

Uso da quitosana na agricultura: uma revisão com ênfase na aplicação em sementes

Use of chitosan in agriculture: a review with an emphasis on seed application

Uso de quitosano en agricultura: una revisión con énfasis en la aplicación de semillas

Recebido: 15/01/2022 | Revisado: 23/01/2022 | Aceito: 27/01/2022 | Publicado: 29/01/2022

Yasmin Chagas Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1442-4253>
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
E-mail: yasmin.chagas@aluno.uece.br

Oriel Herrera Bonilla

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9140-6086>
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
E-mail: oriel.bonilla@uece.br

Eliseu Marlônio Pereira de Lucena

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8190-1702>
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
E-mail: eliseu.lucena@uece.br

Resumo

Nos últimos anos, os estudos na área agrônômica se intensificaram na busca por melhorias para o aumento da produção das culturas, assim como, menor impacto ambiental. Os biopolímeros surgem então como uma alternativa, apresentando propriedades que atraíram os pesquisadores e produtores, com destaque para a quitosana, um aminopolissacarídeo natural extraído da quitina, caracterizado por ser um biopolímero renovável, de baixo custo, ampla obtenção (exoesqueletos dos insetos, crustáceos e parede celular de fungos), atóxico, biodegradável e biocompatível. Diante disto, o presente estudo buscou realizar uma revisão bibliográfica acerca dos principais achados sobre a aplicação da quitosana em sementes, principalmente sua ação no processo de germinação destas. Para isto, foram realizadas buscas nas bases de dados Portal de Periódicos da Capes, Scielo e Google Acadêmico, onde foram selecionados 14 trabalhos que apresentavam o uso da quitosana em sementes de interesse comercial, alimentício e para reflorestamento. Como resultado, observou-se que o biopolímero em questão atuou como bioestimulante na produção vegetal, melhorando o crescimento e desenvolvimento de plantas, seja por meio de aplicações em sementes ou associado a utilização após sua germinação, assim como, melhorando consideravelmente a produtividade de diversas culturas. Diante disto, a quitosana possui um desempenho efetivo no campo agrônômico com ênfase na aplicação em sementes, sendo uma notável alternativa as atuais técnicas de uso de agroquímicos.

Palavras-chave: Germinação; Biopolímero; Bioestimulante.

Abstract

In recent years, studies in the agronomic area have intensified in the search for improvements to increase crop production, as well as lower environmental impact. Biopolymers then emerge as an alternative, presenting properties that attracted researchers and producers, especially chitosan, a natural aminopolysaccharide extracted from chitin, characterized as a renewable, low-cost, widely available biopolymer (insect, crustacean and exoskeletons). fungal cell wall), non-toxic, biodegradable and biocompatible. Therefore, this study sought to carry out a literature review on the main findings on the application of chitosan in seeds, especially its action in the germination process of these. For this, searches were carried out in the databases CAPES journal portal, Scielo and Google Scholar, where 14 papers were selected that presented the use of chitosan in seeds of commercial, food and reforestation interest. As a result, it was observed that the biopolymer in question acted as a biostimulant in plant production, improving the growth and development of plants, either through applications in seeds or associated with use after their germination, as well as considerably improving the productivity of several cultures. Therefore, chitosan has an effective performance in the agronomic field with emphasis on application in seeds, being a remarkable alternative to current techniques for using agrochemicals.

Keywords: Germination; Biopolymer; Biostimulant.

Resumen

En los últimos años se han intensificado los estudios en el área agronómica en la búsqueda de mejoras para incrementar la producción de cultivos, así como un menor impacto ambiental. Los biopolímeros emergen entonces como una alternativa, con propiedades que atrajeron a investigadores y productores, con énfasis en el quitosano, un aminopolisacárido natural extraído de la quitina, caracterizado como un biopolímero renovable, de bajo costo y ampliamente disponible (insectos, crustáceos y exoesqueletos).), no tóxico, biodegradable y biocompatible. Por ello, este estudio buscó realizar una revisión de la literatura sobre los principales hallazgos sobre la aplicación del

quitosano en semillas, especialmente su acción en el proceso de germinación de estas. Para ello, se realizaron búsquedas en las bases de datos Portal de Periódicos da CAPES, Scielo y Google Académico, donde se seleccionaron 14 trabajos que presentaban el uso de quitosano en semillas de interés comercial, alimentario y de reforestación. Como resultado, se observó que el biopolímero en cuestión actuó como bioestimulante en la producción vegetal, mejorando el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya sea a través de aplicaciones en semillas o asociado al uso después de su germinación, así como mejorando considerablemente la productividad de varias culturas. Por tanto, el quitosano tiene un desempeño efectivo en el campo agronómico con énfasis en la aplicación en semillas, siendo una alternativa destacable a las técnicas actuales de uso de agroquímicos.

Palabras clave: Germinación; Biopolímero; Bioestimulante.

1. Introdução

O crescente aumento populacional e o aumento da demanda agrícola mundial, acarretaram em mudanças nos sistemas de cultivos agrícolas, sendo necessário novas técnicas, uso de agroquímicos, rendimento máximo das culturas e consequentemente impactos drásticos ao ambiente, como assim discutem Berger et al. (2013). Contudo, novas alternativas têm sido investigadas e desenvolvidas pelo homem, como é o caso dos biopolímeros, que devido as suas propriedades de biodegradabilidade e biocompatibilidade se apresentam como alternativas eficazes, de acordo com Berger et al. (2011).

Dentre os diversos biopolímeros, destaca-se a quitosana, um mucopolissacarídeo linear de baixo custo, com características de atoxidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, adsorção e capacidade de desenvolver filmes e quelação de íons metálicos, podendo ser obtida a partir de quitina, principal componente dos exoesqueletos de insetos, crustáceos e parede celular de fungos, como detalham Azevedo et al. (2007). A quitosana apresenta características físico-químicas que a permite ser aplicada em várias áreas, como no tratamento de água residuais, na indústria de celulose e papel, indústria alimentícia e cosmética, produtos de higiene, medicina, biotecnologia e na agricultura, como explicam Bilal e Iqbal (2019) e Tovar et al. (2018).

Na agricultura, a quitosana, assim como, a quitina tem desempenhado diversas funções, como, a “proteção das plantas contra pragas e doenças antes e após a colheita, melhoria da ação de microrganismos antagonistas e controles biológicos, melhorar as interações benéficas entre plantas e microorganismos simbióticos; e regular o crescimento e desenvolvimento das plantas” (Ramírez et al., 2010, p.272). Mas, alguns estudos recentes têm destacado sua utilização benéfica no processo de germinação, permitindo seu uso em sementes promovendo um melhor comportamento fisiológico das plantas, como altura das plantas e a massa seca, como relatam Kiirika et al. (2013), além disso, “em cereais como o trigo, tem sido utilizado promovendo um aumento na produtividade das plantas” (Mesa et al., 2015, p.381).

Sabendo disto, o presente trabalho objetivou realizar uma revisão bibliográfica em base de dados acerca da aplicação da quitosana ou produtos derivados deste biopolímero em sementes, assim como, sua ação durante o processo de germinação destas sementes.

2. Metodologia

A pesquisa classifica-se de uma revisão de literatura sistêmica, baseada nas produções sobre as aplicações de quitosana na germinação de sementes, visando integrar as informações de um conjunto de estudos realizados sobre a presente temática (Sampaio & Mancini, 2007). Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009), visando “aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais” (Gerhardt & Silveira, 2009, p. 32), sendo utilizados materiais já publicados para compor a fundamentação teórica, por meio da avaliação de livros, periódicos, documentos, textos e material disponibilizado online (Fontelles et al., 2009). A sua natureza é básica, propondo gerar conhecimentos novos sem prever aplicações práticas, e como objetivo de pesquisa, se

enquadra na pesquisa exploratória, que visa “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito” (Gerhardt & Silveira, 2009, p.35).

Para a seleção dos documentos (Figura 1) foram definidos os critérios de inclusão, selecionando estudos publicados entre 2011 e 2021, em inglês, português ou espanhol, disponibilizados nas bases de dados Portal de Periódicos da Capes, Scielo e Google Acadêmico, com temática de germinação de sementes e tratamento com aplicação de quitosana. Para os critérios de exclusão foram definidos artigos duplicados (repetições) e artigos fora do tempo estipulado ou idioma estabelecido para busca. Os arquivos foram selecionados, e em seguida realizada a análise e leitura completa daqueles considerados conexos ao objetivo deste estudo. Logo após, os conteúdos foram avaliados e organizados de acordo com as discussões apresentadas nos resultados da pesquisa, sendo destacado de cada trabalho para o tópico 3.2 desta revisão, as espécies em estudo, as concentrações de quitosana, o tipo de aplicação e os principais resultados.

Figura 1: Fluxograma das etapas do levantamento bibliográfico.



Fonte: Autores.

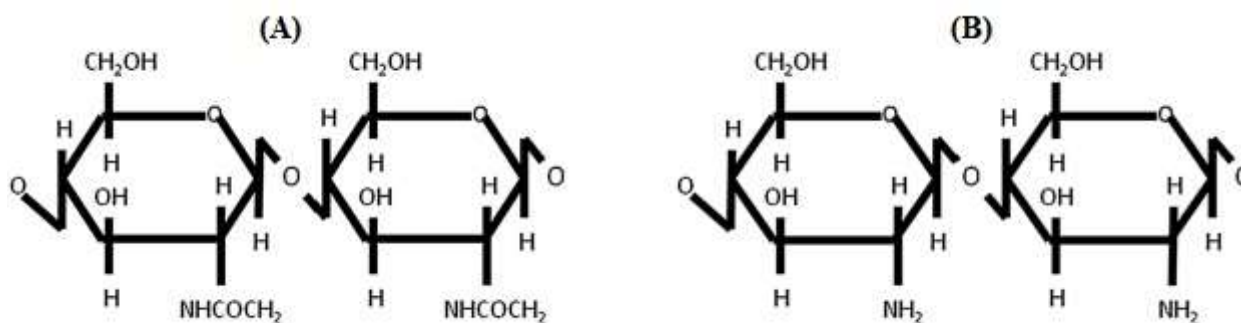
3. Resultados e Discussão

3.1 Quitosana

A quitina é o segundo polissacarídeo mais abundante da natureza, seguido pela celulose, com uma produção natural de 10^{10} – 10^{11} toneladas ao ano (Silvestre et al., 2021). Este biopolímero é encontrada comumente no “exoesqueleto de animais marinhos (anelídeos, moluscos, celenterados, lagosta, camarão, caranguejo e krill), artrópodes (aranha, escorpião, formigas e besouros) e microrganismos (algas verdes, e marrons, leveduras, parede celular de fungos e esporos)” (Rolim et al., 2018, p. 3). Sua descoberta se deu em 1811 pelo professor francês Henri Braconnot por meio de sua pesquisa com cogumelos (*Agaricus volvaceus*), sendo o termo “quitina” utilizado pela primeira vez em 1823 por Odier, que derivado do grego significa cobertura ou envelope (Baggio, 1988, Silvestre et al., 2021). Já em 1859 C. Rouget ao aquecer a quitina em uma solução muito concentrada de potássio obteve uma substância solúvel em ácidos, está em 1894 foi nomeada por Hoppe-Seiler com o termo “quitosana” (Baggio, 1988, Baouche et al., 2014).

A quitosana (Figura 2B) é um polímero linear não ramificado de β -1,4-d-glucosamina (Malerba & Cerana, 2018), obtido a partir do processo de desacetilação da quitina (Figura 2A), um co-polímero de N-acetil-d-glucosamina e d-glucosamina (Rolim et al., 2018). Sendo este processo realizado de duas formas, por ação enzimática (quitinases) e pela hidrólise alcalina, sendo a última a mais utilizada, como assim destacam Felipe, Rabello, Júnior e Santos (2017). O grau de desacetilação é geralmente definido como a razão glucosamina/N-acetil glucosamina, aumentando à medida que a quitina é convertida em quitosana, ou seja, quanto maior a porcentagem de N-acetil glucosamina sobre a de glucosamina o biopolímero é chamado de quitina, e na proporção oposta é chamado de quitosana (Hamed et al., 2016).

Figura 2: Estrutura química da quitina (A) e quitosana (B).



Fonte: Divya e Jisha (2018).

Quanto a suas propriedades, Crini et al. (2019) detalham que este biopolímero se destaca por ser de baixo custo, renovável, não tóxico, biocompatível, biodegradável, capacidade de uso como agente hidratante e material encapsulante, mucoadesão, na regeneração óssea, além de apresentar diversas bioatividades como: efeito analgésico, antimicrobiano (antibacteriano, antifúngico), antioxidante, antiinflamatório, antiácido, antiúlcera, anticoagulante, anti-hipertensivo, hipolipemiante, antidiabético, anticâncer, antitumoral, anti-HIV, bioadesividade, assim como, habilidades de cura, em que este polímero pode atuar na cicatrização de feridas. Além disso, quitosana é o único polímero catiônico solúvel em água comercialmente disponível devido às cargas positivas em seus grupos amino (Hamed et al., 2016, p.44). Tais características conferem a quitosana ampla versatilidade em diversas áreas, que foram listadas no Quadro 1, além de ter vital importância para os avanços na ciência, meio ambiente e economia (Azevedo et al., 2007).

Quadro 1: Aplicações da quitina e quitosana.

| | |
|--|---|
| Alimentação e nutrição | Conservação de alimentos, suplementos alimentícios, antioxidantes, prebióticos, clarificação de bebidas, agente emulsificante, agente estabilizante, fibra dietética, agente antiágarite e encapsulador de lipídeo. |
| Ciência dos materiais | Hidrocolóide, eletroquímicos, embalagens, fibras têxteis, membranas poliméricas, matrizes de imobilização e géis. |
| Ciências médica e farmacêuticas | Encapsulamento, uso periodontal, antitumoral, anticancerígeno, anticoagulante, regenerador de pele e osso, suturas e lentes de contato. |
| Microbiológico | Antibacteriano, fungicida e bactericida. |
| Imunológico | Modificação da resposta biológica, imunopotenciador e estimulante. |
| Agricultura | Mecanismo de defesa em plantas, estimulação do crescimento, recobrimento de sementes, fertilizantes e nutrientes do solo. |
| Tratamento de águas | Remoção de íons metálicos, redutor de odores, eliminação de polímeros sintéticos e fracionadores. |
| Cosméticos | Hidratante, tratamento de acne e suplemento em tratamentos capilares. |

Fonte: Adaptado de Zerpa et al. (2017).

Maia et al. (2000), relatam também seu uso como indutor dos mecanismos de defesa das plantas, visto que em seus estudos com videiras, obteve que a quitosana, além do efeito fungicida, tem o potencial de ativar enzimas e compostos fenólicos relacionadas com o mecanismo de defesa das plantas, podendo assim, inibir diretamente os fungos apresentados em sua pesquisa in vitro (*P. viticola* e *E. ampelina*), como também reduzir a severidade das doenças em campo, “tornando-se uma substância promissora no controle de fitopatógenos, principalmente para sistema orgânico de cultivo. Assim, este polímero pode substituir a utilização de fungicidas sintéticos, diminuindo o impacto ambiental, sem causar danos à saúde humana” (Maia et al., 2000, p. 208).

Na agricultura, a semente é um insumo de grande relevância, pois ela pode ser o fator crucial para o sucesso ou fracasso do desenvolvimento da planta, pois nela estão contidas as potencialidades da planta a ser germinada, como abordam

Costa e Campos (1997). Berger et al. (2011) relatam que o setor agrícola de um país pode ser gravemente prejudicado por uma má fertilização ou por um mau desenvolvimento das plantas.

Sabendo disso, polímeros de origem natural, têm sido utilizados para promover um melhor desenvolvimento das plantas, como alternativas a fungicidas sintéticos e na prevenção da deterioração pós-colheita de vegetais, mas estudos recentes têm observado a sua utilização no processo de germinação, como relata Berger et al. (2011). Este processo é considerado como a retomada do crescimento do embrião, dependente de diversos fatores tanto internos como externos, sendo os últimos principalmente água, oxigênio e temperatura, como assim descritos por Raven et al. (2014).

A quitosana, merece destaque no setor agrícola, devido a suas funções reguladoras de genes que produzem enzimas responsáveis pela resistência da planta a doenças e insetos, além de atuar como fonte de carbono para os microorganismos do solo facilitando a absorção de nutrientes pela planta, como assim discutem Berger et al. (2011).

Já no processo de germinação e desenvolvimento das plantas *in vitro* e em campo, a quitosana tem sido estudada como bioestimulante, obtendo bons resultados, o que “pode ser explicado pelo fato deste biopolímero favorecer a produção de enzimas relacionadas ao crescimento e desenvolvimento de plantas como a celulose, que promove maior altura das plantas” (Mesa et al., 2015, p. 384).

3.2 Aplicação da quitosana em sementes

As sementes segundo a botânica são definidas como “unidades dispersoras especializadas exclusivas da divisão Spermatophyta, ou plantas com sementes que [...] desenvolvem-se a partir dos rudimentos seminais (óvulos), que contêm o gametófito feminino” (Taiz et al., 2017). Perante a Legislação Brasileira é apresentada como o material de reprodução vegetal de qualquer gênero, espécie ou cultivar, proveniente de reprodução sexuada ou assexuada, que tenha finalidade específica de sementeira, como é descrita na Lei nº 10711 (2003).

Para que esta estrutura dê origem a novas plantas, ela passa pelo processo de germinação, que corresponde a retomada do crescimento do embrião em resposta a diversos fatores ambientais, seja ao tempo, umidade, frio, calor ou luz (Raven et al., 2014, Taiz et al., 2017). Na agricultura a germinação é de fundamental importância, pois o desenrolar de seu processo sendo bem-sucedido ou não, é essencial para a produção agrícola e para o ciclo de vida da planta, além de poder impactar o setor agrícola de todo um país (Berger et al., 2011, Waterworth et al., 2019).

Devido às exigências do mercado em aumentar a produção agrícola de diversas culturas, diante do aumento exponencial da população, as plantações e o meio ambiente vêm sofrendo com o uso massivo de técnicas e produtos químicos e tóxicos visando alcançar uma maior produção das culturas (Berger et al., 2011; Malerba & Cerana, 2018). Porém, nos últimos anos com a questão das mudanças climáticas, consumidores mais exigentes e atentos a produtos de qualidade elevada e seguros, além, do alto preço de agroquímicos, e os problemas vinculados a este (poluição do solo, das próprias lavouras, da biodiversidade e dos seres humanos e animais), pesquisadores vêm se dedicando ao estudo de novas alternativas para estes produtos químicos e visando uma maior e melhor rendimento das culturas de menor impacto ambiental (Berger et al., 2011; Ramírez et al., 2010; Malerba & Cerana, 2018).

Quando o foco é germinação de sementes, a quitosana tem sido estudada tanto *in vitro* como em campo atuando como bioestimulante e quando usada como revestimento das sementes proporciona proteção as plantas, apresenta resultados positivos na taxa de germinação, assim como, em parâmetros de crescimento, gerando maior rendimento as culturas (Mesa et al., 2015).

Além disso, a quitosana demonstrou ter efeitos na agricultura como fonte de carbono para microorganismos do solo, acelera a transformação de matéria orgânica em inorgânica e permite que o sistema radicular da planta absorva mais nutrientes do solo. Também regula o sistema imunológico da planta, protege as plantas contra doenças antes e depois

da colheita. Ele influencia o aumento de microrganismos antagônicos e controles biológicos, bem como o benefício simbiótico da interação planta-microrganismo e a regulação do crescimento e desenvolvimento (Pedroso et al., 2017, p. 158).

Tais resultados podem ser observados nos estudos citados no Quadro 2, apontando a espécie da semente estudada, a concentração da quitosana mais eficaz, os principais resultados obtidos por meio do uso deste biopolímero e os autores dos trabalhos.

Quadro 2: Estudos que utilizaram a quitosana na germinação de sementes.

| Sementes estudadas | Concentração de quitosana com melhor desempenho | Tipo de aplicação da quitosana | In vitro ou em campo | Principais resultados | Autores |
|--|---|---|--|---|---|
| Acácia negra (<i>Acacia mearnsii</i>) | Entre 0,6% e 0,9% | Embebição das sementes | Em campo (estufa no viveiro florestal) | Favoreceu a emergência e o desenvolvimento inicial das plântulas; proporcionou maior altura de plântulas de (2,28 cm) com o uso de 0,88% e do comprimento da radícula (11,60 cm) com o uso de 0,63% de quitosana nas sementes. Diminuiu a incidência de tombamento das plântulas. Houve aumento do teor de proteínas dos tecidos vegetais e da capacidade de ativação da enzima FAL de forma proporcional ao aumento da concentração. | Freddo, Mazaro, Brun & Wagner Júnior (2012) |
| Ajowa (<i>Carum copticum</i>) | 0,2% e 0,5% | Embebição das sementes | In vitro (Câmara de crescimento) | O tratamento com 0,2% de quitosana afetou significativamente a porcentagem de germinação, 80% comparado a 52% da testemunha. A taxa de germinação, o índice de vigor das plântulas, o comprimento e o peso do hipocótilo aumentaram de acordo com o aumento da concentração. Comprimento e peso seco da radícula foram significativamente melhores com 0,5% de quitosana. | Mahdavi & Rahimi (2013) |
| Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) variedade 'J-104' | 2000mg.L ⁻¹ | Embebição das sementes | In vitro | O tratamento de 1000mg.L ⁻¹ promoveu maior velocidade de germinação, já o de 2000mg.L ⁻¹ proporcionou maior altura e massa fresca foliar das plântulas. Os autores recomendam para esta cultura o tratamento com 2000mg.L ⁻¹ . | Mesa et al. (2015) |
| Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) variedade 'J-104' | Não houve diferença estatística entre os tratamentos. | Embebição das sementes e aplicação foliar de QuitoMax® | Em campo (durante 2013, 2014 e 2015) | O tratamento das sementes com quitosana estimula a altura da planta e junto com a aplicação foliar (25 ddg e 60 ddg) permitiu um maior rendimento do cultivo. | Pedroso et al. (2019) |
| Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) variedade 'sd20a' | 2,5% (2 cc/Kg de sementes) - Única concentração | Gel de quitosana | Em campo | Proporcionou uma porcentagem de germinação de 87%. A quitosana foi um potencial inibidor de fungos fitopatogênicos e estimulou os mecanismos de defesa das plantas. Promoveu maior altura, coloração verde mais intensa, melhor enraizamento e produção de área foliar da planta. A quitosana favoreceu o aumento da produção, referente a 16,21%. | Zerpa et al. (2017) |
| Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) cultivar INCA LP 5 | Sementes tratadas com 1000 mg L ⁻¹ 15 min + pulverizações foliares na dose de 360 mg L ⁻¹ em duas vezes aos 25 e 60 ddg (dias depois da | Recobrimento de sementes e aplicação foliar com QuitoMax® | Em campo | O tratamento favoreceu uma maior quantidade de panículas por m ² , maior quantidade de grãos inteiros, peso de 1000 grãos e rendimento, além de maior produtividade (5,2 t ha ⁻¹). | Pedroso et al. (2017) |

| | | | | | |
|--|--|---|--------------------------------|---|--|
| | germinação). | | | | |
| Isabgol (<i>Plantago ovata</i> Forsk) | 0,2% | Embebição das sementes | <i>In vitro</i> | O tratamento obteve melhor desempenho estatisticamente em todos os testes: porcentagem de germinação (63,33%), taxa de germinação, comprimento de parte aérea (5,45cm) e raiz (3,65cm), e peso seco de parte aérea (0,016g) e raiz (0,0030g). | Mahdavi (2013) |
| Melão (<i>Cucumis melo</i> L.) | 0,75% e 1% | Camada da solução com pincel | <i>In vitro</i> e em campo | Os tratamentos proporcionaram melhor porcentagem de germinação <i>in vitro</i> e em solo. Obteve eficiente uso como bioestimulante substituindo o uso de pré-tratamentos químicos e mecânicos. | Tovar et al. (2018) |
| Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) | 1,50 g L ⁻¹ por 4 horas de QuitoMax® | Embebição das sementes em QuitoMax® | <i>In vitro</i> | O tratamento apresentou efeito estimulador na aceleração da germinação, além de obter 99% de germinação. O uso do QuitoMax propiciou aumento significativo da altura das plântulas (15,50 cm) e da massa fresca (5,61g). | Masjuan, Olivera, Gómez & Sánchez (2018) |
| Soja (<i>Glycine max</i> [L.] Merrill) cultivar IS-27 | Não houve diferença estatística nos testes de germinação, mas a concentração de 500 mg L ⁻¹ nas duas massas moleculares testadas [124 kDa (Q1) e 25,3 kDa (Q2)] se destacou no desenvolvimento inicial das mudas. | Embebição das sementes. | <i>In vitro</i> | A porcentagem de germinação apresentou valores superiores (82 e 87%) e diferentes das sementes embebidas em água (76,2%). Quitosana Q1: maior longitude do caule, massa seca da parte aérea e área foliar. Quitosana Q2: maior número de folhas, longitude e massa seca das raízes. | Menéndez, Rodríguez & Hernández (2020) |
| Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) variedade 'Corojo 2006' | Os autores recomendaram o tratamento: 1 g L ⁻¹ de QuitoMax® por 8 horas antes da semeadura e asperção 10 dias após a germinação | Embebição das sementes em QuitoMax® e aspersão das plântulas. | Em campo (viveiro) | O tratamento apenas nas sementes (1 g L ⁻¹) estatisticamente apresentou melhor resultado para altura das plântulas, assim como, no transplante este tratamento se mantém como o melhor nas variáveis de altura das plântulas, número de folhas, diâmetro do caule e comprimento das raízes, já para a massa fresca foi o tratamento de aplicação de 1 g L ⁻¹ de QuitoMax® antes da semeadura e asperção 10 dias após a germinação. | Gómez, Arteaga, Martínez, Lahera, & Rodríguez (2020) |
| Tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>) cultivar 'Mara' | 1,0 g L ⁻¹ de QuitoMax® | Embebição das sementes e aplicação foliar de QuitoMax® | Em campo (viveiro tradicional) | O tratamento favoreceu o aumento do crescimento, ao nível do canteiro, e quando combinada com pulverização foliar de 300 mg ha ⁻¹ , aumentou o rendimento da colheita em 55%. | Alfonso, Rodríguez, Padrón, Sosa, & Morales (2017) |
| Tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>) cultivares Pomodoro e Floradade | 1 e 2 g L ⁻¹ | Embebição das sementes | Bandejas de polietileno | Os cultivares quando comparados entre si, o Floredade obteve melhores resultados do comprimento do caule com os tratamentos 1 e 2 g L ⁻¹ e massa fresca da raiz com 2 g L ⁻¹ , já o Pomodoro se destacou com melhores resultados de diâmetro do com caule na aplicação de 1 g L ⁻¹ , assim como, o uso deste tratamento nos testes de massa fresca e seca do caule e folha. | Perez et al. (2019) |
| Tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>) variedades ESEN e L-43 | 1 g L ⁻¹ de QuitoMax® - Única concentração | Embebição das sementes | Em campo (canteiros) | Houve diferenças significativas entre o controle e as variedades tratadas, aonde foram apresentados melhores resultados em altura, espessura do caule e massa fresca nas mudas de variedade ESEN e nas variáveis: altura, número de folhas e espessura do caule da variedade L-43. | González et al. (2021) |

Fonte: Autores.

No Quadro 2, são destacas 14 pesquisas científicas relacionadas ao uso da quitosana no processo de germinação das sementes ou do bioproduto QuitoMax®, que apresenta a quitosana como o principal material de sua composição (Pedroso et al., 2019), onde foram apontadas diversas espécies de interesse alimentício, econômico, medicinal, farmacológico, alimentício de subsistência, ecológico para reflorestamento e paisagístico, apontando a variedade de setores agrícolas em que a quitosana pode atuar e favorecer diferentes mercados.

Vale destacar que na maioria das espécies citadas acima, o uso da quitosana além de promover um controle de fungos e melhorar o desenvolvimento das plantas e diversas outras funções, promove uma germinação mais eficiente nas plantas, proporcionando maiores valores de massas seca e fresca, comprimento de raiz e caule, como também, maiores rendimentos econômicos das culturas, porém, ainda são necessários mais estudos, principalmente em espécies de interesse comercial e para uso em reflorestamentos, como destaca Mahdavi (2013). Entretanto, Olsen, Toppe e Karunasagar (2014) relatam, que assim como a quitosana, a obtenção de bioativos a partir de resíduos ainda é uma realidade um pouco distante na maioria dos casos, pois, há falta de mercado, alto custo para a conversão do resíduo, e desafios relacionados ao fornecimento de documentação para a produção de um potencial produto.

4. Conclusão

As inúmeras propriedades da quitosana conferem a ela diversas possibilidades de uso, e quando se trata do ramo agrícola estudos de sua aplicação sobre as sementes por meio de embebição ou recobrimento com gel de quitosana, bem como, de produtos comerciais que a utilizam como principal componente, apresentaram ação favorável deste biopolímero sobre o desenvolvimento das plantas, seja como bioestimulantes ou melhorando consideravelmente o vigor e o crescimento das plântulas, além de refletir no melhor desempenho das culturas.

Desse modo, recomenda-se para trabalhos futuros mais estudos sobre o seu uso, buscando compreender de que outras formas este bioproduto atua no processo de germinação, no desenvolvimento das plântulas e das plantas, assim como, estimular a inovação e a criação de novos produtos à base de quitosana, visando ampliar sua aplicação em prol de uma produção agrícola sustentável e de qualidade. Além disso, se faz necessário atualizações anuais a cerca das novas pesquisas com a quitosana, visto que ela tem sido um promissor objeto de pesquisa.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

Referências

- Alfonso, E. T., Rodríguez, A. F., Padrón, J. R., Sosa, Y. C., & Morales, H. (2017). Resposta agrônômica da cultura do tomate ao bioproduto QuitoMax®. *Tropical Crops*, 38(1), 147-154. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100019&lng=es&tlng=es.
- Azevedo, V., Chaves, S. A., Bezerra, D. C., Fook, M. V. L., & Costa, A. C. F. M. (2007). Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. *Revista eletrônica de Materiais e processos*, 2(3), 27-34.
- Baggio, O. C. (1988). Estudos de reações de copolimerização de enxerto de acrilonitrila sobre quitina e derivados na presença de Ce 4+.
- Baouche, N. M., Elchinger, P.-H., de Baynast, H., Pierre, G., Delattre, C., & Michaud, P. (2014). Quitosana como adesivo. *European Polymer Journal*, 60, 198-212.
- Berger, L. R. R., Stamford, T. C. M., & Stamford, N. P. (2011). Perspectivas para o uso da quitosana na agricultura. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(4), 195-215. <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/AGO11/ramos.pdf>.
- Berger, L. R., Stamford, N. P., Santos, C. E. R. S., Freitas, A. D. S., Franco, L. O., & Stamford, T. C. M. (2013). Características da planta e do solo afetadas por biofertilizantes de rochas e matéria orgânica inoculada com bactérias diazotróficas e fungos produtores de quitosana. *Jornal de ciência do solo e nutrição de plantas*, 13 (3), 592-603.

- Bilal, M., & Iqbal, H. M. (2019). Biopolímeros derivados naturalmente: plataformas potenciais para imobilização de enzimas. *Jornal internacional de macromoléculas biológicas*, 130, 462-482.
- Costa, J. G., Campos, I. S. (1997). *Recomendações básicas para a produção de sementes de milho no nível da pequena propriedade rural*. Acre, Instrução técnica da Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC/1330/1/it04.pdf>
- Crini, N. M., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667-1692. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-019-00904-x>.
- Divya, K. e Jisha, MS (2018). Preparação e aplicações de nanopartículas de quitosana. *Cartas de química ambiental*, 16(1), 101-112.
- Felipe, L. O., Rabello, L. A., Júnior, E. N. O., & Santos, I. J. B. (2017). Quitosana: da Química Básica à Bioengenharia. *Química Nova na Escola*, 39(4).
- Fontelles, M. J., S., M. G., Farias, S. H., & Fontelles, R. G. S. (2009). Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. *Revista paraense de medicina*, 23(3), 1-8. https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C8_NONAME.pdf.
- Freddo, Á. R., Mazaro, S. M., Brun, E. J., & Wagner Júnior, A. (2012). Efeito da quitosana na emergência, desenvolvimento inicial e caracterização bioquímica de plântulas de *Acacia mearnsii*. *Revista Árvore*, 36(6), 1039-1046. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622012000600005&script=sci_arttext.
- Gerhardt, T. E. & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de Pesquisa*. Porto Alegre, PA: Editora da UFRGS. p. 120.
- Gómez, L. G. G., Arteaga, M. C. J., Martínez, I. P., Lahera, A. O., & Rodríguez, A. F. (2020). Aplicación de QuitoMax® en semillas y posturas de tabaco en semillero. *Agricultural Center*, 47(2), 16-21. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000200016&lng=es&tlng=es
- González, L. G., Martínez, I. P., Fabrè, T. B., Arteaga, M. C. J., Rodríguez, A. F., & García, T. R. (2021). Efecto del tratamiento de semillas con QuitoMax® en el rendimiento y calidad de plântulas de tomate variedades ESEN y L-43. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-6.
- Hamed, I., Ozogul, F. & Regenstein, J. (2016). Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitoooligosaccharides): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 40-50.
- Kiirika, LM, Stahl, F., & Wydra, K. (2013). Caracterização fenotípica e molecular da indução de resistência por aplicação única e combinada de quitosana e sílicio em tomate contra *Ralstonia solanacearum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 81, 1-12.
- Lei no 10711, de 5 de agosto de 2003. (2003). Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudanças e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.711.htm.
- Mahdavi, B. (2013). Seed germination and growth responses of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) to chitosan and salinity. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(10), 1084. https://www.researchgate.net/profile/Batool-Mahdavi/publication/288559619_Seed_germination_and_growth_responses_of_Isabgol_Plantago_ovata_Forsk_to_chitosan_and_salinity_Intl/links/5add505e458515c60f5f3126/Seed-germination-and-growth-responses-of-Isabgol-Plantago-ovata-Forsk-to-chitosan-and-salinity-Intl.pdf
- Mahdavi, B., & Rahimi, A. (2013). Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. *EurAsian Journal of BioSciences*, 7(1), 69-76. <http://www.ejobios.org/article/seed-priming-with-chitosan-improves-the-germination-and-growth-performance-of-ajowan-carum-copticum>
- Maia, L. H., Porte, A., & Souza, V. F. (2000). Filmes comestíveis: aspectos gerais, propriedades de barreira a umidade e oxigênio. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 18(1). <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/download/1129/930>.
- Malerba, M., & Cerana, R. (2018). Recent Advances of Chitosan Applications in Plants. *Polymers*, 10(2), 118.
- Masjuan, Y. G., Tornés Olivera, N., González Gómez, G., & Sánchez, R. (2018). Efecto de diferentes dosis de QuitoMax en el crecimiento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus* L.). *Agrisost*, 24(3), 178-183. <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/agrisost/article/view/2572>
- Menéndez, D. C., Rodríguez, A. B. F., & Hernández, L. T. (2020). Efecto de la masa molecular de quitosanos en la germinación y el crecimiento in vitro de soya. *Cultivos Tropicales*, 41(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362020000100005&lng=es&tlng=es.
- Mesa, S. P., Pedroso, A. T. R., & Arrebato, M. R. (2015). Efecto de diferentes concentraciones de quitosana sobre la germinación y crecimiento de plântulas de arroz (*Oryza sativa*, L.). *Avances*, 17(4), 380-386. <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/136>.
- Olsen, R. L., Toppe, J., & Karunasagar, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends in Food Science & Technology*, 36(2), 144-151. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224414000235?casa_token=S7rXVdK_ys4AAAAA:y6TUFWhPcXLA8EKhuU83s_qwA5Z0tqO64RupHxLPmoixTy65TGPONm4xgMt_Q5wd_JYvcO_Ut9w.
- Pedroso, A. T. R., Arrebato, M. Á. R., Rodríguez, A. F., Baños, S. B., Zapata, E. V. & Fernández, Y. V. (2017). Efecto del Quitomax® en el rendimiento y sus componentes del cultivar de arroz (*Oryza sativa* L.) var. INCA LP 5. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 156-159. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000400002&lng=es&tlng=es.
- Pedroso, A. T. R., Pérez, J. J. R., Martínez, Y. M., Arrebato, M. A. R., Rodríguez, A. F., Fernández, Y. V., & Montiel, L. G. H. (2019). Efecto del Quitomax® en el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*, L.) var. J-104. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 36(2), 98-110. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7496802>.
- Pérez, J. J. P., Acosta, E. A. E., Arrebato, M. Á. R., Pedroso, A. T. R., & Herrada, M. R. (2019). Respuesta de plântulas de cultivares de tomate a la aplicación de quitosano. *Centro Agrícola*, 46(4), 21-29. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000400021&lng=es&tlng=es.

- Ramírez, M. Á., Rodríguez, A. T., Alfonso, L., & Peniche, C. (2010). Quitina e seus derivados como biopolímeros com potenciais aplicações agrícolas. *Biotecnología Aplicada*, 27 (4), 270-276. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-28522010000400002&lng=es&tlng=en.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2014). *Biología Vegetal*. Guanabara Koogan.
- Rolim, A. E. H., Carvalho, F. A., Costa, R. C. C., & Rosa, F. P. (2018). Arcabouços de quitosana-propriedades físico-químicas e biológicas para o reparo ósseo. *Rev. Virtual. Quim*, 10. https://www.researchgate.net/profile/Ana_Emilia_Rolim/publication/325160842_Chitosan_Scaffolds_-_Physico_-.
- Sampaio, R.F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11, 83-89. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>.
- Silvestre, J., Delattre, C., Michaud, P. & Baynast, H (2021). *Polímeros*. Otimização das Propriedades da Quitosana com o Objetivo de Desenvolvimento de Adesivo Resistente à Água. *Polímeros*, 13.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*.: Artmed Editora. p. 888.
- Tovar, G. I., Gómez, M., Obediente, V., Rodríguez, A., Soto, L., & Chirinos, A. (2018). Extracción biotecnológica de quitina del desecho de camarón para la producción de quitosano como bioestimulante en semillas de melón. *Agronomía Tropical*, 68(1-2), 71-86.
- Waterworth, W. M., Bray, C. M., & West, C. E. (2019). Seeds and the art of genome maintenance. *Frontiers in plant science*, 10, 706. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00706/full>.
- Zerpa, J. A. M., Rincón, M. C., Rincón, D., & Colina, J. A. V. (2017). Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). *Revista de investigación agraria y ambiental*, 8(2), 151-165. <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2041>.