

The Effectiveness of Implementing Agroforestry Systems in Improving Soil Quality

Sabti Gina Bidadari^{1*}, M. Taufik Fauzi¹, A. A. Sudharmawan¹

¹Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Program Pasca Sarjana Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received : June 18th, 2025

Revised : November 01th, 2025

Accepted : November 13th, 2025

*Corresponding Author: **Sabti Gina Bidadari**, Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Program Pasca Sarjana Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia; Email: ginasab58@gmail.com

Abstract: Intensive annual farming practices can damage soil structure, reduce soil organic matter content, and cause soil erosion. This condition results in decreased soil fertility, which in turn affects agricultural productivity. Collective efforts are needed to adopt environmentally friendly agricultural practices to improve soil quality. The purpose of this article is to determine the effectiveness of implementing agroforestry systems in improving soil quality. The method used in this writing is a literature study conducted by collecting data from various sources such as scientific journals, books, seminar proceedings, and so on. This literature review found that increasing tree diversity in complex agroforestry systems significantly increased soil organic carbon in the soil layer. Compared to bare land, agroforestry systems showed significant increases in soil organic carbon and accessible nutrients. Improving soil health and ecosystem function requires microbial diversity, biological activity, and the production and preservation of soil organic carbon, all of which are facilitated by agroforestry systems. Agroforestry systems, which combine food crops with tree crops, offer ecological services such as increasing fertility, reducing erosion, and improving the physical, chemical, and biological quality of the soil. The conclusion is that agroforestry systems are effective in improving soil quality.

Keywords: Agroforestri, soil quality, soil fertility, soil organic carbon.

Pendahuluan

Tanah yang subur dan sehat merupakan sumber daya penting yang dapat meningkatkan kualitas ekosistem, biogeokimia global, dan produksi pangan berkelanjutan. Namun, saat ini kondisi tanah mengalami berbagai tantangan yang serius. Metode pertanian yang tidak berkelanjutan, seperti penanaman berlebihan, ketergantungan berlebihan pada pupuk dan pestisida kimia, serta penggundulan hutan, telah menyebabkan degradasi signifikan di banyak lahan pertanian (Du *et al.*, 2022).

Praktik pertanian tahunan yang intensif dapat merusak struktur tanah, menurunkan kadar bahan organik, dan mengakibatkan erosi tanah (Eng, 2024). Kondisi ini menyebabkan penurunan kesuburan tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi produktivitas pertanian. Menurut data FAO (2015), sekitar 25% tanah di dunia telah mengalami kerusakan parah dan 50% mengalami kerusakan sedang akibat aktivitas manusia dalam beberapa

dekade terakhir ini (Srivastava *et al.*, 2019)

Konversi lahan alami menjadi lahan pertanian telah menyebabkan hilangnya sekitar 60% karbon organik tanah di daerah beriklim sedang dan lebih dari 75% di daerah tropis (Lal, 2004). Pengolahan tanah yang berat dan masukan bahan organik yang tidak memadai telah mengakibatkan penurunan tajam karbon organik tanah, yang sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah dan retensi air (Mesfin & Haileselassie, 2022). Akibatnya, tanah menjadi kurang mampu mendukung produksi pertanian yang berkelanjutan dan lebih rentan terhadap erosi dan degradasi.

Salah satu tujuan utama dalam pengembangan teknik pertanian berkelanjutan adalah untuk meningkatkan kesehatan tanah (Eddy & Yang, 2022). Perlindungan dan peningkatan kesehatan tanah adalah tanggung jawab bersama untuk memastikan keamanan pangan dan gizi bagi generasi mendatang, disamping secara signifikan mengurangi dampak lingkungan. Mengadopsi metode

pertanian ramah lingkungan seperti pertanian organik, penggunaan pupuk hijau, dan agroforestri akan membutuhkan kerja sama tim untuk mencapai hal ini (Muhie, 2022).

Agroforestri adalah teknik pertanian yang berfokus pada diversifikasi berbagai komponen produksi agro-ekosistem seperti tanaman berkayu, palem, tanaman pertanian, pakan ternak, atau hewan (Rosati *et al.*, 2021). Agroforestri memiliki kapasitas untuk meningkatkan dan melestarikan produktivitas lahan sebagai upaya untuk meningkatkan keuntungan sosial, ekonomi, dan lingkungan dari lahan di berbagai tingkatan. Penerapan praktik agroforestri dapat dilakukan dengan menanam pohon di lahan pertanian atau membudidayakan tanaman pertanian di daerah berhutan (Wattimena *et al.*, 2024).

Sistem agroforestri memiliki potensi untuk keberlanjutan pertanian karena agroforestri dapat meniru komposisi ekosistem alami (Du *et al.*, 2022). Selain itu, agroforestri juga berkontribusi pada peningkatan kualitas tanah melalui beberapa mekanisme. Salah satunya adalah dengan menyediakan masukan bahan organik yang tinggi ke dalam tanah, yang berperan penting dalam meningkatkan struktur tanah, kapasitas penahanan air, dan kesuburan tanah. Dengan menstabilkan tanah dan mendorong pembentukan agregat, agroforestri dapat mengurangi erosi tanah yang sering menjadi masalah dalam sistem pertanian konvensional (Pan *et al.*, 2022). Tujuan penulisan artikel ini ialah untuk mengetahui efektivitas dari penerapan sistem agroforestri dalam meningkatkan kualitas tanah.

Bahan dan Metode

Metode

Metode yang digunakan pada penulisan ini ialah dengan melakukan *studi literature*

review untuk mengumpulkan data dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, prosiding seminar dan sejenisnya. Artikel yang dipilih telah memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi berupa artikel 10 tahun terakhir, artikel internasional maupun nasional, dan membahas 4 topik utama (pengelolaan agroforestri untuk perbaikan tanah, dampak agroforestri terhadap biota tanah, penerapan agroforestri untuk meningkatkan produktivitas tanah, dan potensi pengurangan polusi tanah melalui agroforestri). Kriteria eksklusif terdiri dari artikel lebih dari 10 tahun terakhir dan tidak membahas 4 topik utama (pengelolaan agroforestri untuk perbaikan tanah, dampak agroforestri terhadap biota tanah, penerapan agroforestri untuk meningkatkan produktivitas tanah, dan potensi pengurangan polusi tanah melalui agroforestri).

Analisis data

Efektivitas penerapan sistem agroforestri dalam meningkatkan kesuburan tanah kemudian dijelaskan secara mendalam melalui analisis kualitatif terhadap data yang terkumpul, yang melibatkan peninjauan dan identifikasi materi. Narasi yang logis dan metodis kemudian digunakan untuk menyajikan temuan tinjauan pustaka.

Hasil dan Pembahasan

Hasil literature review

Hasil literature review ditemukan 13 artikel yang membahas terkait dengan 4 topik utama yaitu pengelolaan agroforestri untuk perbaikan tanah, dampak agroforestri terhadap biota tanah, penerapan agroforestri untuk meningkatkan produktivitas tanah, dan potensi pengurangan polusi tanah melalui agroforestri. Hasil literature review lebih jelas dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil literatur review

Aspek	Judul penelitian	Hasil penelitian
Pengelolaan agroforestri untuk perbaikan tanah	Soil Characteristics under Different Agroforestry Land Use Systems in Semiarid Region	Sistem agroforestri memiliki peran penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dengan meningkatkan parameter fisikokimia dan kimia tanah, meningkatkan karbon organik tanah, dan meningkatkan ketersediaan nutrisi (Varshitha <i>et al.</i> , 2023).
	Soil fertility and Theobroma cacao growth and productivity under commonly intercropped shade-tree species in	Peningkatan keragaman pohon dalam agroforestri yang kompleks secara signifikan meningkatkan karbon organik tanah di lapisan tanah (Wartenberg <i>et al.</i> , 2020).

	Sulawesi, Indonesia Nitrogen dynamics in agroforestry systems. A review.	Karbon organik tanah dan nutrisi yang tersedia secara signifikan lebih tinggi di bawah sistem agroforestri dibandingkan dengan lahan tandus, dengan korelasipositif antara karbon organik tanah dan nutrisi tanah utama seperti nitrogen yang tersedia (Kim & Isaac, 2022).
Dampak agroforestri terhadap biota tanah	Enhancement of soil carbon and nitrogen stocks by abiotic and microbial pathways in three rubber-based agroforestry systems in Southwest China. Microbial Diversity In Selected Agroforestry Systems Of Central Rajasthan	Populasi mikroba tanah secara tidak langsung meningkatkan pertumbuhan tanaman karena perannya yang signifikan dalam meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah (Li <i>et al.</i> , 2020). Tingkat keanekaragaman mikroba lebih tinggi dalam sistem agroforestri dan sistem agro-silvopastoral dibandingkan dengan monokultur dilaporkan karena integrasi pohon menyediakan kondisi yang menguntungkan bagi mikroflora tanah untuk berkembang (Ankita dan Shilpi, 2020).
Penerapan agroforestri untuk meningkatkan produktivitas tanah	Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance Alley cropping agroforestry system for improvement of soil health. In <i>Soil health and environmental sustainability</i> Improvements in soil health and soil carbon sequestration by an agroforestry for food production system Dry land tree management for improved household livelihoods: Farmer managed natural regeneration in Niger.	Menggabungkan tanaman pangan dan tanaman pohon, sistem agroforestri menyediakan layanan ekologi seperti peningkatan kesuburan, pengendalian erosi, dan peningkatan sifat fisik, kimia, dan biologis tanah (Fahad <i>et al.</i> , 2022). Praktik agroforestri dapat secara efektif mengurangi erosi tanah dan meningkatkan kesuburan tanah, menjadikannya solusi berkelanjutan untuk daerah terdegradasi dan tercemar logam berat dan organik polutan. penggabungan legum pohon mengintensifkan ketersediaan nitrogen di tanah, meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen melalui pemindahan nitrogen dari pohon pengikat nitrogen ke tanaman yang berdekatan (Hombegowda <i>et al.</i> , 2022). Konsentrasi karbon organik dan total N yang lebih tinggi dalam sistem agroforestri dapat meningkatkan nutrisi tanaman yang tersedia, membantu menjaga produktivitas, dan meminimalkan kebutuhan akan pupuk eksternal untuk menjaga biaya budidaya tetap rendah (Eddy & Yang, 2022). Mengintegrasikan komponen tanaman tahunan dalam pertanian meningkatkan keamanan pangan yang berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanaman yang lebih tinggi, meningkatkan pendapatan di antara rumah tangga petani kecil dan mengurangi kemiskinan dengan menyediakan kayu, buah, pakan ternak, dan makanan secara langsung dan bersamaan (Haglund <i>et al.</i> , 2011).
Potensi pengurangan polusi tanah melalui agroforestri	Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance Phytoremediation and carbon sequestration potential of agroforestry systems: a review Reductions in water, soil and nutrient losses and pesticide pollution in agroforestry	Agroforestri mengurangi penggunaan agrokimia, mempercepat mineralisasi, dan memperbaiki tanah dan air didalam tanah (Fahad <i>et al.</i> , 2022). Melalui proses dekontaminasi, hiperakumulasi, dan pengangkatan hidrolik, redistribusi air tanah oleh akar dalam sistem agroforestri menghilangkan polutan dan logam berat dari tanah yang terkontaminasi (Zazai <i>et al.</i> , 2018). Hasil penelitian Zhu <i>et al.</i> , (2020) menyatakan bahwa mengintegrasikan pohon dengan tanaman dapat menyebabkan penurunan yang signifikan

practices: a review of evidence and processes.	polutan seperti nitrogen dan pestisida.
Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance	Praktik agroforestri dapat secara efektif mengurangi erosi tanah dan meningkatkan kesuburan tanah, menjadikannya solusi berkelanjutan untuk daerah terdegradasi dan tercemar logam berat dan organik polutan (Fahad <i>et al.</i> , 2022)
Land recovery and soil management with agroforestry systems	Penerapan sistem agroforestri dapat menurunkan tingkat erosi tanah, mendukung pertanian berkelanjutan dan kualitas DAS (Marques <i>et al.</i> , 2022).

Pembahasan

Pengelolaan Agroforestri Untuk Perbaikan Tanah

Sistem agroforestri memiliki peran penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dengan meningkatkan parameter fisikokimia dan kimia tanah, meningkatkan karbon organik tanah, dan meningkatkan ketersediaan nutrisi (Varshitha *et al.*, 2023). Augustine *et al.* (2007) menyatakan bahwa peningkatan bahan organik tanah dalam sistem agroforestri setelah tiga tahun penanaman meningkatkan nutrisi tanah dan kemampuannya untuk mendukung pertanian dan memerlukan manajemen lebih lanjut untuk menurunkan tingkat erosi. Sejalan dengan pernyataan Wartenberg *et al.*, (2020) bahwa peningkatan keragaman pohon dalam agroforestri yang kompleks secara signifikan meningkatkan karbon organik tanah di lapisan tanah. Peran pohon dalam sistem agroforestri ditentukan oleh berbagai elemen, termasuk spesies (kedalaman akar), ukuran dan jarak, jenis tanah, volume dan pola curah hujan, serta cekaman musim kemarau (Padovan *et al.*, 2018).

Dalam sistem agroforestri, penggunaan kombinasi antara pupuk organik dan anorganik yang tepat dapat meningkatkan mineralisasi tanah dan ketersediaan N. Praktek agroforestri meningkatkan bahan organik tanah, yang mengarah ke kandungan karbon dan nitrogen tanah yang lebih tinggi (Elrys *et al.*, 2022). Praktik ini berkontribusi pada peningkatan tingkat penyerapan nitrogen di dalam profil tanah, yang secara signifikan lebih tinggi daripada di kolam biomassa, yang pada akhirnya menghasilkan output nitrogen yang lebih tinggi dari sistem agroforestri (Tonucci *et al.*, 2023). Kim & Isaac (2022) menyatakan bahwa karbon organik tanah dan nutrisi yang tersedia secara signifikan lebih tinggi di bawah sistem agroforestri dibandingkan dengan lahan

tandus, dengan korelasipositif antara karbon organik tanah dan nutrisi tanahutama seperti nitrogen yang tersedia. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kadar nitrogen tanah dan kesuburan tanah secara umum, sistem agroforestri harus dibangun dan dikelola.

Dampak Agroforestri Terhadap Biota Tanah

Hubungan antara pohon dan tanaman memiliki dampak pada mikroorganisme tanah serta karakteristik fisik dan kimianya. Populasi mikroba tanah secara tidak langsung meningkatkan pertumbuhan tanaman karena perannya yang signifikan dalam meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah (Li *et al.*, 2020). Ankita dan Shilpi (2020) menyatakan bahwa tingkat keanekaragaman mikroba lebih tinggi dalam sistem agroforestri dan sistem agro-silvopastoral dibandingkan dengan monokultur dilaporkan karena integrasi pohon menyediakan kondisi yang menguntungkan bagi mikroflora tanah untuk berkembang.

Sistem agroforestri berkontribusi pada penumpukan dan pemeliharaan karbon organik tanah, aktivitas biologis, dan keanekaragaman mikroba, penting untuk meningkatkan kesehatan tanah dan fungsi dalam ekosistem (Kremer, 2021). Praktik agroforestri juga menyebabkan peningkatan komunitas mikroba dan cacing tanah, perubahan komposisi jamur, dan peningkatan antagonisme mikroba, yang dapat menekan patogen seperti *Blumeria graminis* di sekitar pohon (Fahad *et al.*, 2022). Integrasi pohon dalam sistem agroforestri menyediakan berbagai layanan ekologi seperti peningkatan kesuburan, pengendalian erosi, promosi keanekaragaman hayati, dan peningkatan sifat fisik, biologis, dan kimia tanah, menyoroti manfaat beragam agroforestri pada biota tanah dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan.

Penerapan Agroforestri Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanah

Integrasi pohon dengan tanaman dan ternak, memainkan peran penting dalam meningkatkan produktivitas tanah melalui berbagai mekanisme. Dengan menggabungkan tanaman pangan dan tanaman pohon, sistem agroforestri menyediakan layanan ekologi seperti peningkatan kesuburan, pengendalian erosi, dan peningkatan sifat fisik, kimia, dan biologis tanah (Fahad *et al.*, 2022). Praktik ini berkontribusi pada kesehatan tanah dengan meningkatkan daur ulang nutrisi, mengurangi erosi, dan meningkatkan ketersediaan kelembaban tanah, yang pada akhirnya mengarah pada peningkatan produktivitas tanaman (Singh *et al.*, 2023). Selain itu, penggabungan legum pohon mengintensifkan ketersediaan nitrogen di tanah, meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen melalui pemindahan nitrogen dari pohon pengikat nitrogen ke tanaman yang berdekatan (Hombegowda *et al.*, 2022). Praktik-praktik ini tidak hanya meningkatkan kualitas tanah tetapi juga menawarkan pendekatan yang berkelanjutan dan ekonomis untuk pengelolaan lahan, memastikan produktivitas lahan jangka panjang dan keberlanjutan lingkungan.

Keanekaragaman tanaman meningkatkan produktivitas dan fungsi ekosistem melalui dua mekanisme: (1) kebutuhan sumber daya yang tidak tumpang tindih atau hubungan positif antara spesies; (2) seleksi spesies, yang mana kemungkinan suatu spesies akan ada dan memberikan aktivitas atau layanan ekologi yang berguna untuk meningkat dengan diversifikasi (Eddy & Yang, 2022). Dengan menggabungkan tanaman dan pohon, kesehatan tanah meningkat dalam hal kualitas biologis, kimia, dan fisik sehingga mampu meningkatkan hasil pertanian. Peningkatan karbon organik tanah sebagian besar ditemukan di lapisan tanah bagian atas, menunjukkan bahwa perbaikan kesehatan tanah difokuskan pada zona perakaran dan memiliki dampak positif terbesar pada hasil tanaman.

Konsentrasi karbon organik dan total N yang lebih tinggi dalam sistem agroforestri dapat meningkatkan nutrisi tanaman yang tersedia, membantu menjaga produktivitas, dan meminimalkan kebutuhan akan pupuk eksternal untuk menjaga biaya budidaya tetap rendah (Eddy & Yang, 2022). Mengintegrasikan komponen tanaman tahunan dalam pertanian meningkatkan keamanan pangan yang

berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanaman yang lebih tinggi, meningkatkan pendapatan di antara rumah tangga petani kecil dan mengurangi kemiskinan dengan menyediakan kayu, buah, pakan ternak, dan makanan secara langsung dan bersamaan (Haglund *et al.*, 2011).

Potensi Pengurangan Polusi Tanah Melalui Agroforestri

Pengelolaan agrokimia yang tidak tepat dan penggunaan agrokimia termasuk pestisida dan pupuk anorganik secara berlebihan dalam pertanian adalah sumber pencemaran dan dapat mengakibatkan kerusakan tanah yang signifikan (Pavlidis *et al.*, 2020). Agroforestri mengurangi penggunaan agrokimia, mempercepat mineralisasi, dan memperbaiki tanah dan air didalam tanah (Fahad *et al.*, 2022).

Melalui proses dekontaminasi, hiperakumulasi, dan pengangkatan hidrolik, redistribusi air tanah oleh akar dalam sistem agroforestri menghilangkan polutan dan logam berat dari tanah yang terkontaminasi (Zazai *et al.*, 2018). Polutan tertahan atau distabilkan di rizosfer melalui proses fitostabilisasi. Melalui fitodegradasi, polutan diuraikan atau diubah menjadi bentuk yang kurang berbahaya oleh tanaman, dan kontaminan secara keseluruhan dipanen melalui penyimpanan di daun atau batang tanaman dalam proses fitoremediasi (Jeevanantham *et al.*, 2019). Sistem akar pohon yang dalam yang meluas mampu menangkap kelebihan agrokimia dengan membentuk jaring pengaman. Dengan demikian, integrasi pohon di lahan pertanian, seperti melalui penanaman lorong, dapat menjadi strategi pengurangan polusi tanah.

Sistem agroforestri menunjukkan potensi yang signifikan dalam mengurangi polusi tanah dengan meningkatkan kualitas tanah dan mengurangi erosi. Hasil penelitian Zhu *et al.*, (2020) menyatakan bahwa mengintegrasikan pohon dengan tanaman dapat menyebabkan penurunan yang signifikan polutan seperti nitrogen dan pestisida. Praktik agroforestri dapat secara efektif mengurangi erosi tanah dan meningkatkan kesuburan tanah, menjadikannya solusi berkelanjutan untuk daerah terdegradasi dan tercemar logam berat dan organik polutan (Fahad *et al.*, 2022). Selain itu, penerapan sistem agroforestri dapat menurunkan tingkat erosi tanah, mendukung pertanian berkelanjutan dan kualitas DAS (Marques *et al.*, 2022).

Agroforestri telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam menanggulangi masalah pencemaran tanah, mendorong keberlanjutan lingkungan, dan menjamin ketahanan pangan.

Kesimpulan

Sistem agroforestri berperan penting dalam meningkatkan kesehatan tanah dengan meningkatkan kesuburan, sifat tanah, dan pengendalian erosi. Integrasi pohon dalam sistem agroforestry berkontribusi pada peningkatan keanekaragaman hayati dan peningkatan kesehatan tanah secara keseluruhan. Berbagai penelitian menunjukkan keefektifan agroforestri dalam memulihkan kesehatan tanah, mengurangi limpasan, memasukkan curah hujan kedalam profil tanah, dan menguatkan ikatan partikel tanah bersama-sama, dan secara keseluruhan menunjukkan potensinya untuk pengelolaan lahan yang berkelanjutan

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering yang telah memberikan arahan serta masukan kepada penulis sehingga penulisan artikel ini dapat terselesaikan.

Referensi

- Ankita, C., & Shilpi, R. (2020). Microbial Diversity In Selected Agroforestry Systems Of Central Rajasthan. *International Journal Of Pharma And Bio Sciences*, 10(5). <https://doi.org/10.22376/ijpbs/lpr.2020.10.5.L65-73>
- Delgado, A. R. (2022). Land Recovery and Soil Management with Agroforestry Systems. *Spanish Journal of Soil Science*, 12, 10457. <https://doi.org/10.3389/sjss.2022.10457>
- Du, X., Jian, J., Du, C., & Stewart, R. D. (2022). Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.08.001>
- Eddy, W. C., & Yang, W. H. (2022). Improvements in soil health and soil carbon sequestration by an agroforestry for food production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 333, 107945. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107945>
- Elrys, A. S., Uwiragiye, Y., Zhang, Y., Abdel-Fattah, M. K., Chen, Z., Zhang, H., Meng, L., Wang, J., Zhu, T., Cheng, Y., Zhang, J., Cai, Z., Chang, S. X., & Müller, C. (2022). Expanding agroforestry can increase nitrate retention and mitigate the global impact of a leaky nitrogen cycle in croplands. *Nature Food*, 4(1), 109–121. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00657-x>
- Eng, K. M. P. (2024). *Soil Erosion Causes and Effects*. Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., Pradhan, A., Jinger, D., Rawale, G., Yadav, D. K., Kumar, V., Farooq, T. H., Ali, B., Sawant, A. V., Saud, S., Chen, S., & Pocza, P. (2022). Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. *Sustainability*, 14(22), 14877. <https://doi.org/10.3390/su142214877>
- Fan & Pavlidis, G. (2023). *Investigation of agroforestry systems as measures of pollution reduction from fertilizers and pesticides in soils* <https://doi.org/10.12681/eadd/53927>
- Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., ... & Pocza, P. (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance. *Sustainability*, 14(22), 14877.
- Haglund, E., Ndjunga, J., Snook, L., & Pasternak, D. (2011). Dry land tree management for improved household livelihoods: Farmer managed natural regeneration in Niger. *Journal of Environmental Management*, 92(7), 1696–1705. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.027>
- Hombegowda, H. C., Adhikary, P. P., Jakhar, P., & Madhu, M. (2022). Alley cropping agroforestry system for improvement of soil health. In *Soil health and environmental sustainability: application of geospatial technology* (pp. 529-549). Cham: Springer International Publishing.
- Jeevanantham, S., Saravanan, A., Hemavathy, R. V., Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., & Yuvaraj, D. (2019). Removal of toxic

- pollutants from water environment by phytoremediation: a survey on application and future prospects. *Environmental technology & innovation*, 13, 264-276.
- Kim, D.-G., & Isaac, M. E. (2022). Nitrogen dynamics in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 60. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00791-7>
- Kremer, R. J. (2021). Soil Health Ecosystem Services of Agroforestry. In R. P. Udawatta & S. Jose (Eds.), *Agroforestry and Ecosystem Services* (pp. 49–63). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4_3
- Li, X., Ge, T., Chen, Z., Wang, S., Ou, X., Wu, Y., Chen, H., & Wu, J. (2020). Enhancement of soil carbon and nitrogen stocks by abiotic and microbial pathways in three rubber-based agroforestry systems in Southwest China. *Land Degradation & Development*, 31(16), 2507–2515. <https://doi.org/10.1002/ldr.3625>
- Marques, M. A., Anjos, L. H. C. D., & Sanchez Delgado, A. R. (2022). Land recovery and soil management with agroforestry systems. *Spanish Journal of Soil Science*, 12, 10457. <https://doi.org/10.1002/ldr.3625>
- Mesfin, S., & Haileselassie, H. (2022). Evaluation of soil physico-chemical properties as affected by canopies of scattered agroforestry trees on croplands. *South African Journal of Plant and Soil*, 39(2), 153–162. <https://doi.org/10.1080/02571862.2022.2056644>
- Muhie, S. H. (2022). Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
- Padovan, M. P., Brook, R. M., Barrios, M., Cruz- Castillo, J. B., Vilchez-Mendoza, S. J., Costa, A. N., & Rapidel, B. (2018). Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* Bertol. And *Simarouba glauca* dc. Compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.036>
- Pan, C., Shrestha, A., Innes, J. L., Zhou, G., Li, N., Li, J., He, Y., Sheng, C., Niles, J.-O., & Wang, G. (2022). Key challenges and approaches to addressing barriers in forest carbon offset projects. *Journal of Forestry Research*, 33(4), 1109–1122. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01488-z>
- Pavlidis, G., Karasali, H., & Tsihrintzis, V. A. (2020). Pesticide and fertilizer pollution reduction in two alley cropping agroforestry cultivating systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(5), 241. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04590-2>
- Rosati, A., Borek, R., & Canali, S. (2021). Agroforestry and organic agriculture. *Agroforestry Systems*, 95(5), 805–821. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00559-6>
- Shit, P. K., Adhikary, P. P., Bhunia, G. S., & Sengupta, D. Soil Health and Environmental Sustainability. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09270-1_23
- Singh, S., Bhoi, T. K., & Vyas, V. (2023). Interceding microbial biofertilizers in agroforestry system for enhancing productivity. In *Plant growth promoting microorganisms of arid region* (pp. 161-183). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4124-5_8
- Srivastava, Dr. P., Giri, N., & Mandal, D. (2019). 137 Cs technology for soil erosion and soil carbon redistribution. *Current Science*, 116, 888–889.
- Suryanto, P. (2006). *Model Bera dalam Sistem Agroforestri*.
- Tonucci, R. G., Vogado, R. F., Silva, R. D., Pompeu, R. C. F. F., Oda-Souza, M., & Souza, H. A. D. (2023). Agroforestry system improves soil carbon and nitrogen stocks in depth after land-use changes in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 47, e0220124. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220124>
- Varshitha, M., Chaitanya, T., Neelima, T. L., & Jayasree, G. (2023). Soil Characteristics under Different Agroforestry Land Use Systems in Semiarid

-
- Region. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(9), 562-573.
<https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i92271>
- Wartenberg, A. C., Blaser, W. J., Roshetko, J. M., Van Noordwijk, M., & Six, J. (2020). Soil fertility and *Theobroma cacao* growth and productivity under commonly intercropped shade-tree species in Sulawesi, Indonesia. *Plant and Soil*, 453(1–2), 87–104.
<https://doi.org/10.1007/s11104-018-03921-x>
- Wattimena, C., Latupapua, L., & Sahureka, M. (2024). Penerapan Agroforestry untuk Meningkatkan Kesejahteraan Petani dan Konservasi Alam di Negeri Liliboy, Kecamatan Leihitu Barat, Kabupaten Maluku Tengah. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Inovasi Indonesia*, 2(1), 183-190.
- Zazai, K. G., Wani, O. A., Ali, A., & Devi, M. (2018). Phytoremediation and carbon sequestration on potential of agroforestry systems: a review. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 7, 2447-2457.
[10.20546/ijemas.2018.701.295](https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.701.295)
- Zhu, X., Liu, W., Chen, J., Bruijnzeel, L. A., Mao, Z., Yang, X., ... & Jiang, X. J. (2020). Reductions in water, soil and nutrient losses and pesticide pollution in agroforestry practices: a review of evidence and processes. *Plant and Soil*, 453(1), 45-86.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04377-3>