

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 30/08/2026.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**USO DE ADITIVOS FUNCIONAIS PARA CONTROLE DE
FRANCISELOSE EM TILÁPIA *Oreochromis niloticus* (L.)**

Elielma Lima de Sousa

Bióloga

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**USO DE ADITIVOS FUNCIONAIS PARA CONTROLE DE
FRANCISELOSE EM TILÁPIA *Oreochromis niloticus* (L.)**

Discente: Elielma Lima de Sousa

Orientadora: Fabiana Pilarski

Co-orientador: Giovani Sampaio Gonçalves

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Doutora em Microbiologia Agropecuária.

2024

S725u Sousa, Elielma Lima de
Uso de aditivos funcionais para controle de franciselose em
tilápia *Oreochromis niloticus* (L.) / Elielma Lima de Sousa. --
Jaboticabal, 2024
80 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Fabiana Pilarski
Coorientador: Giovani Sampaio Gonçalves

1. Fitoativos. 2. Imunomoduladores. 3. Planta. 4. Saúde.
5. Suplementação dietética. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: USO DE ADITIVOS FUNCIONAIS PARA CONTROLE DE FRANCISELOSE EM
TILÁPIA *Oreochromis niloticus* (L.)

AUTORA: ELIELMA LIMA DE SOUSA

ORIENTADORA: FABIANA PILARSKI

COORDENADOR: GIOVANI SAMPAIO GONÇALVES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Microbiologia
Agropecuária, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. FABIANA PILARSKI (Participação Virtual)
Centro de Aquicultura da UNESP / CAUNESP

Documento assinado digitalmente
FABIANA PILARSKI
Data: 07/10/2024 10:40:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Pós-Doutorando NYCOLAS LEVY PEREIRA (Participação Virtual)
FZEA USP / Pirassununga/SP

Documento assinado digitalmente
NYCOLAS LEVY PEREIRA
Data: 07/10/2024 15:11:00-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. MARGARIDA MARIA BARROS (Participação Virtual)
Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal / FMVZ UNESP Botucatu

Documento assinado digitalmente
MARGARIDA MARIA BARROS
Data: 04/10/2024 11:04:07-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. ADEMIR CALVO FERNANDES JÚNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal / FMVZ UNESP Botucatu

Documento assinado digitalmente
ADEMIR CALVO FERNANDES JÚNIOR
Data: 04/10/2024 07:40:14-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. MARITA VEDOVELLI CARDOZO (Participação Virtual)
Departamento de Patologia, Reprodução e Saúde Única / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
MARITA VEDOVELLI CARDOZO
Data: 04/10/2024 10:14:44-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jaboticabal, 30 de agosto de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Elielma Lima de Sousa – nascida em São Luis, Estado do Maranhão. Ingressou no Curso de Ciências Biológicas (Licenciatura e Bacharelado) em 2011 na Universidade Estadual do Maranhão– Câmpus Paulo VI, obtendo o título de bióloga em 2017. Possui Graduação com período sanduiche de 1 ano e 4 meses (2013-2014) na Universidade de Alberta, Canadá. Como estudante de graduação realizou intercambio de idioma na Argentina financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Maranhão (FAPEMA). A vida acadêmica científica como pesquisador teve início no segundo ano de graduação (2012) quando executou o primeiro trabalho de Iniciação científica (2012-2013), onde pesquisou “Biomarcadores comportamentais associados aos aspectos reprodutivos de *Colossoma macropomum* da APA do Maracanã, São Luís-MA”. Após este trabalho tornou-se bolsista de Incitação científica por mais dois anos (2015-2017) atuando em pesquisas com ensaios ecotoxicológicos para avaliação da qualidade ambiental. Os trabalhos de pesquisa desenvolvidos resultaram em artigos e resumos apresentados e publicados em anais de eventos científicos locais e internacionais. Participou como membro da comissão organizadora de eventos científicos. Realizou três estágios extracurriculares. O primeiro deles foi realizado no Laboratório de Microbiologia de Alimentos e Água da UEMA, desenvolvendo atividades de investigação sobre qualidade microbiológica da água e alimentos. Posteriormente, durante o período sanduiche em Universidade Canadense, estagiou no Laboratório do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade de Alberta, nesse trabalhou com pesquisas na área de toxicologia ambiental. cursou mestrado de 2018 a 2020 no programa de Pós-graduação em Microbiologia Agropecuária na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCAV – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (Câmpus Jaboticabal). Ingressou no curso de doutorado em agosto de 2020, no programa de Pós-graduação em Microbiologia Agropecuária na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCAV – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (Câmpus Jaboticabal).

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus pela minha existência e pelas experiências vividas.

À minha família, especialmente aos meus amados pais Maria Nivia e Pedro, minha irmã e o Diego, pelo apoio, amor e confiança.

Agradeço a Professora. Dra. Fabiana Pilarski pela oportunidade de fazer parte de seu grupo de pesquisa, por ter acreditado e confiado no meu trabalho. Obrigada pela orientação e por fazer parte da construção de minha formação profissional.

Agradeço ao Dr. Giovani Gonçalves pela co-orientação, suporte e disponibilidade de tempo sempre apresentada de muito bom grado em todos os momentos que necessitei.

Aos professores membros da banca examinadora pelo seu tempo e contribuição.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia e Parasitologia de Organismos Aquáticos (LaPOA) por toda ajuda, pelo apoio e suporte técnico.

Ao Instituto de Pesca de São José do Rio Preto, em especial ao Miguel por todo apoio e suporte no desenvolvimento dos experimentos.

A Prevet – Sanidade Aquícola, em especial a Andressa e o Breno que ajudaram tornar esse trabalho ser possível.

Ao Programa de Pós-graduação em Microbiologia Agropecuária e a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/Unesp.

À PHIBRO Animal Health Corporation® pelo apoio e condução desta pesquisa.

À (CAPES) pela bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Aos funcionários do Centro de Aquicultura da Unesp (CAUNESP). E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Obrigada a todos!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iiv
ABSTRACT	iv
CAPITULO 1 – Considerações gerais	6
1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1 Aquicultura Mundial	7
2.2 Aquicultura brasileira: Crescimento x Desafios	8
2.3 Sistema imunológico dos peixes	10
2.4 Bacterioses na Produção de Tilápia.....	13
2.5 Franciselose em tilápia do Nilo.....	15
2.6 Uso de antimicrobianos no Controle de Bacterioses	16
2.7 Aditivos.....	19
REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO 2 – Plant derived feed additive improves immune response and resistance to <i>Francisella orientalis</i> in Nile tilapia	34
Abstract	34
1.INTRODUCTION.....	36
2.MATERIAL AND METHODS	37
2,1 Animals, additives, and bacterial strain	37
2.2 Growth condions of <i>F. orientalis</i>	38
2.3 Diet preparation	38
2.4 Experimental design	39
2.5 Biochemical and immunological analysis	40
2.6 Bacterial challenge	41

2.7 Histopathological assessment	41
2.8 Bacterial re-isolation	42
2.9 Statistical analysis	42
3.RESULTS.....	42
3.1 Biochemical and Immunological analysis	42
3.2 Survival after <i>F. orientalis</i> infection.....	44
3.3 Histopathological findings.....	46
3.4 Bacterial recovery of <i>F. orientalis</i> in surviving fish.....	47
4. DISCUSSION	47
5. CONCLUSIONS	54
REFERENCES.....	54
CAPITULO 3 - Efeitos da suplementação dietética com <i>Y. schidigera</i> e <i>Q. saponaria</i> no desempenho produtivo e saúde de tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	59
Resumo	59
1. INTRODUÇÃO	59
2. MATERIAL E MÉTODOS	61
2.1 Aquisição dos Peixes	61
2.2. Condições experimentais	61
2.3 Dietas e Delineamento Experimental	62
2.4 Desempenho produtivo	63
2.5 Análise hematológica, bioquímica e imunológica	64
2.6 Análise histológica.....	65
2.7 Análise estatística.....	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
3.1 Desempenho produtivo	66
3.2 Análise hematológica, bioquímica e imunológica	66

3.3 Alterações histológicas.....	66
4. DISCUSSÃO:	70
REFERÊNCIAS:.....	75

USO DE ADITIVOS FUNCIONAIS PARA CONTROLE DE FRANCISELOSE EM TILÁPIA *Oreochromis niloticus* (L.)

RESUMO - A busca pelo controle e prevenção de franciselose em tilápia é uma prática importante para uma produção economicamente viável. Os aditivos funcionais têm sido cada vez mais explorados na aquicultura como alternativas mais seguras e sustentáveis para promover a saúde dos peixes e aumentar sua resistência a doenças. Fitoativos como imunomoduladores são frequentemente utilizados para manter a saúde dos peixes e prevenir doenças bacterianas. Sendo assim, uma alternativa que pode garantir a saúde dos peixes, a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção aquícola. O objetivo nesta pesquisa foi avaliar os efeitos da suplementação alimentar com aditivos na resistência da tilápia do nilo à franciselose. Diferentes doses de yucca e quillaja combinadas (2g/kg e 1g/kg), extrato de quillaja (0,5g/kg) e um produto à base de levedura (3g/kg) foram examinadas como aditivos alimentares quanto à sua influência na saúde e na resistência de tilápia a infecção causada por *francisella orientalis*. O estudo consistiu em experimentos de 30, 60 e 90 dias de suplementação dietética onde as tilápias foram alimentadas com uma dieta basal suplementada com aditivos. Após sessenta dias de alimentação suplementada, os aditivos influenciaram a concentração de proteína total e globulina. As taxas de sobrevivência foram significativamente maiores que as do controle no grupo alimentado com extrato de quillaja. Consequentemente, a sobrevivência em resposta à infecção foi marcadamente maior nos peixes que receberam aditivos em comparação com o grupo de controle. O uso de saponinas por mais 60 dias pode gerar danos a atividade respiratória dos leucócitos. Estas descobertas implicam que os aditivos funcionais têm o potencial de melhorar o sistema imunológico e melhorar a sobrevivência contra a infecção por franciselose, particularmente na suplementação dietética por 60 dias.

Palavras-chave: Fitoativos, imunomoduladores, planta, saúde, sobrevivência, suplementação dietética

USE OF FUNCTIONAL ADDITIVES TO CONTROL FRANCISELLOSIS IN TILAPIA *Oreochromis niloticus* (L.)

ABSTRACT - The quest for controlling and preventing francisellosis in tilapia is an important practice for economically viable production. Nutritional additives have increasingly been explored in aquaculture as safer and more sustainable alternatives to promote fish health and enhance their resistance to diseases. Phytoactives such as immunomodulators are often used to maintain fish health and prevent bacterial diseases. It is an alternative that can ensure fish health, food safety, and aquaculture production sustainability. The aim of this research was to evaluate the effects of dietary supplementation with additives on Nile tilapia resistance to francisellosis. Different doses of saponin (2g/Kg and 1g/Kg), Quillaja extract (0.5 g/Kg), and a yeast-based product (3kg/ton) were examined as feed additives regarding their influence on the survival of tilapia challenged with *Francisella orientalis* (Fo). The study consisted of two experiments where tilapia were fed a basal diet mixed with feed additives; the first lasting for 60 days and the second extended to 90 days of dietary supplementation. After sixty days of supplemented feeding, the additives influenced the concentration of total protein, globulin, and the innate immune system response. Survival rates were significantly higher than those of the control in the group fed with Quillaja extract. Consequently, survival in response to infection was markedly higher in fish receiving additives compared to the control group. The use of saponins for long time can cause damage to the respiratory activity of leukocytes. These findings imply that food additives have the potential to enhance the immune system and improve survival against francisellosis infection, particularly in 60-day dietary supplementation.

KeyWords: Dietary supplementation, health, phytoactives, plant, survival



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado "**Inclusão de aditivos na alimentação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): efeitos no desempenho, parâmetros hematológicos, bioquímicos e imunológicos e, sobrevivência após desafio bacteriano com *Francisella orientalis***", protocolo n.º 003928/23, sob a responsabilidade da Profa. Dra. FABIANA PILARSKI, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP.

Vigência do Projeto	27/07/2023 a 27/10/2023
Espécie / Linhagem	Tilápia, <i>Oreochromis niloticus</i>
Nº de animais	1010
Peso / Idade	15 g
Sexo	Macho
Origem	Piscicultura comercial

Jaboticabal, 14 de junho de 2023.

Profa. Dra. Paola Castro Moraes

Vice-coordenadora em exercício – CEUA FCAV

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal - SP - Brasil
Tel. 16 3209-7100 - www.fcav.unesp.br

Capítulo 1 – Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma das espécies mais proeminentes na aquicultura, sendo cultivada em diversas regiões do mundo devido à sua adaptabilidade, crescimento rápido e carne de alta qualidade (Munguti et al., 2022). No entanto, a aquicultura enfrenta desafios sanitários que prejudicam a produtividade desses peixes.

A franciselose, causada pela bactéria *Francisella*, é uma doença que afeta diversas espécies de peixes, incluindo a tilápia do Nilo. A disseminação da franciselose tem gerado crescente preocupação, uma vez que pode levar a sérios impactos econômicos nas operações aquícolas (Soto et al., 2009; Leal et al., 2014).

O controle de doenças na aquicultura desempenha um papel crucial na manutenção da saúde e na sustentabilidade dos sistemas aquícolas. As infecções bacterianas representam uma ameaça significativa para os peixes cultivados (Teixeira-Alves et al., 2020; Ferreira et al., 2021; Bouwmeester et al., 2022). A importância desse controle consiste não apenas na proteção da saúde dos peixes, mas também na preservação do equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos. As bacterioses podem se espalhar rapidamente em ambientes de cultivo, afetando negativamente a qualidade da água, a eficiência do crescimento dos peixes e rentabilidade da produção aquícola (Chiew et al., 2019; Mzula et al., 2021).

A prevenção e o controle das bacterioses na aquicultura contribuem para a minimização do uso de antibióticos, uma prática que pode levar ao desenvolvimento de resistência bacteriana. A resistência bacteriana e produção de resíduos representam uma ameaça global à saúde pública e ambiental, destacando a importância de estratégias sustentáveis de controle de doenças na aquicultura (Assane et al., 2019; Assane et al., 2022).

Técnicas de controle de bacterioses na aquicultura incluem medidas de biossegurança, práticas de manejo adequadas, uso responsável de agentes antimicrobianos e implementação de estratégias de vacinação (Freitas et al., 2020;

Scarfe et al., 2020. Além disso, a promoção da saúde dos peixes através do uso de aditivos pode fortalecer a resistência natural dos peixes contra patógenos bacterianos (Fazlolahzadeh et al., 2011; Harikrishnan et al., 2011).

Portanto, é essencial compreender e desenvolver estratégias eficazes para controlar a franciselose, a fim de garantir a sustentabilidade da produção de tilápia. O uso de aditivos alimentares pode ajudar a garantir a produção de peixes saudáveis, minimizando riscos na cadeia produtiva. Nesse contexto, o objetivo nesta pesquisa foi avaliar os efeitos da inclusão de aditivos na alimentação de tilápia do Nilo para o controle da franciselose.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de estudos - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS:

Abdel-Tawwab M, Mounes HA, Shady SH, Ahmed KM (2021) Effects of *Yucca*, *Yucca schidigera*, extract and/or yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, as water additives on growth, biochemical, and antioxidants/oxidant biomarkers of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture** 533: 736122.

Álvarez F, Illera JC, Redondo LM (2012) Effect of dietary *Yucca schidigera* supplementation on productive performance and egg quality of laying hens. **Animal Feed Science and Technology** 177: 181-186.

Amillano-Cisneros JM et al. (2023) Prebiotics in global and Mexican fish aquaculture: A review. **Animals** 13: 3607.

Amoah YT, Reddy AVB, Lee S, Bae J, Won S, Seong M, Bai SC (2017) Evaluation of different dietary additives based on growth performance, innate immunity and disease resistance in juvenile Amur catfish, *Silurus asotus*. **International Aquatic Research** 9: 351–360.

Angeles IJ, Gallego LM, Navarro MAM, Chien YH (2017) Dietary effects of *Quillaja saponaria* and *Yucca schidigera* extract on rearing performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. and its antioxidant capacity and metabolic response following hypoxic stress. **International Journal of Agricultural Technology** 13: 2249–2266.

Baruah K, Pal AK (2020) *Yucca schidigera* extract in aquafeed: A promising natural feed additive for sustainable aquaculture. **Aquaculture** 528: 735567.

Bernet D, Schmid H, Meier W, Burkhardt-Holm P, Wahl T (1999) Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases** 25-34.

Borges SB, Geyer CK, Zuanon JÁ (2010) Effects of *Quillaja saponaria* saponins on the respiratory burst activity of leukocytes in fish. **Journal of Fish Biology** 76: 788-800.

Calderón K, Zúñiga-Hansen ME, Almara S et al. (2021) The utilization of *Yucca schidigera* extract as a feed additive in aquaculture: A review. **Aquaculture Reports** 21: 100910.

Cheeke PR (1995) Endogenous toxins and mycotoxins in forage grasses and their effects on livestock. **Journal of Animal Science** 73: 909-918.

Chen W, Ai QH, Mai KS, Xu W, Liufu ZG, Zhang WB, Cai YH (2011) Effects of dietary soybean saponins on feed intake, growth performance, digestibility and intestinal structure in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). **Aquaculture** 318: 95–100.

Citarasu, T. Herbal biomedicines: a new opportunity for aquaculture industry. **Aquaculture International**, v. 18, p. 403–414, 2010.

Coutteau P, Van Halteren A, Ceulemans S (2011) Botanical extracts improve productivity of shrimp, *Pangasius*. **Global Aquaculture Advocate** 2011: 90-92.

Dai Z et al. (2023) Comparison of the effects of *Yucca* saponin, *Yucca schidigera*, and *Quillaja saponaria* on growth performance, immunity, antioxidant capability, and intestinal flora in broilers. **Animals** 13: 1447.

Dawood MAO et al. (2020) Interaction effects of dietary supplements of *Aspergillus oryzae* extract and β -glucan on growth, immune response, and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus iniae*. **Aquaculture** 519: 734917.

Dawood MAO et al. (2021) The regulatory roles of *Yucca* extract on the growth rate, hepato-renal function, histopathological alterations, and immune-related genes in common carp exposed to acute ammonia stress. **Aquaculture** 534: 736287.

De Mesquita EDFM, Andrade FA (2021) Probiotics and Prebiotics in Fish Aquaculture. **Probiotics and prebiotics in foods** 263.

Dutta HM (1996) A composite approach for evaluation of the effects of pesticides on fish. In: MUNSHI JSD, DUTTA HM (Eds.). **Fish Morphology**. Science Publishers Inc., 1996.

ElbialY ZI et al. (2021) Exploring the multimodal role of *Yucca schidigera* extract in protection against chronic ammonia exposure targeting: Growth, metabolic, stress and inflammatory responses in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Animals** 11, : 2072.

Elkaradawy A, Abdel-Rahim MM, Mohamed RA (2022) Quillaja saponaria and/or linseed oil improved growth performance, water quality, welfare profile and immune-oxidative status of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings. **Aquaculture Research** 53: 576-589.

El-Keredy MSA, Naena NAA (2020) *Yucca* plant as treatment for *Pseudomonas aeruginosa* infection in Nile tilapia farms with emphasis on its effect on growth performance. **Alexandria Journal of Veterinary Sciences** 66: 64.

Ellis AE (1990) Lysozyme assays. In: Stolen JS, Fletcher TC, Anderson DP, Robertson BS, Van Muiswinkel WB (Ed.). **Techniques in Fish Immunology**. [S.l.]: SOS Publications, p. 101-103. (Fish Immunology Technical Communications, 1).

Fayed WM et al. (2019) Estimating the effective level of *Yucca schidigera* extract for improvement of the survival, haematological parameters, immunological responses and water quality of European seabass juveniles (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture Reports** 15: 100208.

Francis G, Makkar HPS, Becker K (2001) Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture** 199: 197–227.

Francis G, Makkar HPS, Becker K (2002) Dietary supplementation with a *Quillaja saponin* mixture improves growth performance and metabolic efficiency in common carp. **Aquaculture** 203: 311–320.

Gannam AL et al. (2020) Dietary administration of β -glucan and glutamine improves the immune responses and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* against *Aeromonas hydrophila*. **Fish & Shellfish Immunology** 101: 202-209.

Güroy B, Mantoğlu S, Kayali S, Şahin İ (2014) Effect of dietary *Yucca schidigera* extract on growth, total ammonia-nitrogen excretion and haematological parameters of juvenile striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. **Aquaculture Research** 45: 647–654.

Hai NV (2015) The use of medicinal plants as immunostimulants in aquaculture: A review. **Aquaculture** 446: 88-96.

Jia J, Wang X, Zhang Y (2005) Effects of *Yucca schidigera* on liver function and enzyme activity in fish. **Fish Physiology and Biochemistry** 31: 215-224.

kumar S, Patel T, Roy A (2008) Saponin-mediated modulation of liver enzyme activities in aquatic species. **Aquaculture Research** 37: 476-485.

Lara-Flores M, Olvera-Novoa MA, Guzmán-Méndez BE, López-Madrid W (2003) Use of *Yucca schidigera* extract in aquaculture. **Aquaculture Research** 34: 867-876.

Li Z et al. (2019) Effects of *Yucca schidigera* extract on growth performance, intestinal immune function, and gut microbiota of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Fish & Shellfish Immunology** 93: 883-889.

Montoya-Rodríguez A et al. (2020) *Yucca schidigera* and its uses in human and veterinary medicine. **Journal of Ethnopharmacology** 254: 112718.

Nakahara K, Nakaoka H, Nishida H (2005) Modulatory effects of saponins on phagocytic activity in teleost fish. **Fish & Shellfish Immunology** 18: 163-175.

Njagi GW et al. (2017) Effects of dietary *Yucca* meal on growth, haematology, non-specific immune responses, and disease resistance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758). **Aquaculture Research** 48: 4399–4408.

Osti GM et al. (2020) Effects of dietary *Yucca schidigera* on growth performance, immune response and some haematological parameters in common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture Nutrition** 26: 260-271.

Pal AK et al. (2018) *Yucca schidigera* extract modulates the expression of stress-associated genes and enhances growth and immune response in rohu (*Labeo rohita* Hamilton). **Fish & Shellfish Immunology** 77: 351-358.

Reham AA, Mounes HAM, Ahmed KM (2019) Use of humic acid and *Yucca* extract as a benefactor on water quality and their impact on some hematological and histological parameters of *Oreochromis niloticus*. **Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries** 22: 447–460.

Riche M et al. (2013) Effects of feeding *Yucca schidigera* to brook trout (*Salvelinus fontinalis*) on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, and faecal and body microflora. **Aquaculture Nutrition** 19: 548-560.

Rodriguez-Estrada U et al. (2018) *Yucca schidigera* extract enhances growth and stress tolerance via oxidative status and non-specific immune response of juvenile red sea bream (*Pagrus major*). **Aquaculture** 483: 97-104.

Shao Y, Zhang H, Lu Y (2015) Adaptation of liver enzyme activities in fish fed long-term dietary supplements. **Aquaculture Nutrition** 21: 556-564.

Wang W et al. (2018) Effects of dietary nucleotides supplementation on growth performance, immune responses and intestinal structure of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). **Fish & Shellfish Immunology** 82: 332-340.

Wang J et al. (2019) Effects of dietary saponins on non-specific immune responses, growth performance, digestive enzyme activities and the intestinal structure of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). **Fish & Shellfish Immunology** 89, : 591-598.

Xie S et al. (2017) Effects of dietary saponins from *Quillaja saponaria* on the growth, feed utilization, body composition, and liver histology of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). **Aquaculture** 479: 196–202.

Yuji-Sado R, Raulino-Domanski F, Freitas PFD, Baioco-Sales F (2015) Crecimiento, estado inmunológico y morfología intestinal de la tilapia del Nilo alimentadas con prebióticos (Mananoligosacáridos-MOS) en la dieta. Latin American **Journal of Aquatic Research** 43: 944-952.

Zhou CX et al. (2018) Effects of dietary saponin on growth, non-specific immune responses, and resistance against *Vibrio alginolyticus* of juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). **Aquaculture** 491: 259–265.