

AVANÇOS E PERSPECTIVAS DA BIOTECNOLOGIA AGROAMBIENTAL: INTEGRANDO CIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE

Data de submissão: 06/02/2024

Data de aceite: 01/04/2024

José Camilo Torres Romero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ECAPMA
Bogotá D.C. Colombia
<https://orcid.org/0000-0003-3332-6173>

Myriam Janeth Ortega Torres

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ECAPMA
Bogotá D.C. Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-9791-0822>

Manuel Francisco Polanco Puerta

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ECAPMA
Dosquebradas, Risaralda. Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-4810-0081>

Juliana Rivera Cano

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ECAPMA
Dosquebradas, Risaralda. Colombia
<https://orcid.org/0000-0003-0519-9250>

Jessica Almeida Braga

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ECAPMA
Bogota D.C. Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-8761-1415>

RESUMO: Após a revolução da biotecnologia nos anos 70, impulsionada pelos avanços da engenharia genética, esperava-se que os principais problemas da humanidade fossem resolvidos pela ciência. Apesar das grandes contribuições da ciência para melhorar nossa expectativa e qualidade de vida, o mundo ainda enfrenta problemas que poderiam ser evitados com a transferência de tecnologia ou planejamento. Nesse contexto, a biotecnologia agroambiental surge como uma ramificação emergente da biotecnologia, capaz de abordar problemas complexos refletidos nos objetivos de desenvolvimento sustentável ODS de maneira integral.

Este documento apresenta diferentes cenários nos quais a biotecnologia agroambiental pode se desenvolver naturalmente e como essa nova perspectiva pode dar um novo significado à ciência.

PALAVRAS-CHAVE: Agroecologia, Bioinsumos, Bioengenharia, Inovação Científica, Agricultura Sustentável, Tecnologias Verdes.

ADVANCEMENTS AND PERSPECTIVES IN AGRO-ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY: INTEGRATING SCIENCE AND SUSTAINABILITY

ABSTRACT: After the biotechnology revolution in the 1970s, driven by advances in genetic engineering, it was expected that the main problems of humanity would be solved by science. Despite the great contributions of science to improve our life expectancy and quality of life, the world still faces problems that could be avoided with technology transfer or planning. In this context, agro-environmental biotechnology emerges as an emerging branch of biotechnology, capable of addressing complex problems reflected in the Sustainable Development Goals (SDGs) in an integral way.

This document presents different scenarios in which agro-environmental biotechnology can naturally develop and how this new perspective can give a new meaning to science.

KEYWORDS: Agroecology, Bio-inputs, Bioengineering, Scientific Innovation, Sustainable Agriculture, Green Technologies.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a biotecnologia prometeu revolucionar diversos aspectos da nossa vida, desde a saúde até a produção agrícola. No entanto, apesar de seus avanços notáveis, o mundo continua enfrentando desafios cruciais, muitos dos quais poderiam ser mitigados por meio de uma transferência eficaz de tecnologia e planejamento cuidadoso. Neste contexto, a biotecnologia agroambiental surge como um campo promissor, oferecendo soluções integradas para problemas complexos relacionados à agricultura e ao meio ambiente.

Este documento explora vários cenários nos quais a biotecnologia agroambiental pode se desenvolver naturalmente e como essa nova perspectiva pode redefinir o papel da ciência em nossa sociedade. Abordaremos como a biotecnologia agroambiental, por meio de sua abordagem integrada, pode contribuir para a solução de problemas ambientais causados por práticas agrícolas insustentáveis, promovendo simultaneamente a segurança alimentar e a conservação do meio ambiente.

O CONTEXTO DA BIOTECNOLOGIA AGROAMBIENTAL

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a agricultura é uma das principais ameaças para 86% das 28.000 espécies em risco de extinção. Este problema de perda de biodiversidade deve continuar se acelerando a menos que haja uma mudança na maneira como produzimos alimentos, com a destruição adicional de ecossistemas ameaçando nossa capacidade de sustentar populações humanas. O relatório também destaca o “paradigma de alimentos mais baratos”, onde o objetivo de produzir mais alimentos a custos menores através do aumento de insumos como fertilizantes e pesticidas leva a um ciclo vicioso de maior demanda por alimentos e maior desmatamento de terras, agravando o problema. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2021).

O Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (IISD) também ressalta o impacto da agricultura em desafios globais urgentes, incluindo mudança climática e crescente desigualdade. A intensificação da agricultura levou a um aumento de rendimentos em muitas regiões, o que ajudou a reduzir a demanda por terras agrícolas adicionais e preservou alguns habitats naturais. No entanto, esta intensificação frequentemente reduz a adequação do habitat para muitas espécies e contribui para a diminuição da biodiversidade em terras agrícolas, bem como a poluição que ameaça espécies marinhas e de água doce com extinção (INSTITUTO INTERNACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2024).

Para abordar esses problemas, é necessário um enfoque multifacetado que inclua a mudança de padrões dietéticos globais, proteção de terras para a natureza e cultivo de forma mais amigável com o meio ambiente, entre outros fatores que impedem a perda de biodiversidade devido à agricultura. Esses passos são cruciais para garantir a sustentabilidade da produção de alimentos e a preservação da biodiversidade para as futuras gerações (ROYAL SOCIETY, 2024).

Os impactos das situações mencionadas afetam principalmente os setores sociais mais vulneráveis, incluindo pequenos agricultores, pescadores artesanais, pequenos produtores florestais, povos indígenas e comunidades tradicionais. Por exemplo, O Gran Chaco, uma vasta região que se estende pelo Paraguai, Bolívia e Argentina, é um exemplo claro de como as práticas agrícolas intensivas podem impactar negativamente os setores sociais mais vulneráveis e o meio ambiente. Esta área, conhecida por sua rica biodiversidade e ecossistemas variados, tem vivenciado uma rápida expansão da agricultura industrial nas últimas décadas.

A busca por uma agricultura mais intensiva, principalmente para produção de soja e pecuária, levou a uma significativa desflorestação no Gran Chaco. Essa mudança no uso do solo teve repercussões profundas não apenas no ambiente, mas também nas comunidades locais. Pequenos agricultores, pescadores artesanais, pequenos produtores florestais, povos indígenas e comunidades tradicionais foram particularmente afetados.

Estas comunidades, que historicamente dependiam dos recursos naturais da região para subsistência e cultura, agora enfrentam a perda de suas terras e meios de vida. A desflorestação e a alteração dos ecossistemas reduziram a disponibilidade de recursos vitais e afetaram a biodiversidade local, na qual estas comunidades têm um papel crucial tanto no seu uso como na sua conservação.

Além disso, a expansão da agricultura intensiva no Gran Chaco contribui para as alterações climáticas, exacerbando os desafios ambientais e econômicos para esses grupos vulneráveis. A perda de biodiversidade não é apenas um problema ecológico, mas também representa uma ameaça às práticas e tradições culturais dos povos indígenas e das comunidades locais que coexistiram em harmonia com esses ecossistemas por séculos.

Nos últimos anos, países da América Latina e do Caribe têm se esforçado para integrar a agricultura em um desenvolvimento inclusivo e sustentável, formulando e implementando políticas agropecuárias e ambientais (ORSINI et al., 2013). Contudo, ainda falta uma visão que considere as sinergias e objetivos comuns entre os diferentes setores, utilizando a biotecnologia com uma abordagem agroambiental holística e transversal para criar visões mais integradas que unam sociedade, território, meio ambiente e economia.

A contribuição da América Latina envolve promover padrões sustentáveis de produção e consumo de alimentos e bens comerciais, transformar modelos agroprodutivos tradicionais e avançar na sustentabilidade para erradicar a pobreza extrema, desigualdade e insegurança alimentar (ORSINI et al., 2013).

A biotecnologia moderna pode ser definida como uma atividade que envolve várias disciplinas, incluindo biologia molecular, engenharia genética, microbiologia, genômica, imunologia, engenharia ambiental e bioquímica. Ela contribui significativamente para resolver problemas da humanidade, como desnutrição, poluição, destruição de ecossistemas, crescente demanda por alimentos e água, sustentabilidade de recursos energéticos e agroflorestais, e atendimento de necessidades básicas em saúde e moradia (MCKELVEY, RICKNE, LAAGE-HELLMAN, 2004; TORRES et al., 2020).

Apesar de seus mais de 50 anos de existência e promessas de solucionar problemas antropogênicos, como crescimento populacional, fome, doenças, desmatamento, uso ineficiente do solo e aquecimento global, a biotecnologia moderna não resolveu definitivamente estes desafios, mas continua a desempenhar um papel fundamental na sociedade.

A experiência deste meio século tecnocrático e cientificista resultou em avanços significativos na expectativa de vida humana, mas à custa da degradação dos recursos naturais. O desenvolvimento tecnológico tem fomentado uma abordagem mais humanista à ciência, onde o homem se torna um agente ativo na ciência. A biotecnologia agroambiental é vista como uma forma de usar organismos e moléculas de forma inteligente e sustentável para gerar tecnologia eficaz e competitiva que solucione problemas nos setores agropecuário, industrial e ambiental, promovendo soluções intersetoriais para problemas ambientais causados pela produção agrícola. Assim, a biotecnologia pode ser uma estratégia eficaz para enfrentar problemas regionais específicos, reduzindo o impacto ambiental.

Apesar da importância do desenvolvimento da biotecnologia agroambiental, não há uma definição precisa sobre seu significado e enfoque. Portanto, considerando os elementos históricos que implicitamente a formaram (**Fig. 1**), podemos definir como uma área interdisciplinar que integra biotecnologia com ciências agrícolas e ambientais, focada em melhorar a sustentabilidade e eficiência na agricultura. Este campo aplica técnicas avançadas, como a engenharia genética, para desenvolver plantações sistentes e para a biorremediação de solos e águas contaminadas é crucial para mitigar impactos antropogênicos, promovendo soluções inovadoras para segurança alimentar e proteção

ambiental (ABELLA-SANCLEMENTE, VALOIS-CUESTA, POLANCO-PUERTA, 2023; JAIMES-DÍAZ, SUAREZ-CHACÓN, TORRES-ROMERO, 2021).

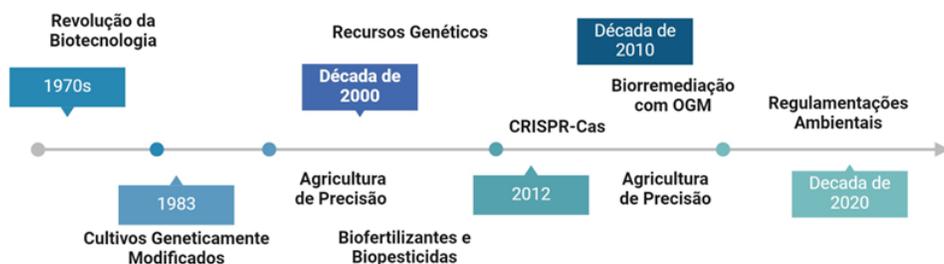


Figura 1. Linha do Tempo da Evolução da Biotecnologia Agroambiental. A figura ilustra uma linha do tempo dos eventos chave no desenvolvimento da biotecnologia agroambiental. Começando na década de 1970 com a revolução da biotecnologia, marcada por avanços em engenharia genética, a linha do tempo avança através de marcos importantes como a criação de cultivos geneticamente modificados em 1983 e a introdução de tecnologias de agricultura de precisão na década de 2000. Um ponto de destaque em 2012 é o desenvolvimento da tecnologia CRISPR-Cas, que revolucionou a edição genética. A linha do tempo conclui com as regulamentações ambientais da década de 2020, refletindo o crescente foco na sustentabilidade dentro do campo. Esta representação visual demonstra como os avanços tecnológicos e a consciência ambiental evoluíram juntos, levando a biotecnologia agroambiental à frente das práticas agrícolas sustentáveis e da ciência aplicada.

Vamos apresentar os principais cenários nos quais a biotecnologia agroambiental se desenvolve naturalmente. Com isso, esperamos contribuir por meio de uma revisão temática precisa, abrindo a porta para a participação e o exercício da ciência. Isso permitirá que qualquer cidadão entenda os possíveis alcances que a ciência pode ter quando realizada de forma coletiva.

DESENVOLVIMENTO DE CULTIVOS MODIFICADOS GENETICAMENTE

A criação de variedades de cultivos que necessitam de menos insumos químicos e são resistentes a condições climáticas adversas é uma inovação chave na biotecnologia agroambiental. Estes cultivos modificados geneticamente (CMG) representam um avanço significativo na agricultura sustentável e na conservação da biodiversidade. Ao diminuir a necessidade de pesticidas e herbicidas, os CMG reduzem os custos de produção e o impacto ambiental negativo. Sua capacidade de tolerar condições extremas, como a seca ou salinidade do solo, é crucial frente às mudanças climáticas, tornando-os valiosos para a segurança alimentar futura. Os CMG também têm um impacto econômico e social positivo, com potencial para oferecer rendimentos mais altos e melhorar a qualidade nutricional dos alimentos. No entanto, é vital considerar as implicações éticas, sociais e de biossegurança relacionadas a esses desenvolvimentos (RODRIGUEZ; TORRES, 2021). A regulamentação cuidadosa e a gestão de riscos são essenciais para maximizar os benefícios dos CMG e minimizar potenciais riscos. Para uma compreensão mais aprofundada, recomenda-se consultar fontes confiáveis como a FDA, FAO e AgBioWorld, que fornecem informações

atualizadas sobre avanços e aplicações da biotecnologia agrícola, incluindo os CMG. Estas fontes oferecem perspectivas detalhadas e podem auxiliar na tomada de decisões informadas no campo da biotecnologia agroambiental.

A tecnologia CRISPR-Cas, na biotecnologia agroambiental, representa uma evolução significativa na edição genética, permitindo alterações precisas no DNA das plantas. Essa capacidade de desenvolver cultivos mais resistentes a doenças e adaptados a condições climáticas extremas é essencial para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Além disso, essa tecnologia reduz a necessidade de fertilizantes e pesticidas químicos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. Outras aplicações importantes do CRISPR-Cas incluem a biofortificação de cultivos, melhorando seu valor nutricional, e a preservação de recursos genéticos, crucial para manter a diversidade genética. Apesar dos benefícios, esta tecnologia enfrenta desafios técnicos, éticos e regulatórios que exigem uma gestão cuidadosa para garantir um uso seguro e responsável. A implementação apropriada da tecnologia CRISPR-Cas é um elemento chave que poderia ajudar a superar o preconceito injustificado contra cultivares geneticamente modificadas. Ao se reconhecer que as novas plantas desenvolvidas por meio da tecnologia CRISPR-Cas não são exatamente plantas transgênicas, mas sim plantas modificadas com precisão em suas sequências de DNA para reproduzir características desejadas sem a introdução de genes externos, este avanço pode garantir a sustentabilidade da agricultura moderna. Representa um passo significativo em direção a um futuro agrícola mais resiliente, eficiente e benéfico para a saúde humana (JIANG & CAO, 2023).

BIOFERTILIZANTES E BIOPESTICIDAS

A aplicação de biofertilizantes e biopesticidas na biotecnologia agroambiental é uma estratégia cada vez mais relevante para enfrentar os desafios da agricultura moderna. Esses métodos promovem práticas agrícolas mais ecológicas e sustentáveis, minimizando o impacto ambiental e melhorando a fertilidade do solo, bem como o controle de pragas e doenças.

Os biofertilizantes, compostos por microorganismos benéficos, desempenham um papel crucial na melhoria da disponibilidade de nutrientes para as plantas. Microorganismos como fixadores de nitrogênio e solubilizadores de fosfato contribuem significativamente para o crescimento das plantas e a recuperação da qualidade do solo. Pesquisas demonstraram que o uso de biofertilizantes pode aumentar consideravelmente a produtividade das colheitas, com exemplos notáveis em regiões como o México, onde foram relatados aumentos significativos nos rendimentos.

Por outro lado, os biopesticidas, compostos por uma variedade de microorganismos e substâncias derivadas, oferecem uma alternativa mais ecológica para o controle de pragas e doenças em comparação com os pesticidas químicos convencionais. Seu uso ajuda a reduzir a contaminação do solo e da água, além de preservar a biodiversidade.

A co-inoculação, que envolve o uso combinado de diferentes tipos de microorganismos, como fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio, tem se mostrado especialmente benéfica. Ela melhora o desenvolvimento das plantas, aumenta a tolerância ao estresse e fortalece a resistência à seca e a doenças em culturas anuais e perenes (OBIANUJU & OLUBUKOLA, 2020).

Apesar dos numerosos benefícios, a adoção de biofertilizantes e biopesticidas enfrenta desafios, incluindo a necessidade de selecionar e avaliar eficazmente cepas nativas, além de desenvolver formulações aprimoradas de inoculantes específicos que resultem em aumentos significativos no rendimento das plantas. Além disso, é importante estabelecer políticas e estratégias para sua adoção mais ampla e eficaz na agricultura

A integração de biofertilizantes e biopesticidas na biotecnologia agroambiental é uma estratégia promissora para melhorar a produtividade e a sustentabilidade das colheitas, ao mesmo tempo em que contribui para a preservação do meio ambiente e da biodiversidade do solo. Seu uso crescente é um passo importante em direção a uma agricultura mais ecológica e sustentável.

CONSERVAÇÃO E USO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS GENÉTICOS

A conservação e uso sustentável de recursos genéticos na biotecnologia agroambiental abordam a vital preservação da diversidade genética de espécies agrícolas, com o objetivo de manter a biodiversidade e promover a resiliência dos ecossistemas. Essa estratégia é fundamental para atender às necessidades alimentares e nutricionais humanas, além de ser essencial para manter e melhorar a eficiência e resiliência dos sistemas de produção agrícola, bem como para dietas saudáveis e a prestação de serviços ecossistêmicos, como polinização e regulação de pragas e doenças.

A conservação da diversidade genética desempenha um papel crucial na biotecnologia agroambiental. Isso inclui a preservação de variedades tradicionais e locais, bem como espécies silvestres relacionadas, que são fontes valiosas de genes para resistência a doenças, adaptabilidade a condições climáticas em mudança e outros traços desejáveis. O uso sustentável de recursos genéticos envolve a exploração dessa diversidade de maneira a beneficiar as práticas agrícolas atuais, sem comprometer as necessidades futuras. Isso implica o desenvolvimento de variedades de cultivos que sejam produtivas, resistentes a doenças e adaptadas às condições ambientais locais, sendo sustentáveis em termos de uso de recursos.

As modernas técnicas de biotecnologia, como a edição genética, fornecem ferramentas poderosas para a conservação e uso eficaz de recursos genéticos. Essas técnicas permitem aos cientistas compreenderem melhor a função de genes específicos e usar esse conhecimento para melhorar as características dos cultivos de maneira mais eficiente e precisa.

O impacto da conservação e uso sustentável de recursos genéticos é significativo nos sistemas de produção e na promoção de dietas saudáveis. A diversidade genética dos cultivos leva a uma maior variedade de alimentos nutritivos, essencial para dietas equilibradas e saudáveis. Além disso, a biodiversidade agrícola desempenha um papel fundamental na prestação de serviços ecossistêmicos, como polinização e regulação de pragas e doenças, que são vitais para a produção de alimentos e a saúde dos ecossistemas.

A gestão sustentável de recursos na biotecnologia agroambiental envolve uma combinação de abordagens inovadoras e o uso de tecnologias avançadas para melhorar a eficiência no uso de recursos-chave, como água e solo. Essas práticas buscam não apenas aumentar a produtividade agrícola, mas também minimizar o impacto ambiental e melhorar a sustentabilidade dos sistemas de produção. A transição para uma agricultura sustentável requer abordagens inovadoras, como a abordagem de paisagem para a gestão integrada de recursos em nível de bacias hidrográficas e paisagens, que contribuem para serviços ecossistêmicos, como controle natural de pragas e polinização. Além disso, inovações de mercado e sistemas participativos de inovação agrícola são cruciais para incentivar modelos de produção sustentável e promover a inclusão de agricultores familiares, melhorando assim a segurança alimentar e fornecendo alimentos mais seguros e diversos.

A conservação e uso sustentável de recursos genéticos na biotecnologia agroambiental são abordagens abrangentes que buscam equilibrar a produção de alimentos com a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade ecológica. Essa abordagem é fundamental para enfrentar os desafios atuais e futuros na agricultura e na segurança alimentar.

BIORREMEDIAÇÃO

A biorremediação usando organismos geneticamente modificados é uma técnica avançada na biotecnologia agroambiental, crucial para limpar solos e águas contaminadas, especialmente em áreas agrícolas afetadas pelo uso excessivo de produtos químicos. Essa estratégia envolve dois principais enfoques: *in situ*, onde a limpeza ocorre diretamente no local contaminado, e *ex situ*, que requer o tratamento dos contaminantes em instalações especializadas. Organismos geneticamente modificados, como bactérias, fungos e algas, desempenham um papel vital nesse processo, degradando eficazmente uma ampla gama de contaminantes.

Apesar de suas vantagens, como ser mais econômica e menos prejudicial ao meio ambiente do que os métodos tradicionais, a biorremediação enfrenta desafios, incluindo a necessidade de mais tempo para obter resultados e a dificuldade em prever sua eficácia. Essa técnica está alinhada com os objetivos da agricultura sustentável, ajudando a restaurar a qualidade do solo e da água e promovendo práticas agrícolas mais amigáveis ao meio ambiente.

A eficácia da biorremediação depende de uma combinação de avanços biotecnológicos, considerações éticas e ambientais, e estratégias de gestão sustentável. Por exemplo, no tratamento de derramamentos de petróleo, que podem causar graves danos ecológicos e afetar a flora e fauna local, utiliza-se a biorremediação. Esta técnica emprega microrganismos especializados para decompor componentes do petróleo. Pesquisadores aprimoram geneticamente esses microrganismos para aumentar sua eficácia na metabolização dos contaminantes. Antes de aplicar a biorremediação, considera-se as implicações éticas e ambientais, desenvolvendo estratégias de gestão sustentável, incluindo proteção de áreas sensíveis, monitoramento contínuo e colaboração com especialistas em conservação ambiental. A combinação desses elementos permite abordar a contaminação por petróleo de forma eficaz e sustentável, minimizando o impacto ambiental e restaurando gradualmente os ecossistemas afetados.

A AGRICULTURA DE PRECISÃO E A GESTÃO DE RECURSOS DA BIOTECNOLOGIA AGROAMBIENTAL

A agricultura de precisão e a gestão de recursos são fundamentais para melhorar a eficiência no uso de recursos essenciais, como a água e o solo, reduzindo o desperdício e minimizando a pegada ambiental das práticas agrícolas. Esse enfoque é apoiado por tecnologias avançadas que permitem um monitoramento detalhado e uma gestão eficiente das atividades agrícolas. O uso de GPS e georreferenciamento, sensores remotos, drones e sistemas de informações geográficas (SIG) facilita a identificação precisa da localização de parcelas agrícolas e fornece informações valiosas sobre o estado das colheitas e do solo. Essas ferramentas auxiliam na tomada de decisões informadas sobre irrigação, fertilização e controle de pragas. Além disso, a integração de tecnologias como blockchain e cibersegurança melhora a rastreabilidade e a segurança dos produtos agrícolas, oferecendo maior confiança aos agricultores e consumidores.

A monitorização e gestão da irrigação por meio de sensores e sistemas de controle automatizados permitem que os agricultores obtenham dados precisos sobre a umidade do solo e as necessidades hídricas das colheitas, otimizando assim o uso da água. A melhoria na produtividade das culturas é alcançada por meio do monitoramento regular do estado das plantas e do solo, permitindo a detecção precoce de problemas e a tomada oportuna de medidas corretivas.

Além dos benefícios ambientais, a adoção da agricultura de precisão e da gestão de recursos tem um impacto positivo no meio ambiente. Isso inclui a redução no uso de água, fertilizantes, pesticidas e combustíveis. Também possibilita o aumento da produção agrícola sem a necessidade de expandir a área cultivada, contribuindo assim para a redução do desmatamento e do esgotamento dos recursos naturais.

A agricultura de precisão e a gestão de recursos emergem como soluções integradas que combinam a sustentabilidade ambiental com a eficiência produtiva. São fundamentais para enfrentar os desafios atuais e futuros na agricultura global, tornando possível uma agricultura mais sustentável e eficiente.

BIOTECNOLOGIA AGROAMBIENTAL E UM SENTIDO PARA A CIÊNCIA

A biotecnologia agroambiental, conforme discutido no documento, confere um significado profundo e multifacetado à ciência. Ao integrar abordagens de diversas disciplinas, como engenharia genética, microbiologia e bioquímica, este ramo da biotecnologia enfrenta problemas globais como segurança alimentar, sustentabilidade de recursos e mudanças climáticas.

Neste contexto, a biotecnologia agroambiental dá sentido à ciência ao reconectá-la com as necessidades e desafios reais da sociedade e do meio ambiente. Além disso, promove uma abordagem científica que não se concentra apenas no avanço tecnológico, mas também considera a responsabilidade ética, a sustentabilidade e o bem-estar humano a longo prazo de forma fundamentada e sistemática.

REFERENCIAS

ABELLA-SANCLEMENTE, Carmen-Sofía; VALOIS-CUESTA, Hamleth; POLANCO-PUERTA, Manuel-Francisco. The tree *Acacia mangium* (Fabaceae) facilitates the recovery of mining areas in the rain forest of Chocó, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 2023, vol. 71, n. 1. ISSN: 2215-2075.

EMMANUEL, Obianuju Chiamaka; BABALOLA, Olubukola Oluranti. Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. *Microbiol Res.*, out. 2020, vol. 239, 126569. doi: 10.1016/j.micres.2020.126569. Epub 31 jul. 2020. PMID: 32771873.

INSTITUTO INTERNACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Food and Agriculture. Disponível em: <https://www.iisd.org/topics/food-and-agriculture>. Acesso em: [30/01/2024].

JAIMES-DÍAZ, H. G.; SUAREZ-CHACÓN, I.; TORRES-ROMERO, J. C. El compostaje: Una alternativa para la recuperación de suelos contaminados por agroquímicos para el pequeño productor. *Ciencias Agropecuarias*, v. 7, n. 1, p. 51–67, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.36436/24223484.402>

JIANG, Yang; CAO, Cougui. Crayfish–rice integrated system of production: an agriculture success story in China. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2021, vol. 41, p. 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00724-w>

MCKELVEY, M.D.; RICKNE, A.; LAAGE-HELLMAN, J. *The economic dynamics of modern biotechnology*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2004. ISBN: 978 1 84376 519 6.

NACIONES UNIDAS. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. Disponible en: <https://www.un.org/es/observances/biodiversity-day/convention>. Data de acesso: 31/01/2024.

ORSINI, F.; KAHANE, R.; NONO-WOMDIM, R. et al. *Urban agriculture in the developing world: a review*. *Agron. Sustain. Dev.*, 2013, vol. 33, p. 695-720. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0143-z>.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. Our global food system is the primary driver of biodiversity loss. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/our-global-food-system-primary-driver-biodiversity-loss>. Acesso em: [28/01/2024].

RODRIGUEZ, E.; TORRES, J. C. Árbol de Neem (*Azadirachta indica*) en Colombia: una alternativa para el desarrollo agroambiental del sector agrícola. *Ciencias agropecuarias*, v. 7, n. 2, p. 93-115, 2021. <https://doi.org/10.36436/24223484.522>.

ROYAL SOCIETY. Preserving global biodiversity requires rapid agricultural improvements. Disponível em: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/biodiversity/agricultural-land-use-and-biodiversity/>. Acesso em: [31/01/2024].

TORRES ROMERO, J. C.; ORTEGA, J.; POLANCO, M. F.; PADILHA, J. C.; MONTENEGRO, S. Biotecnología agroambiental: un enfoque emergente frente a la crisis mundial. *Ciencias Agropecuarias*, v. 6, n. 1, p. 79-85, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36436/24223484.316>