



DAMPAK SISTEM AGROFORESTRI KAKAO TERHADAP PEMULIHAN KESUBURAN TANAH: Tinjauan Literatur Sistematis*IMPACT of COCOA AGROFORESTRY SYSTEM on SOIL FERTILITY RESTORATION:
A Systematic Literature Review***Nurmi^{1*} dan Ansyori²**¹Dosen, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo.²Dosen, Universitas Satu Nusa, Lampung

Mahasiswa, Pasca Sarjana Universitas Negeri Gorontalo

*E-mail Korespondensi: nurmi@ung.ac.id

ABSTRAK

Ekspansi pertanian dan praktik pengelolaan lahan intensif secara historis telah mendorong degradasi lingkungan yang meluas, sehingga memunculkan kebutuhan kritis akan metodologi pertanian berkelanjutan. Akibatnya, tinjauan literatur sistematis ini menyelidiki dampak transformatif sistem agroforestri kakao terhadap pemulihan kesuburan tanah dan peningkatan sifat fisiko-kimia fundamental. Tujuan utama adalah untuk mengevaluasi bagaimana pengintegrasian beragam pohon peneduh dan tanaman pendamping ke dalam monokultur tradisional atau lahan terdegradasi memengaruhi kesehatan tanah, penyerapan karbon, dan ketahanan ekologis secara keseluruhan. Untuk mencapai hal ini, kerangka kerja metodologis yang ketat digunakan, dengan memanfaatkan basis data SCOPUS untuk secara sistematis mencari, menyaring, dan memilih artikel yang sangat relevan yang diterbitkan antara tahun 2016 dan 2026. Hasil empiris yang disintesis secara meyakinkan menunjukkan bahwa sistem agroforestri kakao secara signifikan meningkatkan struktur fisik tanah dengan mengurangi kepadatan curah dan meningkatkan porositas, yang secara langsung meningkatkan retensi air dan penetrasi akar. Selain itu, sistem ini menunjukkan kemampuan pemulihan yang mendalam dengan meningkatkan bahan organik tanah, memperkaya profil nutrisi, dan meningkatkan potensi penyimpanan karbon baik dalam biomassa di atas tanah maupun di bawah tanah. Kehadiran beragam spesies pohon juga mendukung komunitas mikroba yang kompleks dan keanekaragaman hayati fauna yang lebih luas, mendorong siklus nutrisi yang kuat. Kesimpulannya, mengadopsi konfigurasi agroforestri kakao yang dikelola secara strategis memberikan jalur yang sangat efektif dan berkelanjutan secara lingkungan untuk memulihkan lahan pertanian yang terdegradasi sekaligus mendukung mitigasi perubahan iklim global dan produktivitas pertanian jangka panjang.

Kata kunci: Agroforestri Kakao, Kesuburan Tanah, Penangkapan Karbon, Restorasi Ekologis, Sifat Fisiko-Kimia.

ABSTRACT

Agriculture expansion and intensive land management practices have historically driven widespread environmental degradation, prompting a critical need for sustainable farming methodologies. Consequently, this systematic literature review investigates the transformative impact of cocoa agroforestry systems on soil fertility restoration and the enhancement of fundamental physico-chemical properties. The primary objective is to evaluate how integrating diverse shade trees and companion crops into traditional monoculture or degraded lands influences soil health, carbon sequestration, and overall ecological resilience. To achieve this, a rigorous methodological framework was employed, utilizing the SCOPUS database to systematically search, screen, and select highly relevant peer-

reviewed articles published between 2016 and 2026. The synthesized empirical results conclusively demonstrate that cocoa agroforestry systems significantly improve soil physical structures by reducing bulk density and increasing porosity, which directly enhances water retention and root penetration. Furthermore, these systems exhibit profound restorative capabilities by increasing soil organic matter, enriching nutrient profiles, and boosting carbon storage potential in both aboveground biomass and belowground pools. The presence of diverse tree species also supports complex microbial communities and broader faunal biodiversity, fostering robust nutrient cycling. In conclusion, adopting strategically managed cocoa agroforestry configurations provides a highly effective, environmentally sustainable pathway for restoring degraded agricultural lands while simultaneously supporting global climate change mitigation and long-term agricultural productivity.

Keywords : Cocoa Agroforestry, Carbon Sequestration, Ecological Restoration, Physico-Chemical Properties, Soil Fertility.

PENDAHULUAN

Ekspansi dan intensifikasi pertanian telah secara signifikan mengubah proses ekologis dan jasa ekosistem pada skala global, yang menyebabkan degradasi lahan yang parah dan penurunan kesehatan tanah yang terus-menerus (Oliveira *et al.*, 2025). Praktik pertanian konvensional seringkali menguras nutrisi tanah yang penting, sehingga membutuhkan input kimia yang substansial untuk mempertahankan hasil panen. Seiring waktu, praktik-praktik ini mengakibatkan penurunan produktivitas pertanian dan peningkatan kerentanan terhadap dampak perubahan iklim. Di banyak wilayah tropis, hutan alami telah diubah menjadi perkebunan monokultur atau padang rumput, menyebabkan perubahan mendalam pada lanskap dan struktur tanah di bawahnya. Hilangnya tutupan vegetasi dan keanekaragaman hayati mempercepat erosi tanah, mengurangi kapasitas retensi air, dan mengganggu mekanisme siklus nutrisi.

Sistem agroforestri telah muncul sebagai alternatif yang layak dan berkelanjutan yang mengintegrasikan pohon dan semak ke dalam sistem pertanian tanaman dan hewan. Dengan meniru struktur hutan alami, agroforestri bertujuan untuk menyeimbangkan produksi pertanian dengan konservasi lingkungan (Santos *et al.*, 2022). Kakao (*Theobroma cacao*) merupakan tanaman komoditas utama di daerah tropis, dan budidayanya secara historis telah mendorong deforestasi. Namun, transisi ke sistem agroforestri kakao menghadirkan

peluang penting untuk memulihkan lahan yang terdegradasi, meningkatkan kualitas air, dan mengurangi dampak buruk aktivitas antropogenik terhadap lingkungan (François *et al.*, 2023). Penggabungan pohon pendamping di perkebunan kakao memberikan naungan, menghasilkan serasah daun, dan mendorong iklim mikro yang kondusif untuk hasil pertanian berkelanjutan. Akibatnya, pemahaman implikasi ekologis yang lebih luas dari sistem ini sangat penting untuk mengembangkan paradigma pertanian yang tangguh.

Studi terbaru mendokumentasikan secara luas berbagai manfaat agroforestri kakao di berbagai wilayah geografis. Misalnya, penelitian yang dilakukan di Amazon Kolombia menunjukkan bahwa pembentukan agroforestri kakao di padang rumput yang terdegradasi secara signifikan meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan dan memulihkan fungsi ekologis utama dibandingkan dengan padang rumput tradisional (Suárez *et al.*, 2021). Demikian pula, di wilayah Xishuangbanna, integrasi tanaman komersial ke dalam perkebunan karet memperbaiki sifat fisik tanah dan memperkaya profil nutrisi, menyoroti kapasitas regeneratif konfigurasi tumpang sari (Chen *et al.*, 2019). Pengaruh positif pohon peneduh terhadap penyimpanan karbon tanah dan keanekaragaman makrofauna juga telah diamati di Amazon Peru, di mana sistem kakao berfungsi sebagai penyangga transisi antara hutan lebat dan pertanian intensif (Abanto-

Rodríguez *et al.*, 2026). Lebih lanjut, studi yang berfokus pada keanekaragaman genetik dan filogenetik kakao di Kolombia dan Brasil telah menggarisbawahi pentingnya mempertahankan plasma nutfah yang beragam untuk meningkatkan ketahanan tanaman dan memperluas kumpulan gen (González-Orozco *et al.*, 2022; Waqar *et al.*, 2025).

Perdagangan global komoditas seperti kakao telah mengakui dampak spasial terhadap keanekaragaman hayati, mendorong seruan untuk metode produksi yang lebih berkelanjutan yang mengurangi hilangnya habitat dan melindungi spesies yang rentan (Chaudhary *et al.*, 2016; Schaafsma *et al.*, 2023). Evaluasi agronomi di Afrika Barat dan Ekuador lebih lanjut menguatkan bahwa spesies pohon peneduh tertentu dapat secara positif memengaruhi hasil panen kakao, tingkat penyerapan karbon, dan metrik fungsi tanah (Konaté *et al.*, 2024; Atangana *et al.*, 2025; Tinoco-Jaramillo *et al.*, 2024). Temuan-temuan ini secara kolektif menegaskan bahwa agroforestri merupakan jalur penting untuk mencapai keberlanjutan lingkungan dan produktivitas pertanian secara bersamaan.

Meskipun semakin banyak literatur yang menyoroti keuntungan sistem agroforestri kakao, kesenjangan penelitian yang signifikan masih ada mengenai mekanisme yang tepat yang mengatur transformasi fisikokimia tanah dan pemulihan kesuburan jangka panjang. Banyak penelitian yang ada cenderung berfokus pada keanekaragaman hayati di atas permukaan tanah dan hasil sosial-ekonomi, tanpa disadari mengabaikan interaksi kompleks di bawah permukaan tanah yang menopang jasa ekosistem. Misalnya, meskipun nilai ekonomi penyerbukan, penilaian siklus hidup komoditas, dan dampak sosial dari rantai nilai global telah didokumentasikan dengan baik (Oliveira *et al.*, 2025; Jeswani *et al.*, 2018; Schaafsma *et al.*, 2023), penilaian rinci tentang bagaimana konfigurasi agroforestri tertentu memengaruhi dinamika karbon organik tanah

dan siklus nutrisi masih jarang dan terisolasi secara geografis (Ballesteros-Possú *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2025). Selain itu, efek interaktif gradien iklim dan intensifikasi penggunaan lahan terhadap indikator kesehatan tanah memerlukan penjelasan lebih lanjut, khususnya di zona transisi dan lanskap yang sangat termodifikasi (Mandah *et al.*, 2025; Abanto-Rodríguez *et al.*, 2026; Vera-Vélez *et al.*, 2019). Selain itu, investigasi terhadap keanekaragaman fauna di dalam perkebunan kakao, seperti keberadaan primata, amfibi, dan odonata yang terancam punah, menunjukkan bahwa meskipun agroforestri lebih baik daripada monokultur, namun masih belum mampu mereplikasi habitat hutan primer (Teixeira *et al.*, 2024; Oussou *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2022; Edo-Taiwo *et al.*, 2023).

Metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi atribut tanah seringkali sangat bervariasi, sehingga mempersulit sintesis data di berbagai bioma, seperti yang terlihat dalam meta-analisis global dan studi lanskap lokal (Gusli *et al.*, 2020; Sari *et al.*, 2020). Selain itu, peran spesies pendamping tertentu dalam memodulasi iklim mikro, prioritas genetiknya, dan dampaknya terhadap integritas struktur tanah belum ditinjau secara sistematis (Cerón-Souza *et al.*, 2023; Zea *et al.*, 2025). Dampak agroforestri terhadap keanekaragaman mikroba juga perlu dieksplorasi lebih lanjut untuk memahami sepenuhnya jasa ekosistem di bawah tanah (Nahon *et al.*, 2024; Allen *et al.*, 2024). Terdapat kebutuhan mendesak untuk sintesis komprehensif yang menggabungkan data empiris tentang kesuburan tanah dan sifat fisik untuk memandu kebijakan agronomi di masa mendatang.

Tujuan utama artikel ini adalah untuk melakukan tinjauan literatur sistematis yang secara kritis mengevaluasi dampak sistem agroforestri kakao terhadap pemulihan kesuburan tanah dan peningkatan sifat fisikokimia. Dengan menggabungkan dan mensintesis temuan empiris terbaru, studi ini bertujuan untuk memberikan gambaran

umum yang kuat tentang bagaimana integrasi pohon ke dalam pertanian kakao memengaruhi metrik tanah fundamental, termasuk stok karbon organik, ketersediaan nutrisi, dan stabilitas struktural. Tinjauan ini berupaya menjawab pertanyaan penelitian spesifik yang berkaitan dengan kinerja komparatif sistem agroforestri dibandingkan dengan monokultur atau lahan terdegradasi, dengan fokus utama pada kemampuan restoratifnya. Lebih lanjut, artikel ini bertujuan untuk mengidentifikasi praktik pengelolaan dan kombinasi pohon peneduh yang paling efektif yang memaksimalkan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman. Dengan meneliti beragam studi kasus regional, mulai dari cekungan Amazon hingga Afrika Barat dan Asia Tenggara, tinjauan ini akan menyoroti faktor-faktor yang bergantung pada konteks yang menentukan keberhasilan intervensi agroforestri. Selain itu, studi ini bertujuan untuk memberi informasi kepada pembuat kebijakan, agen penyuluh pertanian, dan petani tentang manfaat lingkungan yang nyata dari penerapan sistem pertanian yang beragam. Pada akhirnya, konsolidasi pengetahuan yang tersebar ini akan membantu menjembatani kesenjangan penelitian yang teridentifikasi dan memberikan peta jalan yang jelas dan berbasis bukti untuk mempromosikan produksi kakao berkelanjutan secara global. Sintesis ini juga akan berfungsi sebagai sumber daya dasar untuk memprioritaskan arah penelitian di masa depan dan menyempurnakan pendekatan metodologis dalam ilmu tanah dan agroekologi.

Untuk menyajikan analisis yang koheren dan terstruktur, tinjauan literatur sistematis ini diorganisasikan menjadi beberapa bagian berbeda yang memandu pembaca melalui metodologi, temuan, dan implikasi penelitian. Setelah pengantar ini, Bagian 2 merinci metode ketat yang digunakan untuk melakukan tinjauan, dengan secara ketat mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Bagian

metodologi ini menguraikan perumusan pertanyaan penelitian, strategi pencarian literatur komprehensif yang menggunakan basis data SCOPUS, dan kriteria penyaringan eksplisit yang diterapkan untuk memfilter literatur yang relevan. Bagian ini juga menyajikan strategi sintesis yang digunakan untuk mengekstrak dan menganalisis data dari studi yang disertakan. Bagian 3 menyajikan Hasil dan Diskusi, secara sistematis membahas setiap pertanyaan penelitian melalui subjudul tematik. Bagian ini mensintesis data empiris tentang sifat fisik dan kimia tanah, dinamika penyimpanan karbon, dan hubungan rumit antara keanekaragaman hayati dan praktik pengelolaan lahan. Tabel ringkasan terperinci disediakan di akhir setiap diskusi tematik untuk memfasilitasi referensi cepat dan analisis komparatif. Terakhir, Bagian 4 menawarkan kesimpulan yang kuat yang merangkum wawasan utama yang diperoleh dari literatur. Bagian penutup ini merefleksikan dampak menyeluruh dari sistem agroforestri kakao, mensintesis argumen inti yang disajikan di seluruh artikel, dan memberikan rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti untuk pembangunan pertanian berkelanjutan dan penelitian akademis di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

- Pertanyaan Penelitian

Tinjauan sistematis ini dipandu oleh pertanyaan penelitian yang dirumuskan dengan cermat yang dirancang untuk menargetkan persimpangan antara agroforestri, kesehatan tanah, dan ekologi. Pertanyaan-pertanyaan berikut mengarahkan sintesis literatur:

- RQ1: Bagaimana sistem agroforestri kakao memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah?
- RQ2: Apa dampak sistem agroforestri kakao terhadap penyimpanan karbon tanah dan pemulihan kesuburan?
- RQ3: Bagaimana keanekaragaman hayati dan praktik pengelolaan lahan berinteraksi untuk memengaruhi fungsi tanah dalam sistem agroforestri kakao?

- Metode Prisma

Formulasi tinjauan literatur sistematis ini secara ketat mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Pedoman ini pada dasarnya dirancang untuk membantu peninjau sistematis melaporkan secara transparan mengapa tinjauan tersebut dilakukan, apa yang dilakukan penulis, dan apa yang mereka temukan (Page *et al.*, 2021). Dengan mengikuti standar yang diperbarui ini, tinjauan ini memastikan pendekatan yang ketat, transparan, dan dapat direplikasi untuk mengidentifikasi dan mensintesis literatur mengenai sistem agroforestri kakao. Proses tinjauan dilakukan melalui urutan langkah metodologis yang terstruktur:

1. Identifikasi: Pencarian komprehensif dilakukan di seluruh basis data dan register yang ditentukan untuk menemukan catatan yang berpotensi relevan.
2. Penyaringan: Catatan yang diidentifikasi disaring secara sistematis untuk menghapus duplikat dan mengecualikan studi yang tidak memenuhi kriteria kelayakan yang telah ditentukan.
3. Penilaian Kelayakan: Teks lengkap dari laporan yang tersisa diambil dan dievaluasi secara ketat terhadap parameter inklusi dan eksklusi spesifik untuk menentukan kelayakan akhir.
4. Inklusi: Studi yang berhasil memenuhi semua kriteria dimasukkan dalam tinjauan akhir untuk ekstraksi data komprehensif dan sintesis tematik.

- Strategi Pencarian Literatur

Kami menggunakan basis data SCOPUS (<https://www.scopus.com/>) yang diakses pada 8 Juni 2026, dengan menggunakan kata kunci berikut pada Tab "Judul Artikel, Abstrak, Kata Kunci": (Sistem Agroforestri Kakao dan Restorasi Kesuburan Tanah dan Sifat Fisiko-Kimia). Hasil pencarian menghasilkan 33 dokumen.

- Kriteria Penyaringan

Untuk memastikan relevansi dan kualitas literatur yang disintesis, kriteria penyaringan yang ketat diterapkan pada kumpulan dokumen awal yang diambil dari basis data. Proses seleksi berfokus pada relevansi temporal, format dokumen, dan aksesibilitas linguistik untuk menyusun kumpulan data yang kuat untuk analisis. Secara khusus, proses penyaringan memfilter hasil

pencarian berdasarkan tahun publikasi, jenis dokumen, dan bahasa publikasi. Parameter rinci untuk inklusi dan eksklusi dokumen selama fase penyaringan sistematis ini diuraikan secara komprehensif dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Penyaringan

Kriteria	Dokumen yang Dimasukkan	Dokumen yang Dikeluarkan
Tahun Dokumen	Diterbitkan pada 2016-2026 (27 dokumen)	Diterbitkan sebelum 2016 (6 dokumen)
Jenis Dokumen	Artikel (21 dokumen)	Book Chapter (3 dokumen), Ulasan (3 dokumen), Makalah konferensi (1 dokumen)
Bahasa Dokumen	Inggris (20 dokumen)	Spanyol (1 dokumen)

- Pertanyaan Penelitian dan Strategi Sintesis

Literatur yang dipilih dikategorikan dan disintesis secara sistematis untuk menjawab langsung pertanyaan penelitian utama studi ini.

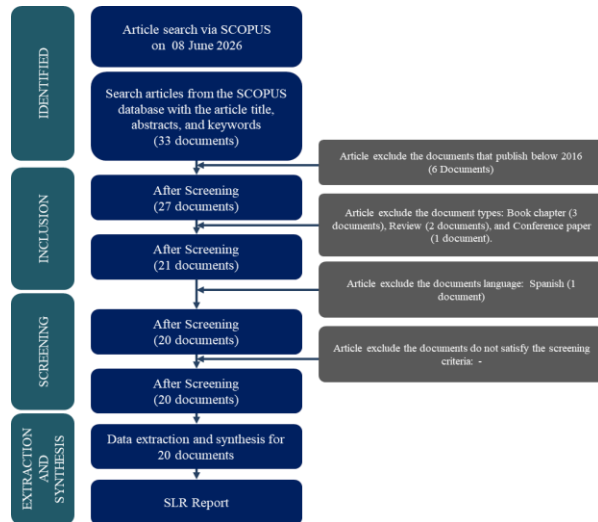
1. RQ1: Bagaimana sistem agroforestri kakao memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah?
2. RQ2: Apa dampak sistem agroforestri kakao terhadap penyimpanan karbon tanah dan pemulihan kesuburan?
3. RQ3: Bagaimana keanekaragaman hayati dan praktik pengelolaan lahan berinteraksi untuk memengaruhi fungsi tanah dalam sistem agroforestri kakao?

Dokumen yang disertakan harus memenuhi kriteria yang sesuai dengan pertanyaan penelitian spesifik yang dibahas, seperti yang tercantum dalam tabel berikut yang menguraikan strategi sintesis.

Tabel 2. Kriteria berdasarkan Pertanyaan Penelitian dan Strategi Sintesis

Kriteria berdasarkan RQ	Strategi untuk menjawab
RQ1: Sifat fisik dan kimia	Menganalisis data empiris mengenai perubahan struktural dan profil nutrisi.
RQ2: Penyimpanan	Mengevaluasi tingkat penyerapan karbon dan metrik

karbon dan kesuburan	kesuburan keseluruhan di seluruh sistem.
RQ3: Keanekaragaman hayati dan pengelolaan.	Periksa peran pohon peneduh, keanekaragaman fauna, dan praktik agronomi.



Gambar 1. Diagram alur proses pemilihan studi menggunakan metode PRISMA.

Strategi sintesis komprehensif yang dirancang untuk tinjauan literatur sistematis ini berhasil mengekstrak dan mengevaluasi bukti empiris di seluruh area tematik yang ditentukan. Secara total, 27 referensi unik akan digunakan di bagian Hasil dan Diskusi untuk secara ketat menjawab pertanyaan penelitian yang dirumuskan di atas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Sifat Fisik dan Kimia Tanah

Sifat fisik tanah merupakan komponen fundamental dari keberlanjutan pertanian, yang secara langsung memengaruhi retensi air, aerasi, dan penetrasi akar. Dalam konteks sistem agroforestri kakao, bukti empiris secara konsisten menunjukkan peningkatan yang signifikan pada parameter fisik ini jika dibandingkan dengan praktik monokultur intensif atau lahan terdegradasi. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.* (2019) di wilayah Xishuangbanna mengungkapkan bahwa transisi dari monokultur ke agroforestri secara signifikan meningkatkan porositas tanah total dan tingkat kelembaban awal, sekaligus mengurangi laju erosi tanah. Integrasi pohon pendamping memperkenalkan arsitektur akar yang kompleks

yang secara mekanis melonggarkan tanah, sehingga mengurangi kepadatan curah dan meningkatkan konduktivitas hidraulik. Demikian pula, studi di Indonesia menyoroti bahwa konfigurasi agroforestri yang lebih tua berhasil memulihkan kapasitas penyangga tanah, secara signifikan meningkatkan kapasitas air yang tersedia per meter profil tanah berakar (Gusli *et al.*, 2020). Integritas struktural yang ditingkatkan ini sangat penting untuk menjaga kesehatan tanah selama periode curah hujan yang intens atau kekeringan yang berkepanjangan. Dengan mendorong fondasi fisik yang lebih tangguh, sistem agroforestri menciptakan kondisi optimal untuk pengembangan tanaman yang berkelanjutan dan stabilitas ekologis jangka panjang.

Yang sama pentingnya dengan struktur fisik adalah transformasi kimia yang terjadi di dalam matriks tanah di bawah pengelolaan agroforestri kakao. Masukan bahan organik yang berkelanjutan melalui serasah daun dan eksudat akar dari berbagai pohon peneduh secara fundamental mengubah profil nutrisi tanah. Menurut Abanto-Rodríguez *et al.* (2026), indikator fungsi tanah, khususnya yang berkaitan dengan kesuburan, menunjukkan peningkatan yang nyata pada sistem agroforestri dibandingkan dengan penggunaan lahan intensif, dengan peningkatan signifikan yang diamati pada kapasitas pertukaran kation, total karbon, dan unsur hara mikro esensial. Lebih lanjut, pengintegrasian spesies pendamping tertentu, seperti pohon legum, memfasilitasi fiksasi nitrogen biologis, sehingga meningkatkan kadar nitrogen dan fosfor yang tersedia tanpa perlu pupuk sintetis. Tinoco-Jaramillo *et al.* (2024) mengamati bahwa sistem agroforestri memberikan konsentrasi magnesium, boron, dan kalsium yang lebih tinggi, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan hasil panen kakao dan mendorong lingkungan yang ramah bagi makrofauna tanah yang bermanfaat. Siklus dinamis nutrisi ini memastikan pasokan unsur-unsur esensial yang stabil, mengurangi degradasi tanah yang biasanya terkait dengan budidaya monokultur berkelanjutan. Akibatnya, revitalisasi kimia tanah dalam sistem ini menggarisbawahi kelayakannya sebagai praktik pertanian restoratif.

-Penyimpanan Karbon dan Pemulihan Kesuburan

Penyimpanan karbon merupakan salah satu jasa ekosistem paling penting yang disediakan oleh sistem agroforestri kakao, yang memainkan peran penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim global. Arsitektur multi-strata dari lanskap pertanian ini memungkinkan penyerapan karbon yang substansial baik dalam biomassa di atas permukaan tanah maupun dalam cadangan karbon organik tanah di bawah permukaan. Penelitian oleh Ballesteros-Possú *et al.* (2022) menunjukkan bahwa pengaturan agroforestri berbasis kakao menunjukkan kapasitas yang luar biasa untuk akumulasi karbon, secara signifikan mengungguli pengaturan monokultur tradisional. Pengendapan residu tanaman yang berkelanjutan dan jaringan akar pohon peneduh yang luas memfasilitasi stabilisasi karbon organik dalam matriks tanah, melindunginya dari mineralisasi mikroba yang cepat. Lebih lanjut, meta-analisis global oleh Gomes *et al.* (2025) mengkonfirmasi bahwa sistem agroforestri yang beragam memiliki efek positif yang signifikan secara statistik pada laju perubahan stok karbon tanah dari waktu ke waktu. Peningkatan penyimpanan karbon ini tidak hanya mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer tetapi juga bertindak sebagai pendorong utama untuk meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan. Dengan bertindak sebagai penyerap karbon yang kuat, model agroforestri menyelaraskan produktivitas pertanian dengan mandat konservasi lingkungan yang ketat, menawarkan solusi pragmatis untuk tantangan ekologis kontemporer.

Potensi restoratif sistem agroforestri kakao meluas melampaui penyerapan karbon, secara fundamental merehabilitasi lahan yang terdegradasi dan memulihkan kesuburan tanah jangka panjang. Di banyak wilayah tropis, intensifikasi penggunaan lahan historis telah mengakibatkan cadangan nutrisi yang sangat menipis, sehingga memerlukan intervensi restoratif yang mendesak. Studi oleh Mandah *et al.* (2025) di zona transisi hutan savana Kamerun menyoroti bahwa karbon organik tanah dan stok nitrogen total secara signifikan lebih tinggi dalam sistem agroforestri kakao berbasis hutan tradisional dibandingkan dengan lahan pertanian tahunan. Siklus nutrisi berkelanjutan yang difasilitasi oleh beragam spesies pohon memastikan bahwa unsur-unsur penting secara konsisten dikembalikan ke tanah, melindungi dari

penipisan nutrisi. Selain itu, Atangana *et al.* (2025) mengidentifikasi kekayaan spesies sebagai prediktor dominan untuk mempertahankan kesuburan tanah dan meningkatkan kapasitas pertukaran kation di lanskap kakao yang terdegradasi di Afrika Barat. Penerapan sistem ini pada padang rumput yang sebelumnya terdegradasi telah terbukti secara cepat meningkatkan indikator umum kualitas tanah, secara efektif membalikkan kerusakan antropogenik selama bertahun-tahun. Oleh karena itu, praktik agroforestri yang diimplementasikan secara strategis berfungsi sebagai mekanisme ampuh untuk memulihkan vitalitas ekologis dan kelayakan pertanian lahan yang telah habis kesuburannya.

- Keanekaragaman Hayati dan Praktik Pengelolaan Lahan

Interaksi antara keanekaragaman pohon dan praktik pengelolaan lahan khusus membentuk tulang punggung ekologis dari sistem agroforestri kakao yang sukses. Pemilihan dan penanaman pohon peneduh tertentu secara sengaja secara langsung memengaruhi kompleksitas struktural pertanian dan interaksi biologis selanjutnya di dalam tanah. Penelitian menyoroti bahwa petani sering memilih pohon pendamping berdasarkan kegunaan dan nilai ekonomi, menghasilkan sistem yang sangat beragam yang mendukung cadangan karbon yang kuat dan dinamika guguran daun yang kompleks. Keragaman masukan ini sangat penting untuk memelihara mikrobioma tanah yang seimbang dan mempertahankan siklus nutrisi yang kompleks. Konaté *et al.* (2024) lebih lanjut menunjukkan bahwa integrasi strategis spesies asli dan tradisional tertentu dapat secara aktif meningkatkan hasil kakao sekaligus mempromosikan tujuan keberlanjutan yang lebih luas. Mengelola sistem ini membutuhkan pemahaman yang mendalam tentang kompatibilitas spesies, memastikan bahwa pohon pendamping tidak bersaing dengan tanaman kakao utama untuk sumber daya vital seperti air dan sinar matahari. Ketika dikelola dengan cermat, hubungan sinergis antara tanaman kakao dan susunan botani yang beragam menumbuhkan ekosistem pertanian yang tangguh yang mampu menahan fluktuasi lingkungan dan melawan serangan hama secara alami.

Di luar keanekaragaman botani, jaringan biologis yang rumit yang meliputi makrofauna

tanah, komunitas mikroba, dan satwa liar yang lebih besar sangat dipengaruhi oleh praktik pengelolaan agroforestri. Kehadiran kanopi yang beragam dan lapisan serasah organik yang tebal menyediakan habitat penting bagi banyak organisme yang mendorong fungsi tanah. Nahon *et al.* (2024) menemukan bahwa konfigurasi agroforestri yang beragam secara signifikan meningkatkan keanekaragaman fungsional mikroorganisme tanah, khususnya yang terlibat dalam jalur siklus karbon dan nitrogen yang penting. Vitalitas mikroba ini sangat penting untuk dekomposisi bahan organik yang efisien dan mineralisasi nutrisi. Lebih lanjut, lanskap agroforestri kakao berfungsi sebagai tempat perlindungan penting bagi komunitas ekologis yang lebih luas, termasuk spesies sensitif seperti anura, odonata, dan primata yang terancam punah, yang sama sekali tidak ada di lingkungan monokultur steril (Oussou *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2022; Teixeira *et al.*, 2024). Meskipun sistem ini mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi alami hutan hujan primer yang belum tersentuh, sistem ini menawarkan alternatif ekologis yang jauh lebih unggul daripada pertanian intensif (Edo-Taiwo *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2025). Oleh karena itu, mengadopsi praktik pengelolaan yang memprioritaskan keanekaragaman hayati sangat penting untuk memaksimalkan potensi restoratif dan produktif dari sistem agroforestri kakao.

KESIMPULAN

Transisi dari pertanian monokultur konvensional dan lahan penggembalaan yang terdegradasi ke sistem agroforestri kakao merupakan strategi utama untuk mencapai keberlanjutan ekologis dan ketahanan pertanian. Tinjauan literatur sistematis ini secara meyakinkan menunjukkan bahwa integrasi beragam pohon peneduh dan tanaman pendamping di dalam perkebunan kakao secara signifikan meningkatkan pemulihan kesuburan tanah dan memperbaiki sifat fisik dan kimia penting dari profil tanah. Bukti yang disintesis dari berbagai wilayah geografis secara konsisten menyimpulkan bahwa konfigurasi agroforestri mendorong struktur tanah yang lebih kuat, yang dicirikan oleh peningkatan porositas, peningkatan retensi kelembaban, dan pengurangan kepadatan curah. Perbaikan fisik ini terkait erat dengan

manfaat kimia yang mendalam, termasuk peningkatan kadar bahan organik tanah, peningkatan kapasitas pertukaran kation, dan dinamika siklus nutrisi yang lebih baik. Akibatnya, tanah di bawah agroforestri kakao menunjukkan aktivitas biologis dan ketahanan yang lebih besar terhadap kekuatan erosi dibandingkan dengan monokultur intensif. Lebih lanjut, temuan tersebut menggarisbawahi peran penting agroforestri dalam mengurangi dampak perubahan iklim melalui penyerapan karbon di atas dan di bawah tanah yang substansial. Beragam pohon pendamping tidak hanya memberikan naungan yang diperlukan dan pengaturan iklim mikro tetapi juga memberikan masukan organik yang signifikan melalui guguran daun, sehingga memperkaya cadangan karbon tanah. Dari perspektif sosioekologis, penggabungan berbagai spesies tanaman mendukung tujuan konservasi keanekaragaman hayati yang lebih luas, menawarkan habitat bagi komunitas fauna dan penyerbuk penting yang seringkali tergeser oleh praktik pertanian intensif. Yang penting, keberhasilan sistem ini sangat bergantung pada strategi pengelolaan yang spesifik konteks, termasuk pemilihan spesies pohon yang beragam secara fungsional dan penerapan praktik agronomi berkelanjutan. Meskipun sistem agroforestri tidak dapat sepenuhnya mereplikasi kompleksitas hutan primer yang tidak terganggu, sistem ini menawarkan kompromi yang sangat pragmatis dan efektif yang menyeimbangkan kebutuhan mendesak akan ketahanan pangan dengan keharusan konservasi lingkungan. Dengan mengadopsi dan mengoptimalkan model agroforestri kakao, para pemangku kepentingan dapat memberikan kontribusi signifikan untuk memulihkan lanskap yang terdegradasi, memastikan produktivitas pertanian jangka panjang, dan memajukan tujuan keberlanjutan global.

DAFTAR PUSTAKA

Abanto-Rodríguez, C., Blas, J. C. G., Torres, D. d. C., Ramírez-Flores, N., Soria,

- D. G. G., Ambrosio, M. F. M., Arévalo, H. G., Arévalo, W. F. G., Nieto, J. A. B., Tenazoa, N. M. P., Sakasaki, R. T., Neto, J. L. L. M., Revilla-Chávez, J. M., & Murgu-Orrillo, H. (2026). Soil functioning indicators decline with land-use intensification in the Peruvian Amazon: evidence from Ucayali. *Frontiers in Soil Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2026.1741629>
- Allen, S. L., Robayo, L. A., Martin, C. D., & Ganem, J. L. (2024). Productivity, Soil Health, and Tree Diversity in Dynamic Cacao Agroforestry Systems in Ecuador. *Land*, 13(7), 959. <https://doi.org/10.3390/land13070959>
- Atangana, A. R., Kouassi Koffi, G., Kpangui, K. B., Tondoh, E. J., Wolf, V. L. F., Kouamé, C., & Khasa, D. (2025). Tree diversity and soil fertility interactions drive carbon storage in degraded cocoa landscapes of Côte d'Ivoire. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1731574>
- Ballesteros-Possú, W., Valencia, J. C., & Navia-Estrada, J. F. (2022). Assessment of a Cocoa-Based Agroforestry System in the Southwest of Colombia. *Sustainability*, 14(15), 9447. <https://doi.org/10.3390/su14159447>
Cited by: 33
- Cerón-Souza, I., Delgadillo-Duran, D., Polo-Murcia, S. M., Sarmiento-Naizaque, Z. X., & Reyes-Herrera, P. H. (2023). Prioritizing Colombian plant genetic resources for investment in research using indicators about the geographic origin, vulnerability status, economic benefits, and food security importance. *Biodiversity and Conservation*, 32(7), 2221–2261. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02599-7>
- Chaudhary, A., Pfister, S., & Hellweg, S. (2016). Spatially Explicit Analysis of Biodiversity Loss Due to Global Agriculture, Pasture and Forest Land Use from a Producer and Consumer Perspective. *Environmental Science and Technology*, 50(7), 3928–3936. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06153>
- Chen, C., Liu, W., Wu, J., Jiang, X., & Zhu, X. (2019). Can intercropping with the cash crop help improve the soil physico-chemical properties of rubber plantations? *Geoderma*, 335, 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.023>
- Edo-Taiwo, O., Aisien, M. S. O., & Oke, C. O. (2023). Anuran diversity in a monoculture cocoa plantation in southern Nigeria. *Herpetology Notes*, 16, 135–148.
- François, M., Pontes, M. C. G., da Silva, A. L., & Mariano-Neto, E. (2023). Impacts of cacao agroforestry systems on climate change, soil conservation, and water resources: a review. *Water Policy*, 25(6), 564–581. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.164>
- Gomes, V. M., Miranda Júnior, M. S., Silva, L. J., Teixeira, M. V., Teixeira, G., Schossler, K., Freitas, D. A. F. d., & Oliveira, D. M. d. S. (2025). A Global Meta-Analysis of Soil Carbon Stock in Agroforestry Coffee Cultivation. *Agronomy*, 15(2), 480. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020480>
- González-Orozco, C. E., Osorio-Guarín, J. A., & Yockteng, R. (2022). Phylogenetic diversity of cacao (*Theobroma cacao* L.) genotypes in Colombia. *Plant Genetic Resources: Characterisation and Utilisation*, 20(3), 203–214. <https://doi.org/10.1017/S1479262123000047>
- Gusli, S., Sumeni, S., Sabodin, R., Muqfi, I. H., Nur, M., Hairiah, K., Useng, D., & van Noordwijk, M. (2020). Soil Organic Matter, Mitigation of and Adaptation to Climate Change in

- Cocoa-Based Agroforestry Systems. *Land*, 9(9), 323. <https://doi.org/10.3390/land9090323>
- Jeswani, H. K., Hellweg, S., & Azapagic, A. (2018). Accounting for land use, biodiversity and ecosystem services in life cycle assessment: Impacts of breakfast cereals. *Science of the Total Environment*, 645, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.088>
- Konaté, N., Ouattara, Y., Kouakou, A. K., & Barima, Y. S. S. (2024). Effects of Traditional Agroforestry Practices on Cocoa Yields in Côte d'Ivoire. *Sustainability (Switzerland)*, 16(22). <https://doi.org/10.3390/su16229927>
- Mandah, V. P., Masso, C., Onana, A. A., Fiaboe, K. K. M., Arthur, E., Giweta, M., Ndango, R., Silatsa, F. B. T., Voulemo, D. D. I., Biloa, J. B., Ngeumezi, C., & Tematio, P. (2025). Soil organic carbon and nutrient content across agricultural systems in the forest-savannah transition zone of Cameroon. *Soil and Tillage Research*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106458>
- Nahon, S. M. R., Trindade, F. C., Yoshiura, C. A., Martins, G. C., Costa, I. R. C. d., Costa, P. H. d. O., Herrera, H., Balestrin, D., Godinho, T. d. O., Marchiori, B. M., & Valadares, R. B. d. S. (2024). Impact of Agroforestry Practices on Soil Microbial Diversity and Nutrient Cycling in Atlantic Rainforest Cocoa Systems. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(21), 11345. <https://doi.org/10.3390/ijms252111345>
- Oliveira, W., Porto, R. G., Cruz-Neto, O., Tabarelli, M., Viana, B. F., Peres, C. A., & Lopes, A. V. (2025). Yield vulnerability of low-income smallholders to pollinator declines in Brazil is biome-dependent. *PLOS ONE*, 20(11 November). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0337328>
- Oussou, K. H., Assemian, N. E., Kouadio, A. L., Tiédoué, M. R., & Rödel, M.-O. (2022). The anuran fauna in a protected West African rainforest and surrounding agricultural systems. *Amphibian and Reptile Conservation*, 16(1).
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Santos, L. R., & Rodrigues, M. E. (2022). Land Uses for Pasture and Cacao Cultivation Modify the Odonata Assemblages in Atlantic Forest Areas. *Diversity*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/d14080672>
- Sari, R., Saputra, D., Hairiah, K., Rozendaal, D., Roshetko, J., & van Noordwijk, M. (2020). Gendered Species Preferences Link Tree Diversity and Carbon Stocks in Cacao Agroforest in Southeast Sulawesi, Indonesia. *Land*, 9(4), 108. <https://doi.org/10.3390/land9040108>
- Schaafsma, M., Dreoni, I., Ayompe, L. M., Egoh, B. N., Ekayana, D. P., Favareto, A., Mumbunan, S., Nakagawa, L., Ngouhouo-poufoun, J., Sassen, M., Uehara, T. K., & Matthews, Z. (2023). Mapping social impacts of agricultural commodity trade onto the sustainable development goals. *Sustainable Development*, 31(4), 2363–2385. <https://doi.org/10.1002/sd.2515>
- Suárez, L. R., Suárez Salazar, J. C., Casanoves, F., & Ngo Bieng, M. A. (2021). Cacao agroforestry systems improve soil fertility: Comparison of soil properties between forest, cacao agroforestry systems, and pasture in the Colombian Amazon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.106458>

07349

- Teixeira, J. V. d. S., Bonfim, F. C. G., Vancine, M. H., Ribeiro, M. C., & Oliveira, L. d. C. (2024). Effect of landscape attributes on the occurrence of the endangered golden-headed lion tamarin in southern Bahia, Brazil. *American Journal of Primatology*, 86(4).
<https://doi.org/10.1002/ajp.23588>
- Tinoco-Jaramillo, L., Vargas-Tierras, Y., Habibi, N., Caicedo, C., Chanaluisa, A., Paredes-Arcos, F., Viera, W., Almeida, M., & Vásquez-Castillo, W. (2024). Agroforestry Systems of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Ecuadorian Amazon. *Forests*, 15(1), 195.
<https://doi.org/10.3390/f15010195>
- Vera-Vélez, R., Grijalva, J., & Cota-Sánchez, J. H. (2019). Cocoa agroforestry and tree diversity in relation to past land use in the Northern Ecuadorian Amazon. *New Forests*, 50(6), 891–910. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09707-y>
- Waqar, Z., Fernandes, A. K. C., Conceição, T. A., & Gaiotto, F. A. (2025). Genetic Diversity and Differentiation in *Plathymenia reticulata* Benth.: A Comparative Study of Forest and Cocoa Agroforest Systems in the Atlantic Forest Domain. *Diversity*, 17(2).
<https://doi.org/10.3390/d17020129>
- Zea, P., Pascual, C., García-Montero, L. G., & Cedillo, H. (2025). NDVI Performance for Monitoring Agricultural Energy Inputs Using Landsat Imagery: A Study in the Ecuadorian Andes (2012–2023). *Sustainability (Switzerland)*, 17(8).
<https://doi.org/10.3390/su17083480>