Manejo Biológico del Cacao:
Biocontrol, Biofertilización y Bioestimulación

Por Domenico Pavone

El cultivo de cacao constituye uno de los pilares agroeconómicos y sociales más relevantes en las regiones tropicales de América Latina, África y el Sudeste Asiático. Sin embargo, los agroecosistemas cacaoteros se ven severamente amenazados por una presión constante de patógenos fúngicos y plagas de insectos que pueden mermar entre el 30% y el 90% de la producción potencial. Frente a las limitaciones ambientales, los problemas de resistencia y los riesgos a la salud asociados al uso indiscriminado de agroquímicos sintéticos, el manejo biológico y la potenciación de la microbiota nativa emergen como la estrategia ecológica más prometedora y sostenible. Este artículo analiza en profundidad el papel de los microorganismos benéficos asociados al cacao —hongos micoparasíticos, hongos entomopatógenos, bacterias endófitas y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal—, detallando sus mecanismos moleculares y fisiológicos, las plagas y enfermedades que combaten, y su integración práctica en sistemas agroforestales resilientes.

El cultivo del Cacao y su Microbiota Beneficiosa

El árbol de cacao es una especie perenne que habita naturalmente en los sotobosques tropicales. En condiciones de manejo agroecológico y agroforestal, la planta establece una compleja red de interacciones simbióticas con el microbioma edáfico y tisular (holobionte). Esta microbiota no solo habita la rizosfera (zona de influencia radicular), sino que coloniza activamente la filosfera (superficie foliar y del fruto) y la endósfera (tejidos internos de xilema, brotes y corteza), proporcionando una barrera biológica frente al ataque de fitopatógenos e insectos plaga.

Las enfermedades más devastadoras del cultivo en América incluyen la moniliasis o pudrición helada de la mazorca causada por el hongo hemibiotrófico *Moniliophthora roreri* , la escoba de bruja producida por *Moniliophthora perniciosa* , y la pudrición negra causante de grandes pérdidas por especies del género *Phytophthora* (especialmente *Phytophthora palmivora* y *Phytophthora megakarya*). Asimismo, plagas emergentes como el mazorquero o barrenador americano de la mazorca (*Carmenta foraseminis*), el barrenador asiático de la mazorca (*Conopomorpha cramerella*), chinches miridos (*Sahlbergella singularis*), chinches del género *Distantiella* y termitas subterráneas (*Odontotermes* spp.) generan galerías y pérdidas catastróficas en el grano comercial. La intervención biológica aprovecha la diversidad de microorganismos benéficos para restaurar el equilibrio en estas plantaciones.



El cacao es un producto agrícola muy valorado en mercados internacionales. Imagen de Graniel7 en Pixabay

Fungicidas Biológicos en cacao: Especies y Mecanismos del Género Trichoderma

El género *Trichoderma* representa el grupo de hongos biocontroladores más estudiado y comercializado a escala mundial. En agroecosistemas cacaoteros, investigaciones taxonómicas y genómicas han identificado más de 39 especies asociadas a la rizosfera y los tejidos del cacao, destacándose cepas nativas pertenecientes a los clados *Harzianum*, *Viride*, *Longibrachiatum* y *Hamatum*.

Principales Especies y Cepas Promisoras

Investigaciones realizadas en el agroecosistema cacaotero de México, Perú, Ecuador y Brasil han demostrado la elevada efectividad de aislamientos específicos:

- *Trichoderma harzianum* : Destacan los aislamientos nativos TTC090, TTC039 y TTC073 (obtenidos en Tabasco, México), así como la cepa *T. harzianum* 1051, ampliamente evaluada en Brasil.
- *Trichoderma virens* : Sobresale el aislamiento TTC017, caracterizado por su acelerado crecimiento micelial y capacidad antagonista superior incluso a temperaturas elevadas de 35 °C.
- *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma viride* : Cepas aisladas en la Amazonía peruana y en la isla de Ambon (Indonesia) que han mostrado una inhibición *in vitro* de hasta el 79% y una reducción *in vivo* del 77% en la pudrición negra de la mazorca causada por *Phytophthora palmivora*.
- *Trichoderma hamatum* (cepa DIS 219b): Un endófito clave que coloniza los tricomas y tejidos vasculares del cacao, estimulando el crecimiento vegetativo y retrasando los síntomas de estrés hídrico por sequía.
- *Trichoderma stromaticum*: Micoparásito especializado utilizado experimental y

comercialmente en Brasil para el control biológico de la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*).

- Especies endófitas emergentes : Reportes recientes en el norte de Perú han identificado a *Trichoderma sexdentis*, *Trichoderma strigosum*, *Trichoderma erinaceum*, *Trichoderma afroharzianum* y *Trichoderma parareesei* como endófitos vasculares con potencial antagonista superior al 80% contra *Moniliophthora roreri* y *Fusarium* sp.

Mecanismos de Acción

Trichoderma actúa mediante una batería combinada de mecanismos directos e indirectos:

1. Micoparasitismo activo: El hongo reconoce químicamente al patógeno, se enrolla alrededor de sus hifas y secreta enzimas hidrolíticas como β-1,3-glucanasas, quitinasas y proteasas que disuelven la pared celular de *Moniliophthora* y *Phytophthora*.
2. Antibiosis: Producción de metabolitos secundarios volátiles y no volátiles como la viridiana, tricomidina, ácido nonanoico y el compuesto volátil 6-pentil-2H-piran-2-ona (6-PP), los cuales inhiben la germinación de esporas y el crecimiento micelial.
3. Competencia por espacio y nutrientes: Su rápido ritmo de esporulación y desarrollo micelial le permite colonizar los cojinetes florales y las heridas del fruto antes de que lleguen las esporas de los patógenos.
4. Inducción de Resistencia Sistémica (ISR/SAR): La colonización endofítica activa las vías de señalización del ácido salicílico, ácido jasmónico y etileno en la planta de cacao, desencadenando la acumulación de fitoalexinas y proteínas relacionadas con la patogénesis (PR-proteins).
5. Promoción del crecimiento y fitorremediación : Solubiliza fósforo inorgánico, sintetiza derivados de ácido indolacético (auxinas) y promueve el desarrollo radicular. Además, especies nativas de la rizosfera como *T. brevicompactum* , *T. harzianum* y *T. spirale* han demostrado capacidades para inmovilizar o reducir la absorción de cadmio (Cd) en suelos cacaoteros.

Insecticidas Microbianos en cacao: Hongos Entomopatógenos

Para el control de insectos plaga que dañan el pericarpio y las semillas del cacao, los hongos entomopatógenos constituyen una herramienta de biocontrol sumamente efectiva.

Beauveria bassiana

Beauveria bassiana es un hongo capaz de infectar a los insectos y al mismo tiempo establecerse como endófito sistémico dentro del cacao mediante aspersión foliar, inmersión de semillas o inoculación del suelo.

- Mecanismo de infección: Las conidias se adhieren a la cutícula del insecto, germinan y forman apresorios. Mediante enzimas lipasas, proteasas y quitinasas, atraviesan el exoesqueleto, proliferan en el hemocele y secretan toxinas como la beauvericina hasta causar la muerte del huésped.
- Eficacia en cacao: Controla efectivamente las larvas y adultos del mazorquero (*Carmenta foraseminis*), reduce el ataque del barrenador de la mazorca (*Conopomorpha cramerella*), disminuye la severidad de la broca del fruto y combate el picudo del cocotero (*Rhynchophorus*

palmarum). Formulaciones combinadas de *B. bassiana* con *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae* reducen la incidencia de plagas en un 75% frente a parcelas no tratadas.



Adultos de *Carmenta foraseminis* (Lepidoptera: Sesiidae). Imagen de Nereida Delgado ENTOMOTROPICA 2007.

Metarhizium anisopliae y Metarhizium brunneum

Metarhizium anisopliae y *Metarhizium brunneum* son entomopatógenos cosmopolitas ampliamente probados en cultivos tropicales.

- Impacto sobre el barrenador del cacao y mazorquero : En ensayos de laboratorio y semicampo, *M. anisopliae* genera tasas de mortalidad larvaria del 80% al 90% en *Conopomorpha cramerella*. Las conidias aplicadas al suelo o directamente a la superficie de las mazorcas infectan tanto a las larvas expuestas como a las pupas en la fase de suelo.
- Control de chinches y termitas: Ha mostrado alta virulencia contra la chinche del cacao (*Sahlbergella singularis*), reduciendo la muerte descendente de tejidos, y destruye poblaciones de termitas subterráneas del género *Odontotermes* en 4 a 7 días tras la inoculación.

Bacterias Benéficas: Endófitas Protectoras y Rizobacterias PGPR

Las bacterias asociadas al tejido vegetal y al suelo cacaotero cumplen funciones duales de protección fitosanitaria y nutrición vegetal.

Género Bacillus: Formadoras de Endosporas y Bioantagonistas

Las bacterias endófitas del género *Bacillus* tienen la ventaja agronómica de formar endosporas resistentes a condiciones de estrés ambiental. Una vez establecidas en el mesocarpio o endocarpio del fruto, quedan protegidas de la radiación UV y las fluctuaciones térmicas.

- Cepas destacadas: *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* , *Bacillus cereus* , y cepas entomopatógenas de *Bacillus thuringiensis* .
- Eficacia en campo frente a Moniliasis: En investigaciones de campo desarrolladas en

Esmeraldas (Ecuador) sobre cacao Nacional, las aplicaciones mensuales de las cepas endófitas *Bacillus* sp. y *B. amyloliquefaciens* sobre cojinetes florales y mazorcas jóvenes redujeron la incidencia de moniliasis al 4,4 – 7,6 %, comparado con más del 63% en el control no tratado, presentando una eficacia equivalente a los tratamientos químicos sintéticos a base de hidróxido de cobre.

- Mecanismos: Producción de lipopéptidos antifúngicos (surfactina, iturina, fengicina), biosíntesis de sideróforos para secuestrar hierro disponible y emisión de compuestos orgánicos volátiles inhibidores del micelio fúngico.

Bacterias Fijadoras de Nitrógeno y Promotoras del Crecimiento (PGPR)

La rizosfera del cacao alberga un consorcio de bacterias diazótrofas y solubilizadoras de minerales:

- *Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp. : Bacterias fijadoras libres de nitrógeno atmosférico que estimulan la brotación y el desarrollo de cojinetes florales mediante la producción de fitohormonas (auxinas, citoquininas y giberelinas). En ensayos de biofertilización en Ecuador, consorcios microbianos con *Azotobacter* incrementaron la formación de mazorcas jóvenes en un 19% y el conteo mensual de frutos cosechables en un 11%.
- Solubilizadoras de Fósforo, Potasio y Calcio: Especies de *Burkholderia*, *Gluconacetobacter*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas* sp. y actinomicetos como *Streptomyces cameroonensis* (productor de geldanamicina) solubilizan fosfatos inorgánicos y liberan potasio y calcio retenidos en la fracción mineral del suelo, acelerando la nutrición de la planta sin generar salinización.

Otros Microorganismos del Suelo y Relaciones Simbióticas en cacao

El complejo microbiano del cacao abarca otros grupos ecológicos indispensables:

1. Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA): Especies de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* establec en simbiosis radicular interna. Extienden su red de hifas más allá de la zona de agotamiento de las raíces, mejorando la absorción de fósforo y agua, lo que otorga al cacao mayor tolerancia a sequías prolongadas y salinidad.
2. Entomopatógenos endófitos secundarios: Cepas de *Lecanicillium lecanii* y *Paecilomyces* sp. han demostrado capacidad para colonizar plántulas de cacao y actuar como agentes biocontroladores de plagas chupadoras y minadoras.
3. Hormigas benéficas y transporte microbiano: En sistemas agroforestales, especies de hormigas como la hormiga negra del cacao (*Dolichoderus thoracicus*) y la hormiga tejedora (*Oecophylla smaragdina*) actúan como depredadoras agresivas de las larvas de barrenadores. Además, se ha demostrado científicamente que estas hormigas actúan como vectores naturales que dispersan las esporas de *Trichoderma* spp. a través del dosel del cacaotal, previniendo infecciones por *Phytophthora* .

Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIP) en Cacao Ecológico

El uso de bioinsumos microbianos alcanza su máxima eficacia cuando se articula dentro de un programa agroecológico integral. La aplicación aislada de microorganismos no sustituye un mal manejo agronómico; al contrario, la microbiota benéfica requiere

condiciones ambientales óptimas para proliferar y colonizar los cacaotales.

Arquitectura Agroforestal y Protección de los Bioinsumos

El cacao cultivado bajo Sistemas Agroforestales (SAF) en combinación con árboles de sombra (como *Inga* spp., *Erythrina* spp. y maderables como *Cordia alliodora*) crea un microclima estable.

- Amortiguamiento de la radiación UV: La luz solar directa destruye rápidamente las conidias de *Trichoderma*, *Beauveria* y las células de *Bacillus*. La cobertura de sombra (del 30% al 50%) amortigua la radiación UV y retiene la humedad relativa en el dosel, permitiendo la supervivencia y esporulación de los agentes biológicos.
- Aporte de materia orgánica: La hojarasca de los árboles de sombra alimenta la macrofauna y la microbiota del suelo, incrementando la captura de carbono y la actividad enzimática edáfica.

Fertilidad y Sanidad del Suelo: Biocompostaje

La fertilización ecológica debe priorizar el reciclaje de nutrientes dentro de la finca:

- Compostaje enriquecido de cáscara de mazorca: Las cáscaras de mazorca representan el mayor residuo del proceso de cosecha. Su compostaje e inoculación con cepas de *Trichoderma harzianum* o *Trichoderma asperellum* no solo destruye las esporas patógenas de *Phytophthora* presentes en el residuo, sino que transforma la biomasa en un bioabono rico en nitrógeno, fósforo y potasio, incrementando la biomasa microbiana del suelo al ser aplicado a la base de los árboles.
- Uso de vermicompost : El humus de lombriz enriquecido con bacterias fijadoras de nitrógeno mejoran la aglomeración de agregados del suelo y la retención de agua.



Una forma sencilla de aprovechar recursos en el cacaotal es compostar las cáscaras vacías para fabricar abonos. Imagen de Sunpress Weekly Bulletin en LinkedIn.

Conservación y Fomento de Enemigos Naturales (Parasitoides y Depredadores)

Para potenciar el control de plagas como el mazorquero (*Carmenta foraseminis*), el ecosistema debe ofrecer refugio y fuentes de alimento (néctar y polen) a los enemigos naturales nativos mediante la siembra de especies vegetales benéficas en las borduras y estratos bajos:

- Parasitoides de huevos y larvas : La conservación y liberación de avispitas parasitoides de huevos como *Trichogramma pretiosum* , *Trichogramma exiguum* y *Trichogramma atopovirilia*, así como parasitoides larvales de las familias Braconidae (*Bracon* sp., *Apanteles* sp.), Ichneumonidae (*Pimpla sanguinipes*) y Chalcididae (*Brachymeria* sp.), logra la destrucción de los huevos de *Carmenta* antes de que las larvas penetren la corteza del fruto.
- Depredadores generalistas: La presencia de crisopas (*Chrysoperla carnea*), avispas depredadoras (*Polistes* sp. y *Polybia* sp.) y la promoción de colonias de hormigas arbóreas benéficas (*Dolichoderus thoracicus*) reducen drásticamente las poblaciones de chinches y lepidópteros.

Para atraer y conservar enemigos naturales lo más efectivo es combinar plantas de sombra con nectarios extraflorales y franjas de plantas nectaríferas herbáceas en los claros o bordes del cacaotal. Existen varios árboles de sombra y acompañamiento que aportan sombra regulada al cacao y producen néctar fuera de las flores, lo que mantiene activas todo el año a las avispas parasitoides (como Brachymeria, Calliephialtes y Trichogramma) y hormigas benéficas. Entre estos están:

• Guaba o pacae (Inga spp.): Sus hojas tienen nectarios extraflorales muy atractivos para avispas parasitoides y hormigas depredadoras que atacan larvas y huevos de lepidópteros, además de fijar nitrógeno.

• Poró o bucare (Erythrina spp.): Sus flores y nectarios alimentan a himenópteros parasitoides y aves insectívoras que consumen polillas y chinches.

• Madero negro o matarratón (Gliricidia sepium): Favorece el refugio de depredadores generalistas y mejora la fertilidad del suelo.

• Plátano o banano (Musa spp.): Además de dar sombra temporal, sus pseudotallos y hojas sirven de refugio húmedo para arañas, tijeretas y escarabajos depredadores.

También puedes sembrar plantas herbáceas y arbustivas en bordes o claros porque el interior del cacaotal adulto es sombreado, estas plantas funcionan mejor en los bordes, caminos internos, claros de poda o parcelas jóvenes, donde reciben suficiente luz para florecer:

Planta	Enemigos naturales que atrae	Plagas que ayudan a controlar
Cilantro (*Coriandrum sativum*) e hinojo (*Foeniculum vulgare*)	Avispas parasitoides pequeñas, sírfidos y crisopas	Huevos y larvas de polillas (*Carmenta*), pulgones y ácaros
Crotalaria (*Crotalaria* spp.)	Avispas parasitoides y depredadores generalistas (posee nectarios extraflorales)	Orugas perforadoras y chinches; además aporta nitrógeno al suelo
Girasol (*Helianthus annuus*)	Avispas parasitoides, crisopas, mariquitas y chinches depredadoras	Larvas de lepidópteros, áfidos y trips
Caléndula (*Calendula officinalis*) y tagetes (*Tagetes* spp.)	Sírfidos, crisopas y mariquitas	Pulgones, trips y nematodos en el suelo
Albahaca (*Ocimum basilicum*)	Avispas parasitoides y sírfidos	Polillas, moscas blancas y pulgones
Lantana (*Lantana camara*)	Avispas parasitoides y arañas depredadoras	Larvas de lepidópteros y chinches



Calendula officinalis **es una planta que puede atraer varios tipos de enemigos naturales contra plagas en cacao. Imagen de Wikipedia.**

Complementos Biocidas Botánicos y Caldos Minerales

Cuando la presión de plagas o enfermedades es elevada, se pueden aplicar bioinsumos complementarios que no alteran la microbiota benéfica:

- Extractos vegetales: Aplicación foliar de extractos biocidas nativos como *Simarouba amara* y *Lonchocarpus utilis* , o aceites esenciales de Zingiberaceae, los cuales ejercen efecto antialimentario y repelente contra las larvas de *Carmenta* .
- Caldos minerales: La aplicación de caldo bordelés al 2% o caldo sulfocálcico al 10% protege los frutos jóvenes frente a la oviposición y previene la germinación de esporas fúngicas, siendo totalmente compatibles con esquemas de agricultura orgánica certificada.

Prácticas Culturales Obligatorias

El biocontrol se potencia mediante labores sanitarias oportunas:

- Poda fitosanitaria y remoción de frutos enfermos: Eliminación quincenal de mazorcas afectadas por moniliasis o escoba de bruja antes de que esporulen, y poda de ramas entrecruzadas para permitir la aireación.
- Cosecha oportuna y remoción de rastrojos: Evita que los frutos sobremaduros se conviertan en focos de reproducción de barrenadores.

Soluciones Prácticas para el cultivo de cacao

La transición hacia una cacaocultura ecológica y rentable es plenamente viable mediante la gestión consciente de la microbiota y la biodiversidad del agroecosistema. Las evidencias científicas confirman que la aplicación de hongos antagonistas como *Trichoderma*, entomopatógenos como *Beauveria* y *Metarhizium*, y bacterias endófitas como *Bacillus* y *Azotobacter*, ofrece niveles de protección y nutrición comparables o superiores a los de los síntesis química.

Recomendaciones Prácticas para la Finca Cacaotera

1. Inoculación desde el vivero: Tratar las semillas e inocular el sustrato con cepas nativas de *Trichoderma* y *Bacillus* para garantizar que las plántulas salgan al campo colonizadas endofíticamente, fortalecidas contra la sequía y protegidas de patógenos del suelo.
2. Aplicaciones preventivas en cojinetes florales: Asperjar suspensiones de *Bacillus amyloliquefaciens* o *Trichoderma virens* al inicio del flujo de floración y cuajado de frutos para proteger la etapa más susceptible a la moniliasis.
3. Aprovechamiento de residuos: Compostar la cáscara de mazorca inoculándola con *Trichoderma* para reciclar nutrientes y eliminar inoculo patógeno de la finca.
4. Diseño de Agroecosistemas Diversos: Mantener entre 30% y 50% de sombra diversificada y corredores de vegetación con flores nativas para proteger los biopesticidas de la radiación solar directa y albergar insectos parasitoides y depredadores.

Mediante la integración de estas herramientas ecológicas, el productor de cacao no solo protege su cosecha y reduce costos de insumos, sino que garantiza la salud del suelo y la sostenibilidad a largo plazo de su patrimonio agrícola.

¿Usas biológicos en tu cultivo de cacao?

Te leemos en nuestro Grupo de Facebook Microbiología Agrícola.



Domenico Pavone es biólogo y especialista en protección vegetal. 20 años como profesor universitario y autor de artículos científicos en microbiología, biotecnología, biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas.