes, mientras que los tejidos de las hojas maduras aparecen sanos. Uno de los primeros síntomas en aparecer es una reducción en el tamaño de los entrenudos, acompañado de la formación profusa de chupones y de hojas encrespadas en las cuales se curva la lámina hacia el exterior y el ápice se enrosca. Estas láminas se endurecen y se sienten gruesas al tacto aunque no adquieran una consistencia coriácea. Estas hojas pueden ser de color verde casi normal, pero también se pueden encontrar algunas de color amarillo verdoso pálido, con una tonalidad más oscura hacia la nervadura central y con márgenes ondulados. A medida que la deficiencia progresa, las hojas de los brotes nuevos se tornan cloróticas o casi completamente blancas, de tamaño reducido y forma anormal, con áreas crespas hacia el ápice que se retuercen en espiral. En los casos de deficiencia aguda los meristemas continúan diferenciando hojas pero éstas caen rápidamente y las que logran madurar son ásperas y quebradizas. Posteriormente estas hojas pueden desarrollar zonas necróticas a lo largo de los márgenes y en algunos casos, en forma de pequeñas islas localizadas en los espacios intervenales. Este caso último se presenta cuando existe una deficiencia severa después de algún suministro o disponibilidad inicial en la fase avanzada, la punta de las hojas se necrosa mientras que el resto presenta color pálido.

El Boro es esencial para que la floración sea normal, en el caso de plantas deficientes se presentan anomalías como floración profusa en el tallo principal y en las ramas y en ocasiones hinchamiento de los cojines florales, la deficiencia de Boro afecta la viabilidad del polen y el crecimiento de los tubos polínicos, afectando de esta manera la formación de las semillas y como

consecuencia aparecen frutos partenocárpicos o distorsionados que presentan puntos necróticos. Cuando existe deficiencia de Boro, se pueden observar quebraduras en el tallo y las ramas de estos tejidos tienden a exudar. La suberización de los nervios es un síntoma característico de esta deficiencia.

3.2.8. Síntomas de deficiencia de zinc

Los síntomas de deficiencia de zinc (Zn) pueden observarse en la hoja en un estado temprano de su desarrollo y consisten principalmente en deformaciones foliares, cuya gravedad aumenta con los brotes sucesivos. Los síntomas más útiles para diagnóstico visual con las venas prominentes en las hojas muy jóvenes, la reducción en el ancho de la lámina foliar, el enrollamiento en espiral la presencia de clorosis en las nervaduras principales. En ausencia de esas deformaciones los síntomas son más difíciles de reconocer. En ocasiones se puede observar un patrón de nervaduras claramente visibles sobre un fondo clorótico. En casos de deficiencia intermedia, la hoja puede presentar una proporción anormal entre el largo y el ancho y áreas cloróticas bien definidas a cada lado de la nervadura central. Puede también presentarse una distribución asimétrica de las áreas foliares a ambos lados de la nervadura central, lo cual da lugar a hojas curvadas en forma de hoz que también exhiben las áreas cloróticas características.

En casos más severos las nervaduras pequeñas de las hojas jóvenes se distorsionan mucho más hacia la parte basal de la hoja y las áreas intervenales toman un color pálido. El ancho de la hoja decrece progresivamente, los márgenes se tornan ondulados y la hoja entera se puede enrollar en espiral.

3.2.9. Síntomas de deficiencia de hierro

Los síntomas de deficiencia de hierro (Fe) aparecen primero en las hojas jóvenes. Primero se observa una clorosis intervenal marcada, mientras que las nervaduras permanecen

marcadamente verdes. Cuando estas hojas maduran son más delgadas de lo normal y tienen consistencia similar al papel.

En casos de deficiencia severa las hojas presentan color blanco amarillento en la lámina y venas toman un color verde pálido. En el caso de las carencias de Fe, las necrosis aparecen en casos avanzados, en los cuales se presenta una quemazón bien marcada del ápice. Ocasionalmente se presenta una deformación de la lámina consistente en el desarrollo de indentaciones profundas que dan la apariencia de márgenes aserrados. Por lo general, este tipo de efecto se presenta cuando existe asociación de deficiencias de Fe, con Mg o con Ca. En algunos otros casos las hojas pueden ser ligeramente asimétricas. El cacao es bastante sensible a la deficiencia de Fe especialmente en casos de mala aireación del suelo combinado con valores de pH superiores a 6.8.

3.2.10. Síntomas de deficiencia de Molibdeno

Está relacionado con la movilización y asimilación de los nitratos y su deficiencia se manifiesta con hojas angostas, translúcidas, clorosis moteada en áreas intervenales y necrosis en los márgenes de hojas viejas.

4. EL MANEJO AGROECOLÓGICO DEL SUELO

En la agricultura convencional el suelo ha sido considerado tradicionalmente como un soporte físico para los cultivos y sus abonos; sin embargo, bajo los conceptos actuales en los que se fundamenta la agricultura orgánica, el suelo es considerado como un organismo vivo que necesita de tratamiento igual a cualquier otro ser vivo. En suelos decadentes, así como en la agricultura convencional con todo su paquete químico, no se consigue producir las variedades cultivadas en su plena capacidad genética. Las tecnologías convencionales llaman “productividad” a los rendimientos obtenidos en función de la cantidad de fertilizantes y agro tóxicos que aplican. El suelo conceptualmente es olvidado. En primera instancia, el cuerpo llamado suelo es un sistema conformado por varias partes: la fracción mineral, la materia orgánica y los organismos – que constituyen lo que se ha denominado fase sólida, agua: fase líquida y, el aire: fase gaseosa. Dichas partes trabajan integradamente para conformar ese todo o conjunto llamado suelo. Si nos fijamos con detenimiento en las partes de cualquier suelo, formado en un espacio con condiciones topográficas y climatológicas determinadas, observamos que el material mineral se origina de la roca madre que se desintegra bajo la acción del agua, la temperatura, las raíces de las plantas y los organismos especialmente los microorganismos, dando lugar a las arenas, limos y arcillas.

No obstante, el suelo es el factor de producción más importante para los cultivos y al mismo tiempo es el más influenciado por el agricultor, el suelo constituye sistemas muy diversos y complejos, llenos de vida; el suelo puede ser mirado como una forma de vida, porque es un hábitat para plantas, animales y microorganismos que están todos relacionados entre sí.

Además de las partículas minerales, el suelo contiene materia orgánica o humus, en menor o mayor cantidad, resultado de la descomposición de la biomasa. A pesar de representar en la mayoría de los suelos agrícolas tropicales sólo un pequeño

porcentaje, en algunos inferior al uno por ciento de la materia sólida total, es de importancia fundamental para la fertilidad del suelo. La materia orgánica, formada por hojas, ramas, raíces muertas y los restos de insectos, aves, microbios y pequeños animales etc. constituye el alimento que le da vida al suelo. Contribuyen en la agregación del suelo y la formación de una estructura apropiada, que permiten la penetración de aire y agua, así como el desarrollo abundante de raíces.

La materia orgánica se ubica principalmente en el estrato superior del suelo, el cual está sujeto a procesos continuos de transformación, la parte activa de la materia orgánica del suelo puede además ser descompuesta por organismos de éste. Las estructuras resultantes pueden recombinarse para formar estructuras muy estables de humus, las cuales pueden permanecer en el suelo por muchos años, el humus o materia orgánica, debido a su larga permanencia en el suelo, constituye un aporte importante para mejorar la estructura del suelo.

Además, es importante tomar en cuenta que:

- Sin aire no hay vida aeróbica en el suelo, ni un metabolismo activo de las plantas.
- Sin agua en el suelo se producen desiertos.
- Sin raíces abundantes no se tienen plantas sanas. Las plantas enfermas necesitan muchos agroquímicos, o transforman poca energía luminosa en energía química, es decir sustancias orgánicas que usamos como alimentos.
- También sin alimentos no hay vida.

Para que el suelo se pueda mantener en buenas condiciones, las plantas lo abastecen de materia orgánica. El suelo sano no forma terrones en la superficie cuando es arado, no tiene costras en su superficie. Es suelto y grumoso. Bajo el clima tropical húmedo la intensidad de la vida del suelo y el crecimiento de las plantas es muy grande. Así como el clima influye sobre las plantas, la vegetación influye sobre el clima.

Los suelos mantenidos limpios, ya sea por la eliminación mecánica o química de las malezas, permiten un calentamiento muy fuerte del aire, que asciende a gran velocidad. Y como consecuencia se pueden producir hasta tempestades de polvo. Este criterio puede apreciarse muy bien en los desiertos donde raramente llueve porque el aire caliente empuja las nubes hacia arriba, las cuales pasan sin dejar agua.

4.1. El Manejo Ecológico del Suelo

Para el manejo ecológico de los suelos agrícolas existen aspectos básicos a tomar en cuenta:

1. Es aconsejable proteger la superficie del suelo con materia orgánica, hojarasca, o cualquier otra cubierta. La materia orgánica es el alimento de la vida del suelo, especialmente de la vida de organismos aeróbicos. En suelos muy pobres se tiene que abonar la materia orgánica con un fosfato cálcico tal como la harina de huesos, o algún compuesto similar para nutrir bien los microorganismos. Después de la descomposición de las fuentes de materia orgánica, los nutrientes minerales son liberados hacia las plantas.
2. Es necesario facilitar la descomposición mediante el composteo. No es conveniente colocar paja o rastrojos directamente sobre el suelo. En aquellos suelos compactados y duros solamente los nutrientes suministrados están a disposición de la planta.
3. La materia orgánica nunca debe ser enterrada.
4. Es condicionante que la tierra no sea removida profundamente; la siembra directa y el laboreo mínimo son los más adecuados.
5. Es muy importante proteger la superficie del suelo contra el impacto de las lluvias. Esta protección se hace mediante "coberteras inertes o vivas" o por una siembra menos espaciosa, que resulta más densa. Como cobertera viva se puede sembrar el cacahuatillo (*Arachis pintoii*) el kudzu (*Pueraria* sp.) o plantas de otras especies de leguminosas.

6. Es recomendable mantener la vida del suelo promoviendo una mayor diversificación.

El deterioro progresivo de los suelos utilizados en la siembra de cultivos es producto de la incorrecta utilización de su preparación y el manejo del sistema que comprende la roza, tumba, quema y siembra en el sentido de la pendiente y la labranza con prácticas y herramientas inadecuadas. Estas actividades en conjunto, han originado la pérdida constante de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que se han traducido en una reducción de su nivel productivo. El componente biológico ha sido considerado por muchos años de poca importancia, pero en la actualidad se reconoce como parte fundamental de la funcionalidad de un suelo bajo un sistema sustentable.

4.2. El Suelo y la Materia Orgánica

Los principios ecológicos que permiten explicar los ciclos de la materia y las condiciones físicas para la presencia y sostenimiento de la vida son: el aire, el agua y el suelo. El suelo es el producto de transformación física-química de la corteza terrestre y de las actividades de los organismos, especialmente vegetales, microorganismos como las bacterias, actinomicetos, hongos y macroorganismos como lombrices e insectos. Una de las bases que sustenta la agricultura orgánica es considerar el suelo como un organismo vivo, dinámico, que nace, madura y muere, por lo que presenta una transformación similar a la de un organismo o comunidad biótica. Lo anterior hace que en la actualidad, el suelo no sea considerado únicamente como el soporte de las plantas, sino que se piense en él como un organismo vivo que está en constante evolución; esa vida es la base primordial de su fertilidad.

Las prácticas utilizadas actualmente en la agricultura orgánica consisten en nutrir los micro y macroorganismos del suelo para que faciliten en las plantas la asimilación de los elementos esenciales para su desarrollo. El empleo continuo de materia

orgánica durante el establecimiento y mantenimiento de los cultivos, constituye la forma más eficiente para crear condiciones favorables en el desarrollo y multiplicación de los microorganismos. Estas prácticas mejoran la fertilidad del suelo y elevan su potencial productivo.

Una alternativa de manejo que permite recuperar las condiciones de fertilidad y aún mejorarlas, es la aplicación de abonos orgánicos, cuya función primordial es mantener y aumentar el potencial de microorganismos habitantes del suelo con el fin de mejorar sus propiedades biológicas, físicas y químicas.

El abono orgánico se obtiene de la descomposición de los residuos y subproductos de cosecha de las plantas cultivadas (hojas, tallos, frutos, pulpa de café, cáscara de cacao, desperdicios de cocina, basuras urbanas, etc.) y excrementos de animales (estiércol bovino, borregaza, gallinaza o pollinaza, entre otros). Esta materia prima es convertida en abono por numerosos microorganismos mediante un proceso de descomposición, que transforman esta materia orgánica en nutrientes asimilables para las plantas, dando como resultado un abono rico en la mayoría de nutrientes, que se convierte en un fertilizante excelente, fácil y económico de producir, ya que todos sus componentes se obtienen de la misma finca.

4.3. La teoría de la trofobiosis

La teoría de la trofobiosis desarrollada por Francis Chaboussou (1980) explica que todo y cualquier ser vivo solo sobrevive si existe alimento adecuado y disponible para él. De acuerdo con la trofobiosis, un mayor o menor ataque a las plantas por los insectos y las enfermedades, depende de su estado nutricional. La diseminación de un determinado insecto o enfermedad sobre una planta o cultivo, indica errores en los métodos de cultivo, un desbalance nutricional en el suelo y un mal uso de fertilizantes y plaguicidas de síntesis química.

Por lo tanto, un vegetal saludable, bien alimentado difícilmente será atacado por plagas y enfermedades. Se dice que dichas plagas y enfermedades mueren de hambre en una planta sana.

La aplicación de tecnologías orgánicas complementadas con el manejo orgánico del suelo proporciona a la planta condiciones propicias para un desarrollo sano lo cual conduce a una menor afectación de los insectos plaga y las enfermedades.

La teoría de la trofobiosis ha demostrado que la vulnerabilidad de las plantas al ataque de plagas y enfermedades es una cuestión de equilibrio nutricional o de intoxicación resultado de una inadecuada fertilización causada por el uso irracional de fertilizantes de síntesis química o bien por la aplicación de fungicidas, insecticidas y/o de herbicidas. Chaboussou, sostiene con su teoría de la trofobiosis, que las defensas orgánicas de los vegetales están determinadas por la nutrición equilibrada, la cual impide la acumulación de sustancias nutritivas (azúcares y aminoácidos libres) en la savia o protoplasma. El citado autor, indica que el surgimiento de las plagas (insectos, ácaros, nemátodos, patógenos, etc.) en la agricultura, se debe a las siguientes causas:

- El uso de agrotóxicos y de fertilizantes de alta solubilidad.
- La muerte de los enemigos naturales.
- La nutrición desequilibrada de las plantas.
- Al hecho de que las plantas retienen en su savia moléculas libres y solubles (principalmente aminoácidos y azúcares) que los insectos y microorganismos patógenos necesitan para alimentarse y vivir.

De lo anterior se deduce, que las plantas cultivadas o parte de éstas, solo serán atacadas por las plagas en mayor intensidad cuando tienen en su savia exactamente el alimento que estas requieren (elevadas concentraciones de sustancias libres y solubles: aminoácidos, azúcares y minerales).

De acuerdo con la Teoría de la trofobiosis, la vulnerabilidad de las plantas al ataque de "plagas" es una cuestión de equilibrio nutricional o de intoxicación por los agrotóxicos aplicados. La planta equilibrada, ya sea porque se encuentre en crecimiento vigoroso o en descanso hibernar o estival, no es nutritiva para el parásito. Este carece de la capacidad de realizar la "*proteolisis*". No tiene condiciones para descomponer proteínas extrañas, solamente puede hacer la "*proteosíntesis*". Necesita, por lo tanto, encontrar en la planta hospedera alimento soluble, en forma de aminoácidos, azúcares y minerales todavía solubles; esto es, no incorporados en macromoléculas estables. Esto acontece cuando hay inhibición en la proteosíntesis o cuando hay un exceso de producción de aminoácidos. La inhibición de la proteosíntesis puede ser consecuencia del uso de agrotóxicos o del desequilibrio nutricional de la planta. Este último es muy común en los actuales cultivos de la agricultura "moderna".

El suelo sin humus, sin microorganismos y sin vida, con aplicación masiva de sales solubles, no alimenta a la planta de una forma equilibrada. Es muy común encontrar carencias de microelementos en los cultivos, que se sabe, inhiben la proteosíntesis. El uso de abonos nitrogenados solubles, a su vez lleva a una producción exagerada de aminoácidos.

En los vegetales se producen proteosíntesis y también proteólisis para la reestructuración de las proteínas, además de nuevas síntesis con el cumplimiento de las fases fenológicas o translocación de nutrientes. De acuerdo con la teoría de Chaboussou las defensas orgánicas de los vegetales están determinadas por una nutrición equilibrada que impide la acumulación de sustancias nutritivas (para los heterótrofos = azúcares y aminoácidos libres) en la savia o citoplasma celular.

En una planta equilibrada, durante su proteosíntesis, no hay acumulación de nutrientes, por lo que los parásitos no tienen que comer, ni tampoco pueden explotar poblacionalmente. El uso de fertilizantes químicos sintéticos puede inducir incrementos impresionantes de los rendimientos, los fertilizantes químicos

ofrecen a las plantas una gran cantidad de nutrientes fácilmente disponibles; este hecho hace el uso de fertilizantes nitrogenados altamente atractivos. Pero esto también tiene sus limitaciones, de hecho la mitad de los fertilizantes nitrogenados aplicados se pierde mediante la escorrentía, la lixiviación y la volatilización.

En condiciones desfavorables (lluvias fuertes, largos periodos de sequía, suelos erosionados o de suelos con bajo contenido de materia orgánica) la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados puede ser aún menor; como resultado de la escorrentía y de la lixiviación, por ejemplo la capa freática y el agua potable pueden contaminarse; además de ser económica y ecológicamente cuestionables, los fertilizantes químicos pueden tener un impacto negativo en la salud de las plantas.

La nutrición y la salud de las plantas están muy interrelacionadas, la fertilización química tiene los siguientes impactos negativos en el suelo y la salud de las plantas:

- La sobre oferta de nitrógeno puede llevar a la suavización de los tejidos de las plantas resultando en plantas que son más sensibles a las enfermedades y plagas.
- La fertilización química reduce la colonización de las raíces por parte de hongos benéficos tales como las llamadas micorrizas.
- La alta fertilización con nitrógeno frena la fijación simbiótica de nitrógeno por parte de los microorganismos.

Las plantas requieren de diversos elementos nutritivos para un crecimiento saludable. Los nutrientes han sido generalmente agrupados en macro y micro nutrientes. Se consideran macronutrientes aquellos que la planta requiere en grandes cantidades tales como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio entre otros. Los micronutrientes son aquellos que se requieren en pequeñas cantidades, pero que son igualmente importantes, entre

estos están el zinc, el manganeso, el hierro, el cobalto, entre otros.

La ventaja de los abonos orgánicos usualmente radica en que contienen todos los nutrientes requeridos en cantidades suficientes en composición balanceada; por lo tanto, la deficiencia de un nutriente en particular puede ser corregida aplicando cualquier abono orgánico.

5. EL MANEJO DE LA NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DEL CACAO

5.1. Las fuentes de alimentos para los suelos y las plantas de cacao

Las plantas de cacao se pueden nutrir de agua, de ciertos elementos minerales y de sustancias orgánicas que pueden tener como origen:

- El agua y el CO₂
- La restitución por el reciclaje del cacao y la sombra
- Las reservas minerales del suelo
- La síntesis microbiana
- La aplicación de abonos orgánicos y minerales
- La aplicación de enmiendas para corregir la acidez del suelo

5.1.1. El agua y el CO₂

Es conocido que la masa esencial de una planta proviene de la fotosíntesis, que asegura, gracias a la energía solar, la síntesis de carbohidratos, y más adelante la conversión en proteínas y lípidos, a partir del agua y del dióxido de carbono absorbido por las hojas. Pero para que esta fábrica biológica funciones, son necesarios otros elementos minerales.

5.1.2. La restitución por el reciclaje del cacao y la sombra

La restitución orgánica a partir de residuos de las plantas que integran la plantación tales como el cacao mismo, los árboles de sombra, y otras especies acompañantes, contribuyen a una parte esencial de la alimentación del suelo de y las plantas. La descomposición regularmente por la actividad microbiana alimenta continuamente al suelo y a las plantas, mineralizada directamente por la vía de la humificación (Cuadro 5).

En la medida en que las extracciones fuera de la plantación son limitadas o el suelo es relativamente rico y equilibrado, estas restituciones correctamente recicladas pueden asegurar la mayor

parte de la alimentación de la planta. Sin embargo, si el reciclaje es reducido, o si el suelo es naturalmente pobre y carece de una baja capacidad de fijación y poca actividad microbiana, la alimentación del suelo se ve reducida y por lo tanto carece de los elementos nutritivos que la planta requiere.

Sistema	Cacao	Sombra	Total
Cacao + mamey (<i>Pouteria zapota</i>)	0.809	4.20	5.009
Cacao + chalum (<i>Inga mitcheliana</i>)	1.23	3.46	4.69

Cuadro 5. Aportes del reciclaje (ton/ha/año) de biomasa en dos agroecosistemas de cacao del soconusco, Chiapas, México. (Salgado, López y Gutiérrez 2002; Salgado y López, 2003).

En las Figuras 6 y 7 de la galería de imágenes se presentan los aportes en kg/ha/año de macro y de micro elementos producto del reciclaje en dos sistemas de producción de cacao estudiados en la región de Tapachula, Chiapas, México (Salgado, 2002; Salgado, López y Gutiérrez, 2002; Salgado y López 2003).

5.1.3. Las reservas minerales del suelo

Las plantas absorben del suelo un número de elementos nutritivos en proporciones específicas y es importante que estas proporciones se mantengan balanceadas para facilitar su absorción. De acuerdo a la intensidad de la demanda, los nutrientes se clasifican en macro elementos: N, P y K; elementos secundarios: Ca, Mg y S; y micro elementos: Mn, Cu, Zn, Fe, Mo y B. Sin embargo, todos son igualmente esenciales para el metabolismo y desarrollo de las plantas.

Las reservas minerales del suelo son liberados lentamente por la actividad de las raíces, de ciertos microorganismos y de los factores

climáticos. Estos proveen a la planta de una gran variedad de elementos minerales mayores y de oligoelementos. Con la finalidad de conocer la disponibilidad de nutrimentos, es necesario realizar un análisis del suelo que indique el estado de fertilidad, su capacidad de intercambio con las raicillas de las plantas y sobre esta base determinar las cantidades de abonos a aplicar.

5.1.3.1. Interpretación de los resultados de un análisis de suelo.

Los valores resultantes de un análisis de suelo incluyen el análisis físico y el químico. El análisis físico determina la textura del suelo, la cual puede ser liviana, mediana o pesada, lo que indicará su capacidad para retener agua y nutrientes. El análisis químico comprende el contenido de minerales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca), así como también porcentaje de materia orgánica, valores de pH y conductividad eléctrica. Los valores de nitrato aparecidos en el análisis sólo sirven como referencia, pues es un elemento de gran variabilidad y existe en distintas formas de suelo. Suelos con alto contenido de calcio (Ca) determinan una gran pérdida de nitrógeno (N), principalmente si se usan fuentes amoniacales. Del análisis químico se utilizan los valores de fósforo (P) y potasio (K) como base para determinar la cantidad y fórmula de abono a usar.

Enríquez (1985) propone la siguiente guía para interpretar el estado de fertilidad de un suelo y su uso potencial para el cultivo del cacao.

Parámetro	Rango de fertilidad relativa		
	Alto	Medio	Bajo
pH	7.5 - 6.5	6.4 - 5.1	≤ 5
Materia orgánica %	≥ 6.1	6.0 - 3.1	≤ 3.0
Nitrógeno total %	≥ 0.41	0.4 - 0.21	≤ 0.2
Relación C/N	9.5 - 10.4	15.5 - 10.5	≥ 015.6 o ≤ 9.4
Fosforo ppm (Mechlich)	≥ 16	15.0 - 6.0	≤ 5
Fosforo P/ml (Olsen modificado)	≥ 21	20.0 - 12.0	≤ 12
Fosforo disponible ppm P ₂ O ₅	≥120	119 - 21	≤ 20
Potasio intercambiable meq/100g	≥ 0.41	0.40 - 0.16	≤ 0.15
Potasio extraíble meq/100 ml	≥ 0.41	0.40 - 0.21	≤ 0.20
Azufre SO ₄ /ml	≥ 21	20 - 13	≤ 12
Calcio intercambiable meq/100 g	≥ 18.1	18.1 - 4.1	≤ 4.0
Calcio extraíble meq/100 ml	≥ 4.1	4.0 - 2.0	≤ 2.0
Magnesio intercambiable meq/100g	≥ 4.0	4.4 - 0.90	≤ 0.80
Magnesio extraíble meq/100 ml	≥ 2.1	2. - 0.80	≤ 0.80
Capacidad de intercambio catiónico meq/100 g	≥ 30.1	30.0 - 12.1	≤ 12
Saturación de Aluminio %	0 - 10	11.0 - 25.0	≤ 26
Aluminio meq/100 ml	≥ 30.1	31.0 - 1.50	≤ 1.51

Cuadro 6. Guía para la interpretación del estado de fertilidad natural de un suelo para el cultivo del cacao. (Adaptado de Enríquez, 1985).

5.1.4. La síntesis microbiana

La síntesis microbiana en particular del nitrógeno orgánico a partir del nitrógeno del aire por las bacterias libres o asociadas es una fuente natural de nitrógeno necesario para las plantas. En buena parte, esta forma de proveer nitrógeno depende en gran medida de la presencia de leguminosas y de la intensidad de la actividad microbiana en el suelo.

5.1.5. La aplicación de abonos orgánicos y minerales

En la agricultura orgánica el enfoque de la nutrición de las plantas es fundamentalmente diferente de las prácticas de la agricultura convencional; mientras que la agricultura convencional tiene como meta proveer una nutrición directa a las plantas utilizando básicamente fertilizantes minerales fácilmente solubles, que solamente substituyen los nutrientes extraídos por las cosechas y no mejoran las condiciones del suelo a largo plazo. En la agricultura orgánica se alimenta a las plantas indirectamente alimentando los organismos del suelo con materia orgánica.

En la agricultura orgánica comercial, por ejemplo para la exportación, se requieren insumos agrícolas orgánicos en grandes cantidades que deben estar disponibles en el mercado. Estos insumos no siempre cumplen con el concepto de una agricultura sostenible y el ciclo interno de los recursos naturales, pero cumplen con los requisitos de la agricultura orgánica a nivel mundial, que no permiten remedios químicos artificiales.

Los abonos orgánicos y minerales de origen exterior a la plantación vienen a complementar las fuentes alimentarias: 1) corregir deficiencias eventuales del suelo en uno o varios elementos, 2) reforzar las posibilidades de nutrición del suelo, cuando sus reservas utilizables, las restituciones orgánicas y la síntesis microbiana son insuficientes, o aún mas, 3) estimular la implantación al momento de la absorción.

Los abonos orgánicos constituyen una de las principales formas de mejorar las condiciones de fertilidad del suelo y es, sin duda

alguna, una técnica de fácil aplicación. También se le conoce como composta y tiene las siguientes ventajas:

- Es un producto prácticamente completo.
- Su procesamiento es muy económico.
- Para su preparación se utilizan residuos provenientes de la finca como malezas después de cortadas, tallos de plátanos sobrantes de deshijos o de cosechas, la cáscara de los frutos de cacao, lo cual contribuye además a la fitosanidad de la plantación, así como excrementos de animales de cría frecuentes en las parcelas.

5.1.6. La aplicación de enmiendas para corregir la acidez del suelo

El hecho de que la acidez de los suelos es perjudicial para el cultivo del cacao ha sido reconocido desde hace muchos años, el primer criterio para corregir la acidez de los suelos es la aplicación de correctivos a través del encalado. Como principio general, el encalado mejora la recuperación de los nutrientes por las plantas, las condiciones físicas y biológicas del suelo y por ende se obtienen incrementos en el rendimiento. Dentro de los materiales utilizados para corregir el pH, se encuentran sustancias con alto contenido en Ca y Mg que presentan una alta capacidad para neutralizar los efectos de la acidez del suelo (Cuadro 7). Se incluyen la cal viva CaO , la cal hidratada Ca(OH)_2 , la caliza molida, la cal dolomita MgCO_3 , las conchas y los residuos industriales. Entre los materiales mas utilizados para encalar el suelo están la caliza y la cal dolomita, o una combinación de ambas. Como resultado de la reacción de estos estos materiales en el suelo, aumentan los niveles de Ca y Mg disponibles para la planta de cacao, y se reducen las cantidades de Al, Fe y Mn, que pueden resultar perjudiciales para la planta.

Autores	Enmienda aplicada	Características del suelo
Cabala, 1970	745 a 5038 kg por ha en forma de carbonato de calcio y magnesio.	Suelos deficientes en fosforo, potasio, calcio.
Uribe, Méndez y Mantilla, 2000	200 g por planta de cal dolomita en complemento a la aplicación de fertilizantes minerales N. P. K.	Textura arcillosa, pH de 4.7, alto contenido de M.O (9.3%), mediana a alta saturación de aluminio, bajos contenidos de P y K.
Benito s.f.	1000 g de cal dolomita por planta	Aplicación al momento del trasplante a campo.
Contreras, Herrera e Izquierdo, 2005	300-800 kg/ha de cal (Carbonato de calcio).	pH del suelo entre 4.4 y 5.6
Sánchez, Parra, Gamboa y Rincón, 2005	100 g por planta de cal dolomita alrededor del tronco	Textura franco arenosa, acido, de bajo contenido de materia orgánica, de fosforo, y magnesio; contenido medio de potasio, calcio y aluminio.
Nakayama, Pinto y Santana, 2007.	3 partes de Cal y una de Cal dolomita sobre una cantidad base de 5 kg. La cantidad de cal fue aplicada en dosis única y fraccionada cada dos años.	Suelos con pH entre 4,2 y 4,5
Mohd, Ahmad and Hamzah, 2007	2000 kg por ha de cal	Suelo arcilloso con pH de 4.6, de bajo contenido en fosforo, potasio, calcio y magnesio.

Cuadro 7. Experiencias en la aplicación de cal y cal dolomita en el cultivo del cacao.

En general las aplicaciones de estos compuestos deben de reaccionar en el suelo durante unos dos o tres años. En el cultivo del cacao, el efecto de la aplicación de enmiendas como el encalado para corregir la acidez de los suelos, ha sido poco estudiado. Las investigaciones se han orientado al estudio de la aplicación de fertilizantes minerales.

6. LA ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

El abono orgánico es el producto de la descomposición de los residuos de cosecha de las plantas cultivadas (hojas secas y frescas, tallos, frutos enteros o partes de estos; residuos de cosecha como la cáscara de cacao, la pulpa de café, el bagazo de caña; desperdicios de la cocina, etc.), excrementos de animales (estiércol bovino, gallinaza, pollinaza, borregaza entre otros) y otros elementos como cáscaras de huevo, plumas, pelos, etc. Estos residuos son sometidos a un proceso de descomposición mediante la fermentación, por la acción de numerosos organismos que transforman la materia orgánica en nutrientes asimilables para las plantas, dando como resultado un abono equilibrado en nutrientes y en microorganismos, que se convierte en un fertilizante excelente, fácil y económico de producir.

Los abonos orgánicos no sólo aportan a los suelos materiales nutritivos, sino que además influyen favorablemente en la estructura del suelo, aportan nutrientes y modifican la población de microorganismos en general; de esta manera se asegura la formación de agregados que permiten una mayor retención de agua, aireación, intercambio de gases y nutrientes, a nivel de las raíces de las plantas.

La incorporación de abonos orgánicos permite restablecer al suelo sustancias minerales y orgánicas que van a mejorar su capacidad nutritiva; mediante esta práctica se asegura una renovación de los nutrientes en el suelo. El uso de los abonos orgánicos se recomienda especialmente en suelos con bajo contenido de materia orgánica y degradada por el efecto de la erosión, no obstante, su aplicación puede mejorar la calidad de la producción de cultivos en cualquier tipo de suelo.

Los estiércoles son un elemento básico para la elaboración de abonos orgánicos, los excrementos de los animales que resultan como desechos del proceso de digestión de los alimentos que consumen. Generalmente entre el 60 y 80% de lo que consume un animal es eliminado como estiércol.

Para la estimación de la cantidad de estiércol producida por un animal puede aplicarse la formula siguiente:

$$\text{Peso promedio del animal} \times 20 = \text{cantidad de estiércol por animal por año.}$$

La calidad de los estiércoles depende de la especie, del tipo de cama y del manejo que se le da a los estiércoles antes de ser aplicados.

El contenido promedio de elementos químicos es de:

- 1,5% de nitrógeno.
- 0,7% de fósforo.
- 1,7% de potasio.

Los estiércoles mejoran las propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos, particularmente cuando son utilizados en una cantidad no menor de 10/t/ha al año, y de preferencia de manera diversificada.

Para obtener mayores ventajas, los estiércoles deben de ser fermentados antes de su aplicación, y de preferencia cuando el suelo está con la humedad adecuada.

La composición y contenido de los nutrientes de los estiércoles varía mucho según la especie de animal, el tipo de manejo y el estado de descomposición de los estiércoles.

Según se aprecia en el Cuadro 8, la gallinaza es el estiércol más rico en nitrógeno, fósforo y potasio; en promedio contiene el doble del valor nutritivo del estiércol de vacuno.

Origen	Humedad %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %
Vaca	83,2	1,67	1,08	0,56
Caballo	74,0	2,31	1,15	1,30
Borrego	64,0	3,81	1,63	1,25
Cerdo	80,0	3,73	4,52	2,89
Gallina	53,0	6,11	5,21	3,20

Cuadro 8. Contenido de humedad, de nitrógeno, fósforo y potasio de estiércoles

Existen diferentes tipos de abonos dependiendo de las mezclas utilizadas en preparación, sin embargo existen básicamente dos formas de transformar residuos orgánicos en abonos:

- ***Abonos orgánicos fermentados sólidos***
- ***Abonos orgánicos fermentados líquidos***

6.1. Los abonos orgánicos fermentados sólidos

Este tipo de abonos resultan de un proceso de mezcla de diferentes fuentes de materia orgánica proveniente de residuos de plantas y estiércoles, a los cuales también se puede añadir una fuente de carbohidratos, harinas de granos o carnes, panela o melaza o inocular microorganismos; materiales que son sometidos a un proceso de fermentación, que puede ser por un periodo corto o largo, para luego ser aplicado a los cultivos.

6.1.1. Propiedades de los Abonos Orgánicos.

Los abonos orgánicos tienen propiedades, que ejercen determinados efectos sobre el suelo y que aumentan la fertilidad de éste. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades:

6.1.1.1. Propiedades físicas.

- El abono orgánico por su color oscuro, absorbe mejor las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y los nutrientes se pueden absorber con mayor facilidad.
- El abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos.
- El abono mejora la permeabilidad del suelo, ya que influyen en su drenaje y su aireación.
- El abono disminuye la erosión del suelo, tanto por efecto del agua como del viento.
- El abono aumenta la retención de agua en el suelo, por lo que esta se absorbe mejor cuando llueve o se riega; además, el abono retiene durante mucho tiempo el agua en el suelo, particularmente durante el verano.

6.1.1.2. Propiedades químicas.

- Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones del pH.
- Los abonos aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que se aumenta su fertilidad.

6.1.1.3. Propiedades biológicas.

- Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aeróbicos.
- Los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.

6.1.2. La elaboración de composta

La composta es un abono natural que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos, bajo condiciones controladas, en una masa homogénea de estructura grumosa, rica en humus y en microorganismos. Es un compuesto con un contenido alto en materia orgánica parcialmente mineralizada y humificada, que puede ser usado como abono orgánico o como sustrato, que puede sufrir mineralizaciones más lentas una vez incorporado al suelo y que al final de su evolución o descomposición se transforma en humus. Este proceso es aeróbico, por lo tanto, se realiza en presencia de aire, ya que la descomposición es efectuada por microorganismos como bacterias y hongos.

Una composta de buena calidad presenta un color oscuro, los materiales inicialmente utilizados no se diferencian, tienen un olor agradable, con textura suave, humedad aproximada del 40%, una temperatura de 25 °C y un pH de 7.0 (neutro).

El contenido nutrimental depende de los insumos que se han utilizado (tipo de estiércol y residuos vegetales), pero en promedio el contenido de nitrógeno oscila entre 2 a 3%, considerándolo pobre si es inferior al 1%; en fósforo valores superiores a 1% se consideran buenos y más del 2 % son excelentes; la sumatoria de los contenidos de Nitrógeno, Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O) oscila entre el 4 y el 6 %.

¿Qué es el composteo?

Es el proceso mediante el cual una mezcla de materiales ricos en carbono (fibrosos) como bagazo, pajas, aserrín, cáscaras, granos, etc., con materiales de origen animal ricos en nitrógeno como gallinaza, pollinaza, estiércol, follaje verde, etc. se descomponen por la actuación de bacterias, hongos y otros microorganismos. El composteo es un proceso biológico de descomposición por medio de una fermentación controlada, realizada en condiciones particulares de humedad, aireación, temperatura y bajo la acción de ciertos microorganismos, para la transformación y

estabilización de residuos orgánicos biodegradables en abonos de buena calidad.

La Figura 8 de la galería de imágenes ilustra la forma de una pila de composteo y la colocación de los materiales a compostear en capas que se van alternando.

Condiciones requeridas para el composteo

Humedad: Es necesaria el agua. Sin embargo, si la humedad es muy alta, se puede originar descomposición por pudrición lo que genera mal olor. La humedad ideal en una pila de compostaje es de entre el 40% y el 60% por peso; la mezcla debe sentirse húmeda, pero al tacto el agua no debe escurrir. Si la pila se encuentra demasiado húmeda se le agregan materiales secos, o hay que darle vuelta con frecuencia para que seque. Durante la época lluviosa es necesario cubrir la pila con una capa o material plástico para evitar la acumulación de humedad excesiva.

Temperatura: La descomposición de los residuos orgánicos en la pila presenta varias fases de acuerdo a la temperatura; inicialmente se observa que en la pila ocurre un aumento de la temperatura debido al proceso de fermentación hasta alcanzar un máximo entre 65 a 70°C, para luego descender a temperatura ambiente: 25°C y estabilizarse. En la fase de calentamiento, la temperatura de la pila a partir de las 48 horas debe alcanzar 45°C, en esta fase los microorganismos se multiplican rápidamente e inician la descomposición de los azúcares, almidones, proteínas y ácidos orgánicos.

Es deseable que la temperatura oscile entre 60 y 70°C pues se requiere de altas temperaturas para destruir patógenos y semillas de malezas que se pudieran encontrar en la mezcla de productos a compostear, aunque no se debe permitir que la temperatura supere este nivel, pues ocurre un empobrecimiento de la condición química y microbiológica de los residuos orgánicos en proceso de transformación.

Para activar el proceso de descomposición se puede aplicar 1/2 kg de levadura de pan, diluida en agua y mezclada con un kg de panela o piloncillo. La temperatura alcanzada en el proceso permitirá matar las semillas de las malas hierbas, agentes patógenos, esporas de hongos y bacterias que causan enfermedades a las plantas cultivadas.

No es recomendable que la temperatura supere los 70 °C, pues empobrece la condición química y microbiológica de los residuos orgánicos en proceso de transformación.

Aire: Es muy necesario que la pila de composteo permita el acceso de aire pues favorece que los materiales se fermenten más rápido. Por eso, es necesario voltear la pila según las indicaciones. Además, si se usa una carpeta para protección contra la lluvia, es importante asegurarse que el aire este entrando libremente.

Las fases del proceso de composteo

En el proceso de composteo se pueden distinguir tres fases que se esquematizan en la Figura 9: la fase de calentamiento, la fase de enfriamiento y la fase de maduración; sin embargo es necesario remarcar que cada una de estas fases no son separables fácilmente la una de la otra.

1. La fase mesófila o de calentamiento:

- A los tres días de haber preparado la pila o cama de composteo la temperatura se incrementa hasta alcanzar alrededor de 55 °C.
- Durante esta primera fase del compostaje las bacterias tienen una demanda muy alta de oxígeno debido al rápido crecimiento de su población. Las altas temperaturas en la pila son señal de que hay un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias; si no hubiese el suficiente aire en la pila, el desarrollo bacterial sería perjudicado y la composta adquiere un olor desagradable.

2. La fase termófila o de máximo calentamiento:

- En esta fase las bacterias están muy activas; el incremento en la temperatura es el resultado de la liberación de energía durante la conversión del material de fácil descomposición por las bacterias; las temperaturas calientes son típicas y forman parte importante del proceso de compostaje.
- En esta fase se alcanzan temperaturas que oscilan entre 60 y 70 °C y se mantiene en estos niveles durante 2 y 3 semanas, la mayoría de la descomposición ocurre en esta etapa.
- El calor destruye organismos patógenos, plagas, raíces y semillas de malezas.
- La humedad es esencial para esta fase del proceso de compostaje ya que las bacterias requieren condiciones de humedad para poder hacer su trabajo. La necesidad de agua es mayor durante esta fase debido a que la actividad biológica es muy alta y además una fuerte evaporación ocurre en esta etapa.
- En la medida que el calor aumenta, el pH de la composta aumenta lo que significa que la acidez disminuye.

3. La fase de enfriamiento:

- En la medida que el material de fácil digestión por las bacterias ha sido convertido, la temperatura del composteo se reduce poco a poco y se mantendrá entre 25 y 45°C.
- Con la reducción de la temperatura los hongos comienzan a aparecer y se inicia la descomposición de los tallos, fibras y material leñoso; dado que este proceso de descomposición es más lento, la temperatura de la pila no aumenta.
- En la medida que la temperatura de la pila se reduce, el pH declina más y la acidez se incrementa gradualmente.

4. La fase de maduración:

- Durante la fase de maduración los nutrientes son mineralizados y los ácidos húmicos y antibióticos aumentan en contenido.
- Durante esta etapa la lombriz roja del compostaje y otros organismos del suelo comienzan a aparecer en la pila de composta.
- Al final de esta fase la composta ha perdido la mitad de su volumen original y el color se vuelve oscuro como el de los suelos fértiles; la composta está lista para ser utilizado.
- En la medida que el tiempo pasa a partir de este momento sin que se utilice, la composta pierde su calidad como fertilizante mientras que su capacidad para mejorar la estructura de los suelos mejora.
- En la fase de maduración, la composta necesita menos agua que en la fase de calentamiento.

Materiales para el compostaje:

Se pueden utilizar como materia prima, materiales que se encuentran en las fincas (Figura 10), tales materiales pueden ser:

- a) *Residuos domésticos:* incluyen desperdicios de cocina, materiales restantes de la preparación de comidas (cáscara de huevo, restos de frutas y verduras, plumas de aves, entre otros).
- b) *Materiales de origen vegetal:* hojas, ramas y tallos, follaje de leguminosas (Chalum, Yaite, Paterna, Guagua, Chipilín, Crotalaria), restos de plátano, maíz, fríjol, monte verde, ramas, hojas, pulpa de café, cáscara de cacao, etc.
- c) *Desechos del ganado:* estiércoles y orines (de vaca, cerdo, oveja, cabra, caballo, conejo, aves, etc.).
- d) *Otros productos:* como harina de sangre o de pescado, fuentes de material mineral (Roca fosfórica), ceniza vegetal o de fogón, tierra común.

Por otra parte, la relación carbono-nitrógeno C/N en los materiales a compostear es un aspecto a tener en cuenta; una buena práctica es la de mezclar la mayor cantidad de residuos vegetales y animales, de manera que se asegure la obtención de materiales ricos en carbono y en nitrógeno. Si en la mezcla abundan residuos ricos en carbono, esto ocasionara que haya pobreza en nitrógeno y la composta obtenida tendrá un exceso de material rico en carbono que al momento de ser utilizada puede causar problemas. La relación entre el carbono y el nitrógeno es muy importante, ya que estos elementos son utilizados por los microorganismos para su desarrollo, utilizan el carbón como energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas; la mayoría de microorganismos usan 30 partes en peso de carbón por una de nitrógeno por lo que la relación 30 a 1 es una relación ideal para lograr una buena composta.

Debido a la naturaleza de los diferentes materiales a compostear es necesario hacer mezclas para que la relación se acerque lo más posible a esta relación de 30 a 1, si la relación tiene una proporción muy elevada de nitrógeno, éste se perderá como amoníaco generando malos olores; si el elemento excedente es el carbono el proceso se realizará de manera lenta.

Como se observa en el Cuadro 7, generalmente los materiales verdes tienen una relación baja de carbono/nitrógeno, como los estiércoles de ganado; por el contrario, los residuos de gramíneas y los materiales secos y duros tienen una alta relación de estos elementos.

La relación C/N (Carbono : Nitrógeno) óptima inicial de los residuos orgánicos es de 35 a 40: 1. Es decir que por cada 35 a 40 partes de C (carbono) debe existir una (1) de N (nitrógeno), para que al final del proceso cuando la composta esté madura (lista para ser usado como abono) esté entre 20 a 25 : 1, para asegurar una mejor mineralización de la materia orgánica y eficiente aprovechamiento del Nitrógeno.

¿Cómo obtener una relación C/N óptima para la producción de abonos orgánicos?

Al realizar las mezclas de residuos orgánicos, se debe tener presente que estos tienen diferente relación C/N y que de ella depende la velocidad para su transformación y la calidad final del abono, así es posible separar:

- Residuos orgánicos de rápida descomposición y relación C/N baja (menos de 25): a este grupo pertenecen los residuos vegetales verdes y jóvenes, que son ricos en celulosa, azúcares solubles, minerales y en nitrógeno.
- Residuos orgánicos de lenta descomposición y relación C/N alta (mayor de 25): a este grupo pertenecen los residuos vegetales secos, viejos, ricos en lignina, y carbono, pobres en azúcares solubles y en nitrógeno.

La velocidad de la transformación de los residuos orgánicos así como la obtención de un buen abono, depende fundamentalmente de la relación Carbono /Nitrógeno (C/N), la microflora (bacterias, hongos y actinomicetos) activa en el compostaje, la preparación de los residuos orgánicos de partida y del clima. Por lo tanto, para lograr una relación C/N óptima, se sugiere mezclar residuos orgánicos con diferentes relaciones: altas y bajas. Aunque la lista de materiales apropiados para el compostaje es interminable, en el Cuadro 9 solo se muestra algunos de ellos, con sus correspondientes valores de la relación C/N para que se disponga de una base que permita seleccionar residuos para elaborar mezclas adecuadas, en busca de una relación óptima.

Si la relación C/N es superior a 40, el proceso de fermentación se prolonga considerablemente hasta que el exceso de carbono sea oxidado. Cuando un abono tiene esta característica y se aplica al suelo, ocurre inmovilización del nitrógeno y las plantas presentan “deficiencia de nitrógeno”. Este efecto negativo se puede evitar

fácilmente, haciendo descender naturalmente el carbono, ya sea retirando los residuos ricos en Carbono, o aumentando el contenido de nitrógeno de naturaleza orgánica mediante la adición de estiércoles. Si la relación Carbono/ Nitrógeno en los residuos orgánicos es inferior a 35, o en los abonos inferior a 20, se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco.

Los abonos que tienen mejor calidad química y física, y un mejor equilibrio en las poblaciones microbianas y mayor estabilidad, son aquellos producidos con la mayor diversidad de residuos orgánicos tanto de origen vegetal como animal.

Para realizar una buena mezcla de residuos orgánicos es determinante no sólo la relación C/N, sino el tipo de estiércol que se va a utilizar; algunos como el estiércol de aves de corral, de equinos (caballos), cabras, ovejas y conejos, tienen alto contenido de nitrógeno y garantizan que al iniciar el proceso de descomposición en la pila eleve la temperatura por encima de los 70°C, son los llamados “estiércoles calientes”, otros como los de los bovinos en general y cerdo, con menor contenido de nitrógeno, contribuyen a regular la temperatura en la pila, evitando que pase de 70 °C, son los llamados “estiércoles fríos”. Tomando en cuenta estas características, es recomendable que en la mezcla de residuos orgánicos a compostear, se utilicen estiércoles calientes y fríos.

Es importante mencionar que al finalizar el proceso de composteo la relación C/N debe ser de 12 a 1.

Material	Relación (C/N)	Referencia
Estiércol bovino	20-25:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Estiércol de caballo	25:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Orina de ganado	0.8:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Estiércol de gallina	14:1	Luna y Reyes, 2005
Pasto fresco de jardín	19:1	De La Cruz, 2006
Restos de comida	15:1	De La Cruz, 2006
Paja	80-90:1	De La Cruz, 2006
Paja de trigo	130-150:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Semillas de oleaginosas	3-15:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Pulpa de café	3:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Harina de pescado	4-5:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Bagazo de caña	200:1	Noriega, Cruz y Altamirano, 2001
Rastrojo de maíz	60:1	De La Cruz, 2006
Aserrín de madera	200-500:1	De La Cruz, 2006
Residuos de leguminosas	15:1	Luna y Reyes, 2005
Residuos de hortalizas	15-30:1	Luna y Reyes, 2005

Cuadro 9. Relación carbono-nitrógeno (C/N) de algunos materiales de origen vegetal y animal utilizados para la preparación de compostas

El proceso de compostaje:

Para hacer una buena composta se procede de la siguiente manera:

- Se escoge un lugar protegido del sol y la lluvia. Es mejor en una galera con piso de tierra y con fácil acceso de vehículos. Una vez definido el sitio donde se va a hacer la composta, se limpia el suelo, se nivela y se coloca una capa de plástico de color negro.
- Se preparan los materiales orgánicos que se van a utilizar; estos deben estar frescos y previamente picados en pequeños trozos con el fin de que se descompongan con mayor rapidez.
- Los materiales se acumulan en capas en forma intercalada; la primera capa estará constituida por una cámara de aireación a base de materiales rústicos como paja y ramas, para facilitar la filtración del aire por el fondo.
- Una vez realizada esta labor se coloca una capa de tierra oscura aproximadamente de 10 centímetros de espesor; se humedece y se coloca encima una capa de residuos vegetales frescos y picados, aproximadamente de 20 centímetros de espesor y luego se humedece. Posteriormente se coloca una capa de estiércol.
- Luego se acomodan restos de cosecha u hojarasca, la siguiente capa será de estiércol, luego otra capa de restos de monte verde o seco; y después otra capa de estiércol y así sucesivamente formando una pila de 1,5 metros de alto. Sobre cada capa de estiércol se puede colocar un puñado de ceniza. Después de cada capa se humedece y agrega un poco de compostaje producido con anterioridad (si lo tiene, como fuente de inóculo de microorganismos).
- Después de cada capa se agrega una nueva capa de materiales (ramas) para proveer la aireación.

- Posteriormente se cubre con hojas o con un plástico negro con el fin de controlar, en forma adecuada, la temperatura, la aireación, los olores indeseables y la pérdida de nutrientes.
- Realizado este proceso se debe voltear la pila por lo menos cada 15 días con el propósito de no dejar que la temperatura se incremente demasiado y cause daños al abono.

Para lograr que los microorganismos trabajen eficientemente y el proceso de fermentación descomponga los materiales se recomienda:

- Evitar que la pila sea demasiado grande, lo aconsejable es 1.80 a 2 metros de ancho, por 4 a 5 metros de largo y 1,5 metro de alto.
- Regar para mantener una humedad óptima (60-70% de humedad).
- Ubicar la pila de preferencia en la sombra.
- Se necesita al menos un volumen de un metro cúbico para mantener el calor por dentro.
- Cortar y mezclar bien los materiales, entre más fino sea el material, más rápidamente se descompondrá.
- La pila debe calentarse, se puede probar metiendo un machete por unos minutos. Cuando la pila se calienta, se debe revolver, asegurándose que el material del interior llegue al exterior.
- Remover la pila cada 15 días y si es necesario rociar agua para mantener la humedad.

Diagnóstico	Problema	Posibles Razones	Soluciones
La temperatura no sube	Los micro organismos no se pueden desarrollar.	Falta de aire o demasiado aire. Relación C/N incorrecta. Material o muy seco o muy húmedo. Demasiada tierra.	Regar con agua u orina. Aflojar y airear el montón. Mezcle más estiércol o material verde en el montón.
Descenso repentino de la temperatura	El proceso se detiene.	Material seco. Todo el nitrógeno disponible ha sido empleado.	Mojar con agua u orina. Añada materiales ricos en nitrógeno.
La Composta adquiere un color blanco polvoriento	Desarrollo de hongos demasiado fuerte.	Material demasiado seco. Material no mezclado por largo tiempo.	Mojar con agua u orina Mezcle los materiales y haga el montón o pila de nuevo. Añada material rico en nitrógeno.
El material adquiere un color negruzco y desprende olor desagradable	La Composta se está pudriendo	Falta de aire y estructura. Relación C/N muy baja. Material muy húmedo. El material no se ha mezclado lo suficiente.	Prepare el montón de nuevo, añada material voluminoso y con una relación C/N alta. Revuelva la mezcla frecuentemente durante el periodo de calentamiento.

Cuadro 10. Problemas y posibles soluciones en el proceso de compostaje

La composta debe hacerse en un sitio cercano al cultivo y al lugar donde se vaya a utilizar, esto evita el trabajo posterior de traslado, hay que tomar en cuenta que un bulto de composta seco pesa aproximadamente 40 kilogramos.

Duración del proceso de compostaje

La duración del proceso de compostaje varía según la metodología utilizada en el proceso y el control que se realice durante el mismo.

Contenido nutrimental y utilización de la composta

Cuando el proceso de fermentación termina; se observará que el volumen de la mezcla ha disminuido casi a la mitad y todos los materiales han sido descompuestos, lo cual indica que el abono está listo para ser usado. Una composta de buena calidad tiene un aspecto homogéneo, un color oscuro, una estructura fina y granulosa y un olor agradable similar al mantillo de bosque. En el Cuadro 11 se presentan los valores del contenido nutrimental encontrado en tres de lotes de compostas preparadas utilizando residuos vegetales y estiércol vacuno.

Desde luego que las características nutrimentales de la composta dependen en gran medida de los materiales utilizados en su elaboración. Pero existen indicadores generales, se estima que un kilogramo de composta le aporta al suelo:

- 19 gramos de nitrógeno.
- 0.8 de fósforo.
- 5.7 de potasio.
- 6.0 de calcio.
- 1.4 de magnesio.

- y elementos menores entre los cuales merece especial atención el aporte de manganeso 0.038 gramos y 0.020 de zinc.

De acuerdo a los resultados reportados por Mejía *et al.* (2003) un kilogramo de composta elaborado utilizando como sustrato principal cáscara de cacao y otros residuos de la finca, aporta las siguientes cantidades de nutrientes:

Elemento	Contenido en gramos
Nitrógeno	7.0
Fósforo	0.66
Azufre	2.2
Potasio	5.2
Calcio	6.0
Magnesio	1.4
Fierro	0.016
Cobre	0.001
Manganeso	0.038
Zinc	0.021

Es importante resaltar que la composta es apropiada para ser utilizada en suelos ácidos, ya que tiene un pH alrededor de 8.0, además, aporta al suelo 2.2 gramos de azufre que es un elemento faltante en suelos ácidos.

Usos

De manera general se sugiere aplicar cuando menos una vez por año; aunque lo ideal es efectuar varias aplicaciones al año. La cantidad a aplicar varía de 3 a 6 toneladas por hectárea, dependiendo del cultivo. Resulta conveniente incorporar la composta al momento de preparar el suelo, pero hay que evitar enterrarla.

Compost a	pH	MO %	N %	P ppm	K cmol/kg	Fe ppm	Zn	Cu	Mn	B	Ca	Mg	Na
Lote 1	8.2	19.0	0.9	931.0	27.7	94.1	17.3	27.9	23.9	8.4	5.2	8.5	12.4
Lote 2	8.0	25.2	1.0	1071.0	27.0	62.7	20.6	35.0	24.0	7.9	4.1	7.8	0.1
Lote 3	7.5	24.8	1.0	678.0	20.9	49.0	6.6	13.9	22.7	3.9	5.0	5.8	5.4
Media	7.9	23.0	1.0	793.3	25.2	68.6	18.1	25.6	23.5	6.7	4.8	7.4	9.3

Cuadro 11. Composición nutrimental de compostas preparadas a base de estiércol vacuno, gallinaza, cáscara de cacao, hojarasca y monte verde de leguminosas. (Programa de Cacao de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas. Huehuetán, Chiapas, México).

En cultivos de plantación como el cacao, se recomienda aplicar 2 a 4 kg por árbol divididos en dos aplicaciones al año.

Mejía y Palencia (2003) mencionan que la aplicación de un Kg. de composta le aporta a la planta de cacao 19 gramos de nitrógeno, 0.8 de fósforo, 5.7 de potasio, 6.0 de calcio, 1.4 de magnesio, y elementos menores entre los cuales merece especial atención el aporte de manganeso 0.038 gramos y 0.020 de zinc; además, la aplicación de composta es apropiada en suelos ácidos, ya que tiene un pH alcalino de 8.2, además, aporta al suelo 2.2 gramos de azufre elemento que es deficitario en suelos ácidos.

6.1.3. El bocashi

El término Bocashi, es un término japonés que significa "fermentación suave". Es una técnica rápida que permite convertir en abono orgánico todo tipo de desechos orgánicos. Tiene como base de activación las levaduras agregadas, los microorganismos contenidos en el suelo vegetal, en el estiércol y otros componentes agregados. En su elaboración se utilizan materiales más finos que en la composta y más ricos en sustancias solubles. Este proceso desarrolla altas temperaturas durante los primeros tres a cuatro días y el tiempo de elaboración oscila entre los 15 a 30 días, dependiendo de los materiales partir de los cuales se elabora y de la temperatura ambiental. El abono producido es libre de microorganismos productores de enfermedades y de plagas, ya que son eliminados por el calor que se genera. En el Bocashi ocurre la transformación de una gran proporción del nitrógeno contenido en los materiales, en una masa de microorganismos que se secan y que son llevados al suelo donde se descomponen convirtiéndose en abono.

A diferencia de la composta, la relación carbono/nitrógeno de los ingredientes no es un problema, porque se va a llevar a un estado de equilibrio. Se protege el contenido total de nitrógeno.

El bocashi tiene la ventaja adicional de que como es rápido de preparar, se gana tiempo y espacio.

Materiales

Para producir 40 sacos de 45 kg cada uno se requieren:

- 500 kg de estiércol.
- 25 kg de gallinaza o estiércoles diversos disponibles en la finca.
- 500 kg de pulpa y/o cascabillo de café, o cáscara de cacao, o zacate bien picado, o cascarilla de arroz.
- 500 kg de tierra de bosque.
- 120 kg de carbón de madera triturado o molido.
- 1 kg de ceniza vegetal o de fogón.

- 6 kg de panela o piloncillo en su caso melaza.
- 1 kg de levadura de pan o maíz molido fermentado.
- Otros subproductos de la finca o desechos orgánicos triturados o picados.
- Tierra vegetal cernida o bocashi ya maduro.
- Agua, aproximadamente 200 litros (solamente una vez y al momento de la preparación).

Preparación

Para hacerlo, se colocan capas sucesivas de los materiales, controlando muy bien la humedad. Si hay exceso de agua, el material se pudre, huele muy mal y se echa a perder; se procede de la siguiente manera:

- Se limpia y se nivela la superficie del suelo.
- Se dispersan dos sacos de tierra en la superficie de trabajo.
- Se agrega un saco de cascabillo o de pulpa de café o cáscara de cacao.
- Se agrega gallinaza o estiércoles disponibles.
- Se añade un saco de carbón.
- Se esparcen las cenizas.
- Se disuelve la melaza en agua, se mezcla con la levadura y a medida que se van mezclando los ingredientes como si se estuviera haciendo una mezcla de cemento se riega sobre la mezcla para humedecerla, sin inundarla. Se debe hacer la prueba del puño la cual consiste en tomar con el puño la mezcla, apretarla y si queda untada la a mano y salen pocas gotas, esta al punto. Si por el contrario la mano no queda untada debe añadirse más agua y si sale demasiada agua del puño hay necesidad de agregarle más pulpa, o cáscara, hasta lograr el punto.
- Se extiende la mezcla para que quede aproximadamente de 1 metro de altura.
- Se revuelve diariamente la mezcla para mantener la temperatura alrededor de los 55°C, se puede regular también

variando la altura de la pila. Hay que mantener la humedad a un 70%.

Para conocer la humedad ideal, se toma un puño de la mezcla y se aprieta. La muestra no debe gotear ni formar una pelota plástica. Se forma una pelota que si se deshace sola significa que le falta agua. Si no se deshace sola, pero al tocarla con un dedo se deshace, esa es la humedad correcta.

El material estará listo en unos 15 a 30 días. En la Figura 11 se aprecian los pasos para la elaboración de este tipo de abono.

Elemento	Contenido en %	Elemento	Contenido en %
Materia orgánica	17.28	Fierro	8743
Cenizas	68.25	Cobre	11.5
Nitrógeno	0.87	Manganeso	344.6
Fosforo	0.23	Zinc	102.3
Azufre	0.39	Sodio	0.08
Potasio	0.93	Boro	10.2
Calcio	1.09	Magnesio	0.21

Cuadro 12. Contenido nutricional del abono fermentado Bocashi

Recomendaciones para el manejo del bocashi

- Es necesario protegerlo del sol, el viento y las lluvias.
- Almacenarlo bajo techo en un lugar fresco.
- Envasarlo en sacos de polipropileno.
- No se debe guardar más de dos meses.

6.2. Los abonos orgánicos fermentados líquidos

Son el producto de la descomposición aeróbica o anaeróbica del estiércol vacuno mezclado con: agua, melaza, leche y cenizas, que puede también ser enriquecido con harinas de rocas, sales minerales y follaje de plantas. Estos productos funcionan como abonos líquidos fitoreguladores que permiten promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, y son además estimuladores de la microflora del suelo.

Los abonos orgánicos líquidos son ricos en nitrógeno amoniacal, en hormonas, vitaminas y aminoácidos. Estas sustancias permiten regular el metabolismo vegetal y además pueden ser un buen complemento a la fertilización integral aplicada al suelo.

6.2.1. Abono Líquido Aeróbico

Es obtenido a partir de la fermentación en presencia de oxígeno, de estiércol fresco con agua natural, leche cruda, ceniza y melaza o panela o piloncillo. Para la preparación se recomienda utilizar un recipiente de plástico de 200 litros, en la que se depositan los ingredientes bien mezclados con la ayuda de una pala de madera y diariamente se agitan por cinco minutos para facilitar la oxigenación. Cumplidos 15 días de haber iniciado el proceso de fermentación, se extrae y se usa como activador y estimulante de procesos microbiológicos del suelo. El recipiente se debe colocar a la sombra de un árbol, o en un lugar cubierto, con el fin de protegerlo de la lluvia y de la acción directa de los rayos solares (Figura 12).

6.2.2. Abono Líquido Anaeróbico

Es obtenido a partir de la fermentación sin presencia de oxígeno de estiércol fresco de bovino con agua natural, leche cruda, ceniza y melaza o panela o piloncillo. Se utiliza un biodigestor en el cual los ingredientes se mezclan bien y luego se tapa herméticamente. A la tapa del recipiente se le abre un pequeño agujero y se introduce parte de una manguera para permitir la salida de los gases sin dejar entrar aire, para lo cual se coloca el otro extremo

de la manguera dentro de una botella que contenga agua para que actúe como válvula de escape del gas que se produce en el interior del recipiente. Transcurridos 30 días, mediante filtrado se extrae el contenido líquido para ser utilizado como bioestimulante foliar o de suelo; el sustrato sólido restante puede ser utilizado como mulch.

Recomendaciones:

- El estiércol debe ser procedente de animales sanos y que no hayan sido vacunados o desparasitados, la recolección del estiércol preferiblemente se realiza en las primeras horas de mañana o recogerlo lo más rápidamente posible después de su deyección para evitar su contaminación con microorganismos indeseables.
- Es importante no utilizar estiércol de animales a los que se les esté aplicando drogas como antibióticos o purgantes.
- No se recomienda utilizar agua tratada con cloro.
- El caldo microbial aeróbico se debe revolver todos los días en la mañana y en la tarde, por espacio de cinco minutos con el fin de facilitar la oxigenación.
- En la producción de caldo aeróbico la caneca o tambo se debe tapar con sacos de fibra con el fin de mantener la aireación y evitar que las moscas pongan sus huevos o que se introduzcan elementos extraños al caldo.
- Es recomendable aplicar este caldo aeróbico a la pila de composta para permitir que los microorganismos actúen como descomponedores y transformadores de la materia orgánica.
- En el tambo o recipiente donde se prepara el caldo microbial anaeróbico es importante dejar un espacio libre como cámara de vacío, en este sitio estará ubicado el extremo de manguera que se introduce en la caneca y que cumple la función de extracción de gases.
- La perforación de la tapa debe permitir sólo la entrada de la manguera y no del aire, para esto se impermeabiliza alrededor

de la manguera con silicona u otra sustancia que haga las veces de sellante.

- Se puede utilizar recipientes o tambos de cualquier tamaño, su volumen se divide en cinco partes iguales, una de estiércol, tres para la mezcla del agua con leche, cenizas y melaza y una se deja libre para la acumulación y circulación de los gases.
- Los caldos se deben aplicar cuando el suelo esté húmedo.
- No se debe aplicar caldos a frutos u hortalizas que van a ser consumidas en un tiempo muy reducido después de la cosecha.
- En la manipulación de los biofertilizantes se recomienda protegerse la boca y nariz con una mascarilla y las manos con guantes.

6.2.2.1. Biofertilizante líquido básico anaeróbico

Materiales

50 kg de estiércol de vaca fresco
4 kg de panela, melaza o jugo de caña
4 litros de leche o suero
4 kilos de ceniza
180 litros de agua no tratada con cloro
1 Tambo de 200 litros
1 metro de manguera de 3/8 de pulgada
1 botella de plástico de 1 litro, con tapa
1 barra de silicón

Preparación

Recolectar estiércol fresco de vaca preferiblemente tomado en la madrugada, el cual no haya sido incidido por los rayos solares o por el agua.

En el recipiente plástico de 200 litros mezclar:

- 50 kilos de estiércol
- 100 litros de agua,

- 4 kilos de ceniza, revolver hasta mezclar todo.

En otro recipiente disolver en 10 litros de agua los 4 kilos de melaza y los 4 litros de leche, agregar esta mezcla al recipiente de 200 litros y revolver muy bien hasta lograr una mezcla homogénea. Completar con agua hasta una capacidad de 180 litros del tanque y revolverlo.

Cerrar el tanque herméticamente y conectar el sistema de salida de gases (manguera, botella con agua, tal como se ilustra en la Figura 13.

Se debe asegurar que no existan fugas de gas, se puede ayudar colocando silicón en la salida de la manguera.

Verificar el proceso de fermentación apreciando que salgan burbujas en el agua de la botella.

Procurar ubicar el tambo en un lugar protegido de la luz directa y de la lluvia.

El biofermentado está listo pasados 20 a 30 días de preparado y que ya no se percibe la formación de burbujas en la botella. En lugares fríos este proceso puede durar de 60 a 90 días. La Figura 14 ilustra los pasos de la elaboración de este tipo de abono.

El biofermentado bien preparado debe tener un olor a fermentación y un color ámbar brillante y translucido. Si el producto presenta un olor a putrefacción y un color azul violáceo, esto indica que el biofermentado no está bien preparado y debe descartarse su uso.

Antes de utilizarse el biofermentado debe filtrarse.

Se puede guardar en botellas color ámbar, agregando antes de tapar un poco de aceite de cocina para hacer con ello un sello de aceite (evitar que entre aire); una vez selladas, las botellas deben ubicarse en un lugar fresco y protegido de la luz.

Usos

Puede ser utilizado en una gran variedad de plantas, sean de ciclo corto, anuales, bianuales o perennes, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales, con aplicaciones dirigidas al follaje o al suelo.

Se ha comprobado que aplicados foliarmente a los cultivos en una concentración entre del 5 al 10 % ($\frac{1}{2}$ a 1 litro en una bomba de 20 litros) se estimula el crecimiento, se mejora la calidad de los productos e incluso tienen cierto efecto repelente contra las plagas. Pueden ser aplicados al suelo en concentraciones mayores, en el cuello de las plantas para favorecer el desarrollo radicular.

6.2.2.2. El Caldo Súper 4

El caldo súper 4 es un biofertilizante líquido el cual se elabora con minerales naturales, es decir extraídos directamente de yacimientos y a los cuales no se les ha realizado ninguna transformación. Con su uso es posible equilibrar el contenido de nutrientes menores en el suelo, mejorando las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, condiciones que favorecen según lo establecido por la Teoría de la Trofobiosis, la salud y resistencia de las plantas al ataque de plagas y enfermedades. Además, se mejoran las condiciones ambientales adversas y por tanto al mejoramiento de las condiciones nutricionales intrínsecas de la planta y en una mayor producción. Se puede producir bajo un proceso de fermentación aeróbica, es decir presencia de oxígeno, o anaeróbica en ausencia de oxígeno.

Para el caso de la fermentación anaeróbica se requiere de un recipiente que se pueda cerrar herméticamente y de una válvula de seguridad que permita la salida de los gases producidos en la fermentación; similar al descrito para el biofermentado básico anaeróbico.

El caldo preparado por esta vía presenta un periodo de conservación más prolongado que el elaborado en forma aeróbico.

Materiales

Para preparar 200 litros de este abono se requiere:

Un recipiente en forma de tambo de 200 Litros, de boca ancha y tapa

Una tela para cubrir la boca del tambo y un mecate para amarrarlo

60 Kilogramos de estiércol fresco

1 Kilogramo de cal agrícola o cal dolomítica

1 Kilogramo de sulfato de cobre

1 Kilogramo de sulfato de magnesio

1 Kilogramo de sulfato de zinc

1 Kilogramo de ácido bórico

1 Kilogramo de harina de hueso

1 Kilogramo de hígado fresco de res

5 Kilogramos de melaza

1 Litro de leche ó 2 litros de suero de quesería

Agua limpia no contaminada, ni clorada

Preparación

DÍA	LABOR
1	Lave muy bien el tanque y agregue 100 litros de agua limpia, los 60 kilogramos de estiércol fresco, revuelva muy bien hasta homogenizar la mezcla, luego agregue un kilo de cal y uno de melaza, revuelva muy bien. Recuerde siempre debe colocar la tela cubriendo la boca del tambo y amarla con un mecate, encima coloque dos palos y luego colóquela la tapa.
8	Disuelva en agua tibia 1 kilogramo de sulfato de cobre y agréguelo al tambo, así como 1 kilogramo de melaza, revuelva hasta que se disuelva bien.
15	Disuelva en agua tibia el kilogramo de sulfato de magnesio y agréguelo al tambo, así como 1 kilogramo de melaza, revuelva hasta que se disuelva bien.
23	Disuelva en agua tibia 1 kilogramo de sulfato de zinc y agréguelo al tambo, así como 1 kilogramo de melaza, revuelva hasta que se disuelva bien.
30	Disuelva en agua tibia 1 kilogramo de ácido bórico y agréguelo al tambo, así como 1 kilogramo de melaza, 1 kilogramo de harina hueso y un litro de leche o 2 litros de suero de queso. Licue el kilogramo de hígado fresco y agrégueselo inmediatamente, revuelva hasta que se homogenice la mezcla.
37	Agregue el agua restante para completar los 200 litros y el caldo está listo para ser empleado.

Usos

Una vez esté terminado el Caldo súper 4, tiene un periodo de utilización de un mes, luego de este tiempo su efectividad baja y se puede contaminar. Este compuesto se puede aplicar al suelo o directamente al follaje de las plantas, preferiblemente hacer unas pequeñas pruebas para evaluar posibles efectos nocivos debido a una alta dosis.

A continuación se describen las concentraciones recomendadas:

Concentración	Litros de caldo supercuatro	Litros de agua
10 %	1	9
20 %	2	8

También se puede adicionar a las compostas y abonos fermentados para mejorar sus características.

Es conveniente aplicarlo a las plantas en las primeras horas de la mañana o en las últimas de la tarde y cuando el suelo este húmedo.

6.2.2.3. El Caldo Magro

Fue creado por el agricultor Delvino Magro con el apoyo de Sebastiao Pinheiro, en Brasil. Es una fórmula enriquecida del biofertilizante líquido, al cual se adicionan sales minerales naturales, mejorando así las características nutricionales y las propiedades del mismo y por ende contribuye en mayor grado a una mejora nutricional de las plantas y aumenta los beneficios en la microflora del suelo.

Materiales

Para producir 180 litros son requeridos:

50 kilos de estiércol de vaca

14 kilos de melaza, panela o piloncillo

28 litros leche ó 56 litros de suero

2.6 kilos de roca fosfórica

1.3 kilos de ceniza

2 kilos de sulfato de zinc

2 kilos de cloruro de calcio

2 kilos de sulfato de magnesio

50 gramos de cloruro de cobalto

100 gramos de molibdato de sodio

1.5 kilos de bórax

300 gramos de sulfato ferroso

300 gramos de sulfato de cobre

180 litros de agua no clorada

1 tambo de 200 litros con tapa y cierre hermético

1 metro de manguera de 3/8 de pulgada

1 botella de plástico de 1.5 litros llena de agua

1 barra de silicón

1 palo de 1.5 metros para revolver

Preparación

Día	labor	Mineral a agregar
1	Lave muy bien el tambo y agregue 70 litros de agua limpia, los 50 kilogramos de estiércol fresco, revuelva muy bien hasta homogenizar la mezcla, luego agregue 1 kilo de melaza y 2 litros leche, volver a revolver.	Ninguno
4	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio.	Disolver en agua tibia 1 kilogramo de Sulfato de Zinc, agregar al tambo y revolver
7	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio.	Disolver en agua tibia 1 kilogramo de Sulfato de Zinc, agregar al tambo y revolver
10	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio.	Disolver en agua tibia 1 kilogramo de cal, agregar al tambo y revolver
13	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio.	Disolver en agua tibia 1 kilogramo de Sulfato de Magnesio, agregar al tambo y revolver
16	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio.	Disolver en agua tibia 1 kilogramo de Sulfato de Magnesio, agregar al tambo y revolver
19	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio.	Disolver en agua tibia 1 kilogramo cal, agregar al tambo y revolver
22	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio	Disolver en agua tibia 300 gramos de Sulfato de Manganeso, agregar al tambo y revolver

25	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio	Disolver en agua tibia 50 gramos de Sulfato de Cobalto, agregar al tambo y revolver
28	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio	Disolver en agua tibia 100 gramos de Molibdato de Sodio, agregar al tambo y revolver
31	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio	Disolver en agua tibia 750 gramos de Bórax, agregar al tambo y revolver
34	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio	Disolver en agua tibia 750 gramos de Bórax, agregar al tambo y revolver
37	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, revolver muy bien con un palo limpio	Disolver en agua tibia 300 gramos de Sulfato ferroso, agregar al tambo y revolver
40	Agregar 200 gramos roca fosfórica, 100 gramos ceniza, 2 litros de leche y 1 kilogramo de melaza, completar con agua hasta 180 litros, revolver muy bien con un palo limpio.	Disolver en agua tibia 300 gramos de Sulfato cobre, agregar al tambo y revolver
50-55	Dejar en reposo el biofertilizante durante un periodo de 10 a 15 días, pasado este tiempo ya puede ser utilizado, para lo cual es necesario filtrarlo.	

El biofertilizante bien preparado debe tener un olor a fermentación alcohólica y un color ámbar translucido, suele formarse en la superficie una capa o nata blanca, si no tuviera estas características es mejor descartar el biofermentado.

Si el biofertilizante preparado tiene un olor a putrefacción, y un color azul violeta; o una nata de color verde azulado y oscuro, el biofermentado no fue bien preparado y es mejor descartar su utilización.

Una vez preparado el biofermentado, se puede dejar en el tambo o guardarse en recipientes de color ámbar, agregándoles antes de tapar un poco de aceite de cocina a fin de hacer un sello de aceite y evitar la entrada de aire. Estos recipientes deben guardarse en un lugar fresco y protegidos de la luz directa.

Usos

Se puede utilizar como abono foliar y las mejores horas de aplicación son en las primeras horas de la mañana (antes de la 10 a.m.) y en las tardes después de las 4 p.m.

La cantidad a aplicar depende del tipo del cultivo, su estado de desarrollo y su edad y del grado de fertilidad del suelo, por tanto es necesario que cada agricultor realice las pruebas pertinentes para ir ajustando la dosis de aplicación; los datos que se dan a continuación son parámetros pero que pueden variar dependiendo de las circunstancias.

Es conveniente aplicarlo junto con un adherente que puede ser nopal, sábila, ceniza, etc.

La concentración para aplicación foliar puede estar entre el 3 y el 10%.

Para plantas de cacao en vivero se recomiendan aspersiones mensuales en concentraciones entre el 2 y el 3% del caldo.

Para plantaciones en producción, 4 aplicaciones anuales, a una razón del 5 al 10%.

El caldo Magro también puede ser aplicado sobre los abonos orgánicos tales como el Bocashi, compostas o vermicomposta, así como sobre el material que sirve para alimentar el lombricultivo.

Elemento	Contenido
Nitrógeno (nitrato)	0.07 g/l
Nitrógeno (amonio)	0.08 g/l
Fosforo	0.7 g/l
Azufre	0.55 g/l
Potasio	0.04 g/l
Calcio	20.3 g/l
Magnesio	1.79 g/l
Fierro	382 ppm
Cobre	276.3 ppm
Manganeso	74.7 ppm
Zinc	3693 ppm
Sodio	0.25 g/l
Boro	744 ppm
cloro	10.01 g/l

Cuadro 13. Contenido nutrimental del Caldo Magro

6.2.2.4. Caldos microbiales

Son abonos líquidos fermentados preparados con sustancias que se encuentran en la naturaleza, obtenidos en la finca; su uso aporta al suelo algunos minerales para la nutrición de la planta y permite inocular microorganismos activadores de la vida del suelo. Su elaboración es sencilla, se puede hacer a partir de la

descomposición y fermentación aeróbica y anaeróbica de diferentes productos.

Este producto tiene efectos fitoestimulantes que resulta de la descomposición anaeróbica (biodigestión) de la materia orgánica de origen animal (estiércoles) y de origen vegetal (leguminosas). Este producto a más del contenido de nutrimentos que posee, es rico en fitohormonas que estimulan algunas actividades fisiológicas de la planta.

- **Caldo de mantillo de bosque**

Materiales

50 kg de estiércol de vaca fresco

4 kg de panela, melaza o jugo de caña

1 vaso de yogurt

½ kilo de harina de leguminosa (soya, frijol, chícharo)

4 kilos de ceniza

5 Kilos de tierra de bosque nativo (se toma la tierra que está por debajo de la hojarasca y que presenta una lama blanca)

180 litros de agua no tratada con cloro

1 Tambo de 200 litros

Preparación

Recolectar estiércol fresco de vaca preferiblemente tomado en la madrugada, el cual no haya sido incidido por los rayos solares o por el agua. En un recipiente de plástico de 200 litros mezclar: 50 kilos de estiércol, 100 litros de agua, 4 kilos de ceniza, ½ kilo de harina y los 5 kilos de tierra de bosque, revolver hasta mezclar todo.

En 10 litros de agua disolver los 4 kilos de melaza y el vaso de yogurt, agregar esta mezcla al recipiente de 200 litros y revolver muy bien hasta lograr una mezcla homogénea.

Completar con agua hasta una capacidad de 180 litros del tanque y revolverlo. Tapanlo con una tela y ubicar el tambo en un lugar protegido de la luz directa y de la lluvia.

Dejar fermentar por un espacio de 20 a 30 días, en lugares fríos puede durar de 60 a 90 días.

Filtrar el biofermentado, el cual debe tener un olor a fermentación (no a putrefacción).

Usos

Puede ser utilizado en una gran variedad de plantas, sean de ciclo corto, anuales, bianuales o perennes, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales, con aplicaciones dirigidas al follaje o al suelo.

Puede ser aplicado como solución foliar en cultivos como hortalizas, tomate, pepino o plantas en vivero, a una concentración entre el 10 y el 20 % (1 a 2 litros diluidos en 20 litros de agua).

En cultivos de tipo arbóreo como el cacao, el café, la papaya, el mango, entre otros, se puede aplicar utilizando una mezcla de 5 litros del caldo en 20 litros de agua. Para aplicaciones al suelo se pueden usar concentraciones mayores.

- **Caldo revitalizador de suelos**

Materiales

50 kg de estiércol de vaca fresco

1 Kg Micorrizas

1 Kg Mantillo

1 Kg Composta

1 lt Caldo magro o Caldo súper cuatro

½ Kg Roca fosfórica

3 Kg Plantas medicinales dulces (manzanilla, te limón, hierbabuena, menta, etc)

3 Kg Plantas medicinales amargas (ruda, ortiga, estafiate, cola de caballo, etc)
4 kg de panela, melaza o jugo de caña
4 kilos de ceniza
180 litros de agua no tratada con cloro
1 Tambo de 200 litros

Preparación

Recolectar estiércol fresco de vaca preferiblemente tomado en la madrugada, el cual no haya sido incidido por los rayos solares o por el agua.

En el recipiente plástico de 200 litros mezclar los 50 kilos de estiércol con 100 litros de agua, agitar bien.

Se pican finamente las plantas medicinales y se agregan al tambo, adicionar el resto de ingredientes agitando la mezcla.

En 10 litros de agua disolver los 4 kilos de melaza, agregar esta mezcla al recipiente de 200 litros y revolver muy bien hasta lograr una mezcla homogénea.

Completar con agua hasta una capacidad de 180 litros del tanque y revolverlo.

Se puede preparar en forma aeróbica, para lo cual se debe tapar con una tela y ubicar el tambo en un lugar protegido de la luz directa y de la lluvia; en este caso se deja fermentar por un tiempo de 30 a 40 días, en lugares fríos puede durar de 60 a 90 días.

Si se realiza en forma anaeróbica, cerrar herméticamente el tambo colocando la válvula de seguridad y dejar fermentar de 15 a 20 días.

Filtrar el biofermentado, el cual debe tener un olor a fermentación (no a putrefacción).

Usos

Puede ser utilizado en una gran variedad de plantas, sean de ciclo corto, anuales, bianuales o perennes, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales, con aplicaciones dirigidas al suelo.

Se debe diluir 4 litros del revitalizador de suelos en 20 litros de agua y aplicar alrededor de la planta cuando el suelo este mojado.

- **La orina fermentada**

La orina es un abono rico en nitrógeno; un litro de orina contiene 20 gramos de nitrógeno.

Procedimiento:

Colectar orina fresca de animales.

Agregarle un pedazo de panela.

Dejarla fermentar durante una semana en un recipiente bien tapado.

Forma de utilización:

Diluir 1 litro de orina fermentada en 5 litros de agua fresca y aplicar la dilución al follaje de los cultivos.

También puede aplicarse para enriquecer una composta.

6.3. La producción de vermicomposta

6.3.1. Importancia de las lombrices de tierra

En un suelo fértil, el 70% de la biomasa de los invertebrados presentes está representado por las lombrices de tierra.

En lugares donde normalmente se acostumbra almacenar desechos orgánicos y existe buena humedad, puede encontrarse 800 gramos por m² de lombrices superficiales.

Importancia de las lombrices:

- Participan en la descomposición de la materia orgánica.
- Airean el suelo con sus galerías.
- Mezclan las partículas de suelo con la materia orgánica.
- Suministran nutrientes al suelo.
- Son verdaderos arados, mezclando el suelo.

6.3.2. La técnica de cultivar lombrices

La lombricultura es una biotecnología mediante la cual son degradados los residuos orgánicos, utilizando como agente biológico la lombriz de tierra, la cual es cultivada a gran escala bajo condiciones controladas.

¿Porque la lombricultura?

- Es un procedimiento sencillo.
- Las lombrices se pueden criar en cautiverio.
- El humus producido tiene una elevada carga microbiana.
- Se obtiene abono orgánico (humus) de alta calidad.
- El humus mejora sustancialmente el suelo.
- La lombriz puede emplearse como fuente de proteína.
- Se obtienen beneficios económicos a corto plazo.

6.3.3. Humus de lombriz

Se denomina humus de lombriz a los excrementos de las lombrices dedicadas especialmente a transformar residuos

orgánicos y también a los que producen las lombrices de tierra como sus desechos. Es un Abono orgánico, producto de la transformación de los materiales orgánicos biodegradables utilizados en la alimentación de la lombriz. Estos son ingeridos y convertidos en excretas enriquecidas que son expulsadas como deyecciones, las cuales se clasifican en función del tipo de alimento con el que se nutre a la lombriz.

El humus es el abono orgánico con mayor contenido de bacterias, tiene 2 billones de bacterias por gramo, por esta razón su uso es efectivo en el mejoramiento de las propiedades biológicas del suelo.

6.3.4. La producción de humus de lombriz

La crianza y manejo de las lombrices en cautiverio, con la finalidad de obtener el humus de lombriz, es una opción muy importante dentro del manejo integral de los sistemas de producción orgánica. La lombricultura es considerada como uno de los vectores que ayudan al proceso de reciclaje y generan un valor agregado de los recursos orgánicos de la finca.

6.3.4.1. Tipos de lombrices para la descomposición de la materia orgánica

Las lombrices que se utilizan para la descomposición de la materia orgánica a gran escala son aquellas que tiene hábitos de vivir en la superficie y que se alimentan de materia orgánica en descomposición. Estos organismos descomponen el equivalente a su peso diario, y de toda la materia orgánica que comen, el 60 a 70% es excretado en forma de humus.

- Roja californiana *Eisenia foetida*.
- Roja africana *Eudrilus euqeniae*.
- Roja de Taiwan *Pereonix excauatus*.

La lombriz más adecuada para este proceso es la roja californiana (*Eisenia foetida*) por su adaptación y eficiencia.

6.3.4.2. Construcción de Infraestructura o Módulo Integral

La explotación de la lombriz se practica bajo techo y se puede hacer de diferentes maneras: cajones, fosa, eras, canastillas y otros en donde se depositan los residuos orgánicos, animales y vegetales para alimentar la lombriz. El módulo o cama se puede construir con materiales disponibles en la finca como madera, bambú o ladrillo; el piso debe ser de cemento o estar recubierto con una capa de plástico. Las construidas en ladrillo tienen la ventaja de ser más frescas durante el verano y más calientes durante el invierno, gracias a la capacidad aislante de este material, además tienen una mayor duración.

El tamaño de los módulos depende de la disponibilidad de residuos orgánicos en la finca. Para mayor economía se recomienda construir tres módulos en uno, dos de 3 metros de largo, 1 metro de ancho y 70 centímetros de alto y otro en un extremo de 2 metros de largo x 1 metro de ancho x 70 centímetros de alto. Alrededor del módulo se hace una zanja a 10 centímetros de profundidad, con el objeto de depositar aceite quemado o agua para evitar que las hormigas u otros enemigos de la lombriz penetren a los módulos.

En la parte externa y al aire libre, se recomienda construir cuatro compartimientos con madera, guadua, piedra o ladrillo con el fin de depositar y pre-descomponer el estiércol bovino y al mismo tiempo mezclar los materiales vegetales. En el primer compartimiento se deposita la bovinaza y se deja 15 días, durante este tiempo se moja constantemente para que escurran los ácidos, luego se traslada al segundo, tercer y cuarto compartimiento dejándolo ocho días en cada uno. A partir del segundo compartimiento se puede mezclar el material vegetal (cáscara de cacao, plátano y otros) bien picado para ser sometido a un proceso

de pre-descomposición; es muy importante humedecerlo con frecuencia.

Se recomienda utilizar para cada metro cuadrado de cama, 20 kilogramos de semilla (lombriz-sustrato) de buena calidad, la cual se debe transportar en recipientes o empaques apropiados para evitar la muerte de las lombrices (Figura 15).

6.3.4.3. Pie de cría

El pie de cría es la población inicial, constituye la cantidad de lombrices de todas las edades con la que se inicia la cría, en el proceso de lombricultura.

Pie de cría = 1 kg de lombrices que equivale a unos 1200 individuos.

La inoculación es el procedimiento mediante el cual se colocan las lombrices en la cama de siembra.

La cama de siembra puede ser construida de diversos materiales: madera, plástico, metálico, canteros sobre el suelo recubiertos con plástico o cemento. Debe tener entre 1.20 a 1.50 de ancho por el largo que se considere necesario, aunque no debe rebasar los 10 m de longitud. La cama debe construirse de manera que exista una inclinación del 1% hacia uno de los extremos, al borde del cual se construirá un depósito de unos 60 cm por lado que permita recolectar los efluentes que emanarán de la biomasa.

Sobre la cama de siembra se coloca una capa de unos 10-15 cm de humus o composta elaborada previamente.

La inoculación se realiza colocando un kg de lombrices por m², las cuales son colocadas al centro de la cama en un surco; después son cubiertas con composta y humedecidas ligeramente.

No es necesario extender las lombrices sobre la cama, ya que ellas se dispersaran solas al momento de buscar el alimento.

6.3.4.4. Alimentación

Se debe tener en cuenta que los residuos que van a servir de alimentos no estén contaminados con productos químicos o en estado de fermentación lo que podría elevar la temperatura de las camas. Las lombrices necesitan alimentos balanceados con suficientes proteínas (no más del 10%), vitaminas y celulosa.

Algunos excrementos contienen mucha proteína y pueden dañar a las lombrices, por ejemplo la gallinaza y la palomina, por lo que estos deben mezclarse con otros residuos vegetales.

Las lombrices comen de todo menos vidrios, plástico, piedras y lata; no se debe alimentar en los tres primeros días después de ser instaladas; durante estos días hacen sus propias galerías en el sustrato.

A partir del tercer día se inicia la alimentación mediante el suministro del sustrato pre-descompuesto y con una humedad del 60%. Cada cuatro días se debe suministrar como alimento cantidades apropiadas de sustrato, dependiendo de la población de lombrices, del tamaño de los gránulos y del grado de descomposición del sustrato, hasta llenar la capacidad del módulo. Condiciones que debe reunir un buen alimento:

- Contenido de humedad: que no exceda el 80% de la capacidad de campo.
- Consistencia: debe estar lo más suelta posible.
- Temperatura: 24 – 27°C.
- Alcalinidad o acidez: Variará en un pH entre 6.5 y 9.5; en este contexto es importante tomar en cuenta que en las regiones tropicales una materia orgánica con un pH de 7 ya está degradada y por lo tanto no sirve de alimento a las lombrices.

Las camas se alimentan una vez por semana, colocando superficialmente una capa de 10 a 15 cm. de alimento.

La lombriz come una cantidad equivalente a su propio peso todos los días y expulsa el 60% de la misma en forma de humus; se

puede conseguir una mayor producción aumentando el número de lombrices por módulo. Se alimenta más en la oscuridad, por lo cual los módulos deben ser cubiertos con plástico negro que ayuda a mantener la humedad y proporciona condiciones de penumbra requeridas para un buen proceso de alimentación y mantenimiento de la lombriz.

6.3.4.5. Manejo y cuidados del criadero

- Temperatura: si la temperatura es muy alta pueden morir, y si es baja no se reproducen. Si la temperatura es muy alta y hace mucho calor, es necesario regar frecuentemente.
- pH: este de estar entre 6.5 y 9.5. Sustratos con un pH neutro no son recomendables.
- Oxigenación: La materia orgánica que sirve de alimento a las lombrices debe estar suelta para que el oxígeno penetre en ella. Por lo que al regarla, la caída del agua sobre la superficie debe ser suave y el chorro fino, para evitar la compactación de la misma.
- Iluminación: Las lombrices para un buen desarrollo necesitan sombra y privacidad.

Cuidados

Enemigos de las lombrices: pájaros, sapos, zorros, hormigas.

Cosecha

El fin del ciclo poblacional está enmarcado para un óptimo aprovechamiento en 90 días a partir de la siembra, momento en el cual el crecimiento de la población es máximo, por lo que el espacio comienza a convertirse en una limitante por lo que es necesario dividir el pie de cría.

La cosecha consiste en separar el humus y los ácidos húmicos de las lombrices.

La cosecha puede realizarse 2 o 3 veces al año; después de 3 a 6 meses de la siembra de lombrices (Figura 16).

Para la recolección de la lombriz y cosecha del abono, se suspende por cuatro a seis días el suministro de alimento, posteriormente se coloca sobre la superficie una malla que permita el paso de la lombriz y sobre ella se coloca el alimento; cuatro días después se retira la malla con la lombriz-sustrato.

Este proceso que se debe repetir una o dos veces como trampeo para sacar la mayor cantidad de lombrices y luego se procede a sacar el abono hasta dejar vacío el módulo, quedando listo para reiniciar el proceso utilizando como semilla el material extraído en la malla.

Recomendaciones

- No se debe humedecer demasiado el sustrato ya que se compacta y dificulta la aireación disminuyendo el rendimiento de la lombriz.
- Los residuos vegetales deben picarse lo más finamente posible para favorecer el trabajo de la lombriz.
- Es necesario que todos los residuos orgánicos vegetales y animales pasen por los compartimientos de pre-descomposición para evitar condiciones adversas que afecten el desarrollo de la lombriz.
- El lombricultivo se debe ubicar lejos del ruido y paso de vehículos, puesto que las vibraciones perjudican a las lombrices, impidiendo su normal reproducción y desarrollo.
- Los residuos vegetales que hayan sido tratados con plaguicidas, no se deben utilizar para alimentar las lombrices, porque afecta negativamente la lombriz llegando a causarle la muerte.
- Cuando se utilice material vegetal tratado con plaguicidas se debe esperar dos meses como mínimo para suministrarlo a la lombriz.
- Si el suelo de la finca posee bajo contenido de calcio y magnesio, se puede emplear cal dolomita; nunca se debe utilizar cal viva.

- El papel limpio, por su contenido de celulosa, es un alimento ideal para las lombrices; sin embargo, hay que tomar en cuenta que el papel periódico y de revistas persisten los metales pesados (cadmio) utilizados en la elaboración de tintas; estos minerales no se descomponen en el suelo e intoxican a las lombrices.
- La vermicomposta, se pueda almacenar en un sitio fresco, sombreado y con una humedad de 30%, puede permanecer en buenas condiciones por mucho tiempo. La explotación de lombriz no origina olores, por lo tanto puede ubicarse en cualquier lugar.

El humus debe aplicarse en una cantidad mínima de 3 toneladas por hectárea por año. Su uso se justifica principalmente para la nutrición integral (orgánica-mineral) de preferencia en cultivos de alta rentabilidad, particularmente hortalizas. La forma de aplicación más conveniente es localizar el humus alrededor de las plantas o en bandas.

La vermicomposta no debe quedar expuesta al sol ni al aire.

La cantidad de vermicomposta a aplicar esta en relación con los requerimientos del cultivo y del estado del suelo.

Aplicación en cacao: 1 a 3 kg/planta al año.

Los ácidos húmicos se pueden aplicar como abono foliar, en dosis de 1 a 2 litros de ácidos húmicos diluidos en 20 litros de agua.

6.3.4.6. Aplicación de lombricomposta en cacao

Esta práctica es de uso reciente en plantaciones de cultivos perennes como es el caso del cacao. En cacao se han realizado algunas experiencias con esta práctica como mejoradora de suelos. Es conocido que la deyección de las lombrices, o vermicomposta, produce una materia prima de excelente calidad fertilizadora y restauradora de los suelos agrícolas, debido a que incorpora fitohormonas y ácidos húmicos, además de restituir la flora microbiana propia de la capa vegetal, la cual se debilita

significativamente por el uso de agroquímicos. El uso de la lombricultura, como alternativa en el manejo de plantaciones de cacao, contribuye a la transformación de la materia orgánica en humus, que a su vez vendrá a constituir el sustrato especial para una óptima nutrición de las plantas de cacao, sin tener que recurrir en forma asidua al uso de macro y microelementos químicos. Se utiliza un compost terminado, el cual es inoculado con huevos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y al cabo de cuatro o seis meses se aplica parte de este humus, con sus lombrices incorporadas, como capa superior del sustrato de las plantitas que van a producirse en viveros, y cuando se trasplanten al campo, llevarán consigo las lombrices que se multiplicarán en los puntos de siembra de la plantación.

De acuerdo con Mejía y Palencia (2003) la aplicación de un kilogramo de lombricomposta por planta, le aporta al suelo 2.8 gramos de calcio y 1.0 de magnesio lo cual lo hace apto para ser aplicado en suelos ácidos, puesto que este compuesto tiene un grado de alcalinidad de 7.9. Aporta al suelo 20 gramos de nitrógeno, 0.61 de fósforo, 2.02 de potasio y elementos menores de los cuales el más importante es el azufre 0.32 y el manganeso con 0.066 gramos.

7. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA EL MANEJO ORGÁNICO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL CACAO

Para el manejo de la fertilización orientada al mantenimiento de un buen equilibrio físico, químico y natural de los suelos y así mantener rendimientos óptimos en una plantación de cacao, antes de la elección del tipo de abono o enmienda, las cantidades a aplicar, y las épocas de aplicación, deben considerarse los siguientes aspectos:

1. El conocimiento de la plantación de cacao: la edad, el historial de la fertilización sea esta convencional u orgánica, el manejo de la plantación (poda o no poda), el tipo de árboles de sombra y el manejo que se le da a esta.
2. Identificar la presencia de síntomas de deficiencias minerales, esto con la finalidad de analizar los productos a aplicar y su posible respuesta.
3. En la medida de lo posible realizar un análisis físico y químico del suelo de la plantación.
4. Conocer el clima de la región: es importante conocer los ciclos de lluvia, la nubosidad y las temperaturas que se presentan y la topografía del terreno.
5. Conocer la fenología de la planta de cacao: esto quiere decir el comportamiento de la planta de cacao en lo que se refiere a épocas de floración, el amarre de chilillos, desarrollo de frutos, producción de mazorcas maduras y la frotación foliar.

A continuación se presentan propuestas prácticas para la fertilización orgánica del cacao, dependiendo del producto y de la edad de la planta las cuales constituyen sugerencias ya que estas cantidades y frecuencias pueden según la topografía del terreno, los análisis de suelos, el manejo de la plantación, entre otros factores.

a) En plantas de Vivero:

Producto y dosis	Cantidad	Frecuencia de aplicación
Lombricomposta	50 g/planta	Mensual
Ac. Húmico	150 ml/bomba de 20 litros	Mensual
Composta	100 g/planta	Al momento de la siembra
Caldo magro	0.5 litro/bomba de 20 litros en aspersión foliar	Cada dos meses

b) Planta juvenil menor a 5 años:

Producto y dosis	Cantidad	Frecuencia de aplicación
Lombricomposta	250-500 g/planta	Dos veces al año
Ac. Húmico	250 ml/bomba de 20 litros	Dos veces al año
Composta	250 a 500 gramos/planta	Dos veces al año
Cal agrícola	250 - 500 g/planta	Anual
Cal dolomita	100 - 200 g/planta	Anual
Roca fosfórica	100 - 200 g/planta	Anual
Caldo magro	1 litro/bomba de 20 litros en aspersión foliar	5 a 7 veces al año

c) Planta adulta en producción

Producto y dosis	Cantidad	Frecuencia de aplicación
Humus de lombriz	1 a 2 kg por planta	Anual
Ac. Húmico	500 ml/bomba de 20 litros	Dos veces al año
Composta	2-3 kg/planta	Anual
Cal agrícola	250 – 500 g/planta	Anual
Cal dolomita	250 – 500 g/planta	Anual
Roca fosfórica	250 – 500 g/planta	Anual
Caldo magro	1-2 litros/bomba de 20 litros en aspersión foliar	5 a 7 veces al año

En general es aconsejable aplicar los abonos en dos o tres aplicaciones, sobre todo los que se incorporan al suelo, con la finalidad de evitar pérdidas de elementos por evaporación o escurrimiento, facilitándose así a la planta los elementos nutritivos en las épocas más adecuadas para su mejor aprovechamiento.

En el siguiente diagrama se presenta un cronograma con la integración de las diversas actividades incluidas el abonamiento para realizar un manejo agroecológico de una plantación de cacao.

Ecofisiología del árbol de cacao / manejo agronómico	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Brotación de hojas y crecimiento de ramas		■			■			■			■	
Floración, polinización, fecundación			■	■	■			■	■	■		
Fructificación-desarrollo de frutos	■			■	■	■		■	■	■	■	■
Poda de mantenimiento		■				■						
Regulación de árboles de sombra					■	■						
Abonamiento			■		■		■		■		■	
Manejo de arvenses				■				■	■			
Manejo de plagas y enfermedades	■	■			■	■	■		■	■	■	■
Cosecha	■	■			■	■	■			■	■	■
Beneficio: fermentación y secado	■	■			■	■	■			■	■	■

Cuadro 14. Plan de manejo agronómico de una plantación de cacao.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ahenkorah Y. 1969. A note on zinc deficiency in cacao (*Theobroma cacao* L.). Ghana Journal of Agriculture Science 2: 3 -6.
- Almeida, A. F. and Valle, R. R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology 19(4): 425-448. ISSN 1677-0420.
- Altieri M. y Nichols C. I. 2000. Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México D. F. ISBN 968-7913-04-X.
- Alpízar, L., H. W. Fassbender, J. Heuvelop, H. Fölster and G. Enríquez. 1986. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica I. Inventory of organic matter and nutrients. Agroforestry Systems 4(3): 175-189.
- Alvim, P. de T. 1988. Relações entre fatores climáticos e produção do cacauero. In: Proc. 10th Int. Cocoa Res. Conf., Santo Domingo, Dominican Republic. Proceedings : 159-167.
- Alvim, P. de T. 1954. Studies on the cause of cherelle wilt of cacao. Turrialba 4: 72-78.
- Alvim, P. de T. 1959. El problema del sombreamiento del cacao desde el punto de vista fisiológico. In: Proc. 7a Conferencia Interamericana de Cacao, Palmira, Colombia. pp: 294-303.
- Alvim, P. de T. 1960. Las necesidades de agua del cacao. Turrialba 10:6-16.
- Alvim, P. de T. 1977. Cacao. In: Alvim P. de T. and Kozlowski T. T. (eds). Ecophysiology of Tropical Crops. Academic Press, London. pp: 279-313.

- Baier A. 2006. El proceso de la certificación orgánica: serie de mercadotecnia, negocios y manejo de riesgo. ©INCAT. www.attra.ncat.org/attra-pub/procertif.html
- Baligar V. C. and Fageria N. K. 2005. Aluminum influence on growth and uptake of micronutrients by cacao. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 3(3&4): 173 - 177.
- Baligar, V. C., J. A. Bunce, B. A. Bailey, R. C. Machado and A. W. V. Pomella. 2005. Carbon dioxide and photosynthetic photon flux density effects on growth and mineral uptake of cacao. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 3(2): 142 - 147.
- Benito S. J. A. s.f. Paquete tecnológico de manejo integrado del cacao. INIA, Ministerio de Agricultura, Tarapoto, Perú. 8p.
- Blanco A., Suárez G. M. y Breff, F. 1999. Respuestas de las posturas de cacao (*Theobroma cacao* Lin) a la fertilización con humus de lombriz. *In: Simposio internacional de café y cacao. Santiago cuba, 25-27 nov. Programa de conferencias y resúmenes.* pp: 62.
- Braudeau J. 1991. Le cacaoyer. G.-P Maisonneuve & Larose, Paris, France. 304p.
- Cabala R. P. 1970. Influencia del encalado en las formas, fijación y disponibilidad de fosforo em suelos de la region cacaotera de Bahia, Brasil. Tesis magister Scientiae, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, OEA. Turrialba, Costa Rica. 97p.
- Chaboussou F. 1980. Plantas doentes pelo uso de agrototoxicos: A teoria da trofobiose. LPM, Bordeaux, France. 249p.
- Compañía Nacional De Chocolates (ed) 1983. Manual para el cultivo del cacao. Departamento de Fomento, Compañía Nacional de Chocolates S.A. Medellín, Colombia. 151p.

- Cope, F. W. 1979. Cacao *Theobroma cacao* L. In: SIMMONS, N. W. ed. 1979. Evolution of crop plants. Longman New York, USA. pp: 282-289.
- Enríquez, G. A. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie materiales de enseñanza No. 22. 240p.
- Fassbender H. W., L. Alpízar, J. Heuvel dop, H. Fölster and G. Enriquez. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica III. Cycles of organic matter and nutrients. Agroforestry Systems 6(4): 49-62.
- Fassbender H. W. y Bornemisza E. 1987. Química de suelos con énfasis en América Latina. San José Costa Rica, IICA. 420p.
- Fernández M. M. V., Varela G. O., Garibay S., V., Weidmann G. (ed.). 2007. Segundo Encuentro latinoamericano y del caribe de productoras y productores, experimentadores y de investigadores en agricultura orgánica, 1 al 5 de Octubre de 2007, Antigua Guatemala, Guatemala. Memorias de resúmenes. 222p.
- Ferruzi, C. 1994. Manual de Lombricultura. Trad. C. Buxade. Mundi prensa. España. 138p.
- Fürst M., Casale J., Wilhelm B. 2005. IFOAM Tools and Methodologies for Implementation of Chapter 8 on Social Justice of the IFOAM Basic Standards. IFOAM, Germany. ISBN No 3-934055-57-5.
- García, P. R. E. 1999. La lombricología en la agricultura orgánica. In: IV Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica, La agricultura orgánica es una ventana abierta a un futuro biosustentable. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. Memorias: 256-261.
- Girón, C. y Juan, T. 2002. Evaluación preliminar de lombricompuesto de cacao en el crecimiento de plantas de cacao en vivero. In:

Memoria del Primer Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. Venezuela.

Gómez, D. 1995. La agricultura orgánica en Costa Rica y las alianzas estratégicas. *In*: García G., J. E., Monge-Nájera, J. (comp.) 1995. Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica. 6-11 de marzo de 1995, San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED). Memoria: 215-236.

Hardy, F. (ed). 1960. Cacao manual. Turrialba, Costa Rica. Inter-American Institute of Agricultural Science. 395 p.

Huber, G. et Schaub, Ch. 2011. Guide des fertilisants azotés utilisables en bio. Agriculture et territoires, Chambre d'agriculture du Bas-Rhin, Alsace, France. 14p.

Hunter J. R. 1990. The status of cacao (*Theobroma cacao* L., Sterculiaceae) in the western hemisphere. *Economic Botany* 44(4): 425-439.

IFOAM. 2006. Manual de capacitación en agricultura orgánica para los trópicos. International Federation of Organic Agriculture Movements. Research Institute of Organic Agricultura. ISBN 3-934055-35-4

León, J. 1987. Botánica de los Cultivos Tropicales. IICA, San José Costa Rica. pp: 337-340

López B. O., Ramírez G. S. I., Espinosa Z. S., Villarreal F. J. M.. 2009. Elaboración y aplicación de abonos orgánicos y lombricomposta. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Universidad Autónoma de Chiapas, Fundación Produce Chiapas. 72p. ISBN: 978-607-00-1445-1.

López B. O., Ramírez G. S. I., Ramírez G. M., Moreno B. G., Alvarado G. A. (ed). 2006. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. Primera edición, Editorial UPTC-UNACH, Tunja, Boyacá, Colombia. 427p. ISBN: 958-6-60-110-2.

- López B. O. 2004. Perspectivas de la agricultura orgánica. *In: Ciclo de seminario institucional, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula, 19 de febrero del 2004, Tapachula, Chiapas, México.*
- López B. O., Toledo A. J., Gutiérrez C. L., Moreno M. J. L. 2003. Manejo orgánico y renovación de plantaciones improproductivas de cacao (*Theobroma cacao* L.). *In: V Encuentro Internacional de Agricultura Orgánica, 26 - 30 de mayo. ACTAF, La Habana, Cuba. Resúmenes: 90.*
- López B. O. 2003. Desarrollo de tecnologías para producción orgánica de cacao, la experiencia Mexicana. *In: VII Quincena de la Investigación, 8 al 19 de septiembre del 2003, Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.*
- López, B. O., Sandoval, G. A. y Soto, R. J. 1988. Sistemas de Producción en Cacao (*Theobroma cacao* L.), en la Región del Soconusco, Chiapas. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicas. México, D.F. Folleto Técnico No. 70. 169p.
- López, B. O. y Huerta, P. G. 1988. Manual Sobre el Cultivo de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) SARH. Talleres gráficos del Centro de investigaciones agrícolas del Pacífico sur en Ocozocouatla, Chiapas.
- Luna, G. L. A. y Reyes, T. A. 2005. Transformación de residuos orgánicos en abonos de buena calidad. CORPOICA, Bogotá, Colombia. Boletín técnico No. 26. 24p.
- Machicado, M. 1954. Diagnóstico de deficiencias minerales en cacao por síntomas visuales, ensayos en invernadero e inyecciones en el tronco. Tesis Magistri Agriculturae, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica. 81p.

- Martínez, S. M. 2002. Aprovechamiento de la cáscara del fruto de cacao para la producción de abono orgánico. Tesis de Maestría en Ciencias, Fac. de Ciencias Agrícolas, UNACH, Campus IV. Huehuetán, Chiapas. 88p.
- Martínez, S. M. y López B. O. 2003. Producción de abono orgánico a partir de la cáscara del cacao. *In: V Encuentro Internacional de Agricultura Orgánica*, 26 - 30 de mayo. ACTAF, La Habana, Cuba.
- Martínez, R. F., Calero, M. B., Nogales, V-M. R. y Rovesti, L. 2003. Lombricultura manual práctico. Editorial Minrex. 1º edición. La Habana, Cuba. pp: 52.
- Mejía, F. L. A. y Palencia, C. G. E. 2003. Abono orgánico y su manejo en el cultivo del cacao. CORPOICA, Bucaramanga, Colombia. 23p.
- Mejía, F. L. A., Palencia, C. G. E., Mogollón, B. A., Contreras, M. N., Guiza, P. O. y Teloza, O. J. A. 2003. Producción de cacao mediante la aplicación de compuestos orgánicos. CORPOICA, Bucaramanga, Colombia. Boletín técnico 39p.
- Mejía, G. M. 1995. Agricultura para la vida: Movimientos alternativos frente a la agricultura química. Cali, Colombia. 252p.
- Mohd, Y. A. S. M., A. Kamil M. J. and Hamzah D. 2007. The effect of various rates of phosphate application on the growth of Cocoa seedlings and its nutrient uptake in relation to chemically Available phosphorus in the soil and age of seedling. *Malaysian Cocoa Journal* 3: 1-12.
- Montelongo, O. E. 2003. Respuesta de la "Hawaiiana" *Alpinia purpurata* (Vieill.) K. Schum. a la aplicación de abonos orgánicos. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV. Huehuetán, Chiapas. 88p.
- Nakayama, L. H. I., Pinto, L. R. M., Santana, C. J. L. de. 1987. Efeito de doses de calcário na cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.).

In: 10th. International Cocoa Research Conference. Santo Domingo, República Dominicana. 17-23 May 1987. Actas.Proceedings : 259-264.

Niggli, U., Slabe, A., Schmid, O., Halberg, N. and Schlüter, M. 2008. Vision for an Organic Food and Farming Research Agenda to 2025 Organic Knowledge for the Future. IFOAM Regional Group European Union, (IFOAM EU Group). Brussels, Belgium. International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR), Bonn, Germany. 45p.

Noriega, A. G., Cruz, H., S. y Altamirano, P. A. L. 2001. Producción de abonos orgánicos y lombricultura. Curso-Taller. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Fundación Produce Chiapas A. C. Memorias. 94p.

Omotoso, T. 1975. Amounts of Nutrients removed from the soil in harvested Amelonado and F3 Amazon Cacao during a year. Turrialba (Costa Rica) 235: 425-428.

Oleta, B. J. A. 2003. Efectividad de abonos orgánicos y microorganismos biofertilizantes en el crecimiento de plantas de cacao en estado juvenil. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV. Huehuetán, Chiapas. 90p.

Peña, T. E, Carrión, R. M., Martínez, F., Rodríguez, N. A. y Companioni, C. N. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana, Editorial Doun. La Habana. pp: 22-23.

Purseglove, J. W. 1977. Tropical crops. Dicotyledons. Longman, Hong Kong. pp: 570-598.

Ramírez, G. S. I. 2003. Informe técnico de proyecto investigación participativa para el manejo ecológico del cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth) en municipios productores del departamento de Boyacá, Colombia. PRONATA, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

- Restrepo, R. J. 1994. Teoría de la trofobiosis: Plantas enfermas por el uso de agrotóxicos. <http://terra.es/personal/jafras/ab/trofobio.html>.
- Restrepo, R. J. 2007. Manual práctico: el a, b, c de la agricultura orgánica y harina de rocas. Primera edición SIMAS, Managua, Nicaragua. 262 p. ISBN: 978-99924-55-27-2.
- Sáenz, P. G. (ed). 2003. Prácticas de conservación de suelos: abonamiento orgánico en el cultivo de la mora. Folleto para productores: serie lo que dijo el armadillo, No. 3. 44p.
- Sánchez, N., Subero, N., Rivero, C. 2011. Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. Acta Agronómica (Universidad Nacional de Colombia) 60 (2): 190-197.
- Salgado, M. M. G. 2002. Incorporación de materia orgánica y reciclaje de nutrientes en el agroecosistema cacao. Tesis de Maestría en Ciencias, Fac. de Ciencias Agrícolas, UNACH, Campus IV. Huehuetán, Chiapas. 52p.
- Salgado, M. M. y López, B. O. 2003. Incorporación de materia seca y elementos minerales provenientes del reciclaje en los sistemas de producción cacao (*Theobroma cacao* L.) - Chalum (*Inga micheliana*) y Cacao - Mamey (*Pouteria sapota*). In: V Encuentro Internacional de Agricultura Orgánica, 26 – 30 de mayo. ACTAF, La Habana, Cuba. Resúmenes: 152.
- Salgado, M. M., López, B. O. y Gutiérrez, C. L. 2002. Incorporación de materia seca y elementos minerales provenientes del reciclaje en los sistemas de producción cacao-chalum (*Inga micheliana*) y cacao-mamey (*Pouteria zapota*). In: Primer Congreso Internacional de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria, 19 al 22 de febrero, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

- Sánchez, F. L. E., Parra, D., Gamboa, E., Rincón, J. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro* 17(2): 119-122.
- Soto, G. 2003. Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Memorias de taller. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111p.
- Suárez, G., Blanco, A. y Vázquez, Z. 1999. Influencia de diferentes fuentes orgánicas en el crecimiento y desarrollo de plantas híbridas de *Theobroma cacao*. In: Simposio internacional de café y cacao. Santiago cuba, 25-27 nov. Programa de conferencias y resúmenes. pp: 56.
- Suriano, C. E. de J. y López, B. O. 2004. Lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) presentes en el agroecosistema cacao. In: Primer Congreso internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. 10 - 12 de marzo del 2004. SOMELAO, Guadalajara, Jalisco, México.
- Toledo, A. J. 2002. Manejo orgánico y renovación de plantaciones improductivas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo, Fac. de Ciencias Agrícolas, UNACH, Campus IV. Huehuetán, Chiapas, México. 76p.
- Toledo, M. E. 2003. Efecto de abonos orgánicos fermentados y vermicomposta en el crecimiento de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV. Huehuetán, Chiapas, México. 57p.
- Uribe, A., Méndez H. y J. Mantilla. 2000. Efecto de niveles de nitrógeno, fosforo y potasio en la producción de cacao en Colombia. INPOFOS Informaciones Agronómicas 41: 5-7.
- Verlière, G. 1981. Fertilisation et nutrition minérale du cacaoyer. ORSTOM, Paris, France. 256p.

Virupax, C. B. and Nand, K. F. 2005. Soil aluminum effects on growth and nutrition of cacao. *Soil Sci. Plant Nutrition* 51 (5): 709-713.

Wood, G. A. R. and Lass, R. A. 1985. *Cocoa*. Tropical Agriculture Series. Longmans, 4th. edition, London. 620p.

GALERÍA DE IMÁGENES



Figura 1. Cacaotal bajo arboles de sombra de diferente dosel.



Figura 2. Cacao en un sistema agroforestal.



Figura 3. Cacao en un arreglo con café y arboles forestales

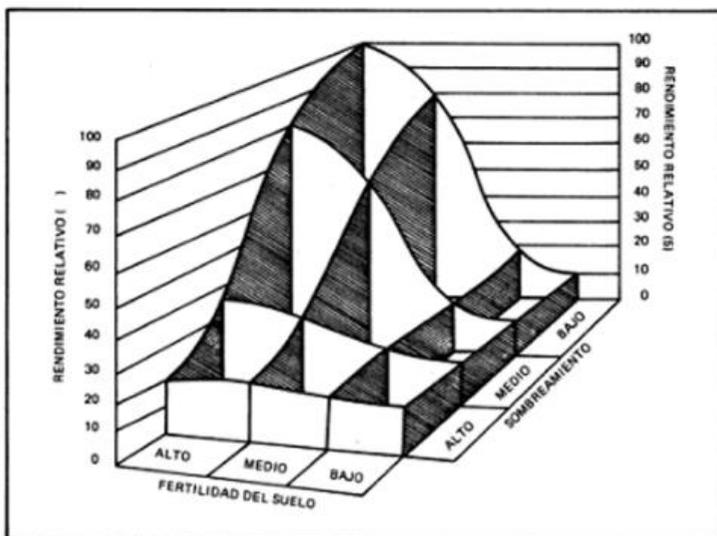


Figura 4. Relación entre la fertilidad del suelo, el sombreado y el rendimiento en cacao. Adaptado de Alvim, (1977) y Enríquez (1985).

ELEMENTO	SINTOMAS DE DEFICIENCIA		
Potasio			
Nitrógeno			
Fósforo			
Azufre			
Magnesio			
Zinc			
Calcio			
Boro			

Figura 5. Síntomas de deficiencias nutricionales en cacao. Adaptado de International Plant Nutrition Institute-IPNI.

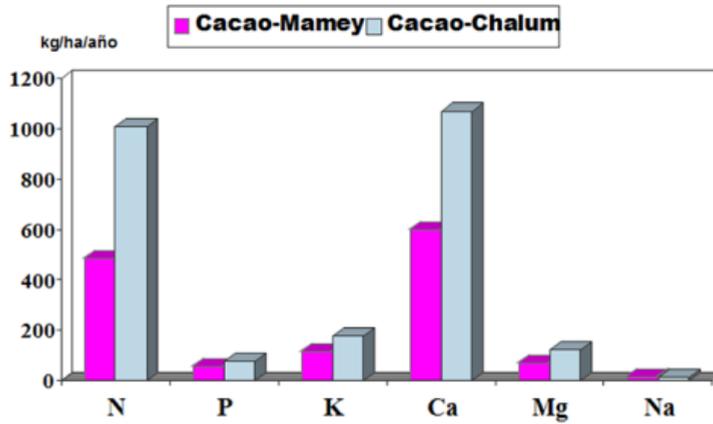


Figura 6. Aportes en kg/ha/año de macroelementos producto del reciclaje en dos sistemas de producción de cacao. Tapachula, Chiapas, México.

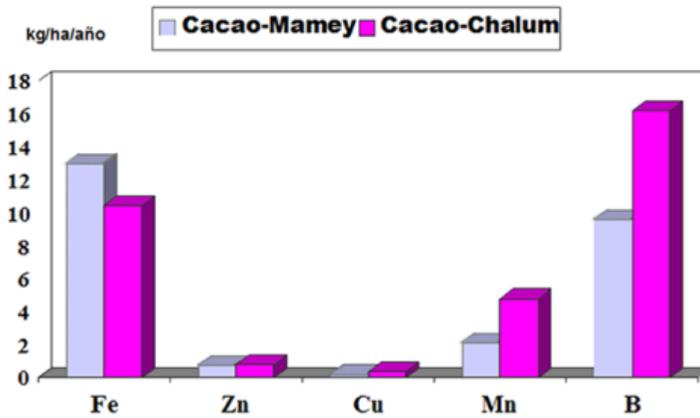


Figura 7. Aportes en kg/ha/año de microelementos producto del reciclaje en dos sistemas de producción de cacao. Tapachula, Chiapas, México.

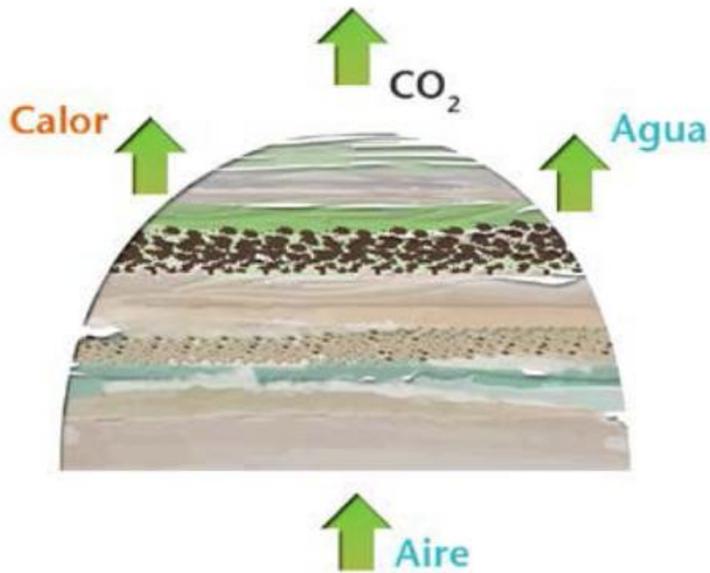


Figura 8. Pila de compostaje

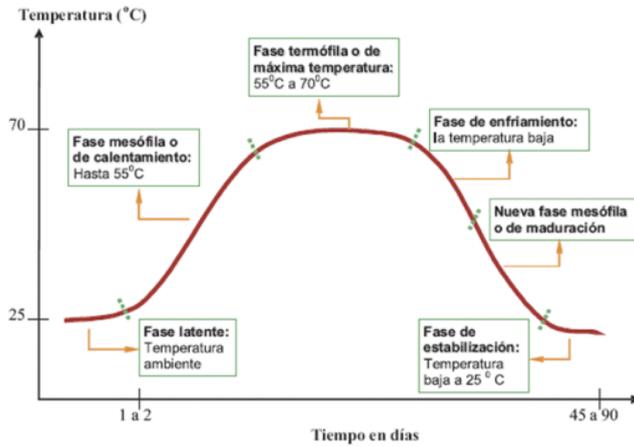


Figura 9. Fases del proceso de compostaje. (Adaptado de Luna, 2006).



Figura 10. Elaboración de compostas.



Figura 11. Elaboración de abono tipo Bocashi.



Figura 12. Preparación de abono líquido fermentado tipo aeróbico.



Figura 13. Diseño de biofermentadores tipo anaeróbico (tanque y bidón).



Figura 14. Elaboración de abono líquido fermentado tipo anaeróbico



Figura 15. Preparación de cama de siembra del pie de cría de lombriz roja californiana.



Figura 16. Lombricomposta y ácidos húmicos líquidos obtenidos mediante el cultivo de lombrices.