

УДК 635.5:639.3

<https://doi.org/10.31713/vs3202410>

Майборода Х. А., аспірантка (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua)

ЗРОСТАННЯ САЛАТУ ЛИСТОВОГО У СИСТЕМІ АКВАПОНІКИ ІЗ СОМОМ КЛАРІЄВИМ

Аквапоніка – це комбінована система симбіотичного вирощування водних організмів і рослин, у якій стічні води аквакультури зазнають мікробних перетворень, які використовуються як джерело поживних речовин для росту рослин, тоді як поглинання поживних речовин рослинами відновлює воду для аквакультури [1]. Використання природних процесів життєдіяльності прісноводних тварин, таких як риби та креветки, слугує живильним середовищем для вирощування рослин. У процесі росту рослини споживають необхідні їм продукти виділень цих організмів – хімічні речовини (азотисті, калійні, фосфорні сполуки, вуглекислий газ тощо), розчинені у воді, та водночас природним шляхом очищують воду і збагачують її киснем [2].

Проте, ми припустили, що сам корм може забезпечувати ріст рослин, а симбіоз з рибою в аквапоніці створює додатковий благотворний вплив на розвиток рослин. Цей взаємозв'язок між рибою та рослинами сприяє підвищенню ефективності системи, оскільки відходи життєдіяльності риби слугують природним добривом для рослин, що забезпечує їхній ріст.

У цьому дослідженні ми вирощували салат листовий, а саме сорт Батавія Афіціон (*lactuca sativa batavia aficion*) в системі аквапоніки із сомом кларієвим (*Clarias gariepinus*) та додали однакову кількість корму, що містить N і P, щоб перевірити гіпотезу.

Рослини салату, вирощені на аквапоніці, активно росли до 3 тижнів і містили постійний рівень азоту, ці результати свідчать про те, що сом сприяє швидшому розкладанню корму.

Врожайність салату становила 2,8 кг/м². Моніторинг води в аквапонічній системі показав низьку концентрацію нітратів, фосфору (P), калію (K) і магнію (Mg), проте частка мінеральних поживних речовин та рівень рН залишалися стабільними протягом

усього періоду вирощування салату. Значення електропровідності (ЕП), зареєстровані в цьому дослідженні, становили від 1,5 до 1,7 см/м через низьку швидкість заміни води, що сприяло більшому зростанню рослин і накопиченню іонів у розчині.

Завдяки безперервній рециркуляції води, умови в аквапонічній системі стають задовільними для вирощування рослин. Такий підхід забезпечує постійний доступ до поживних речовин і підтримує стабільність водного середовища, що сприяє оптимальному росту рослин.

Ключові слова: аквапоніка; салат листовий; сом кларієвий; врожайність; моніторинг води.

Постановка проблеми. Традиційні методи виробництва в сільському господарстві, а також використання застарілої техніки та обладнання, поряд із енергомісткими та високовитратними агротехнологіями, не здатні забезпечити конкурентоспроможність підприємств у сучасних ринкових умовах. Тому на вітчизняному ринку виникає потреба в запровадженні інновацій, що ґрунтуються на зменшенні залежності від ресурсів, зниженні собівартості сільськогосподарської продукції, збільшенні обсягів валового збору, при цьому зберігаючи та відтворюючи потенціал ґрунтів і навколишнього середовища.

Однією з галузей промисловості, що найшвидше розвивається у світі для виробництва їжі, є аквапоніка. Ця інноваційна технологія об'єднує аквакультуру та гідропоніку, дозволяючи вирощувати рибу разом із рослинами в замкнутій екосистемі, що забезпечує ефективне використання ресурсів і зменшує вплив на навколишнє середовище. Завдяки скоростиглості салату листового за невеликий проміжок часу можна отримати якісну (за рівнем поживних речовин) продукцію. Рослини швидко ростуть завдяки розчиненим поживним речовинам, які виділяються безпосередньо рибою або утворюються в результаті мікробного розщеплення рибних відходів.

З погляду біології, цікавим об'єктом дослідження є африканський сом [3]. Ця риба володіє важливою біологічною особливістю – наявністю спеціального надзябрового органу, який дозволяє їй дихати атмосферним киснем. Завдяки цьому, африканський сом здатний пристосовуватися до умов з низькою

концентрацією кисню, а також до високого вмісту аміаку та органічних речовин у воді.

Ми виявили, що основним джерелом Р в аквапоніці є корми для риби. Риби споживають лише 15% фосфору у кормах для риби, а рослини можуть поглинути фосфор із аквакультури. Рибні корми також містять К та інші мікроелементи, кількість К, заліза (Fe), магнію (Mg), марганцю (Mn) і міді (Cu) обмежена, але присутність риби забезпечує певний сприятливий вплив до виділення поживних речовин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі чимало наукових установ аграрного профілю США займається всебічним вивченням та удосконаленням аквапонних систем та технологій отримання плодоовочевої продукції та продукції рибництва. Автори Ramin Ghamkha, Christopher Hartleb [4] зазначили, що аквапонічне виробництво їжі є перспективним рішенням для зменшення несприятливого впливу систем виробництва їжі на навколишнє середовище, включаючи втрати поживних речовин і споживання води. Kenji Yamane, Yuuki Kimura, Keita Takahashi [1] та інші повідомили, що сом сприяє швидшому розкладанню корму. Аквапоніка запобігає забрудненню розчину в резервуарах і підтримує вищу якість води порівняно, що свідчить про те, що аквапоніка є більш стійкою системою вирощування навіть у невеликих системах. Ряд дослідників повідомили, ріст, ефективність використання корму та загальне відновлення поживних речовин у перерахунку на біомасу були високими в системі аквапоніки. Ці результати свідчать про те, що аквапоніка є не тільки екологічно чистою системою аквакультури, але також може виробляти більше біомаси, ніж звичайна система аквакультури, і отже, може бути розширена в комерційних масштабах. Також було досліджено Lennard і Leonard [16], що врожайність салату була високою в аквапонічних системах. Висновки, отримані в результаті дослідження Sunday Abraham Oladimeji, Victor Tosin Okomoda та інших, вказують, що виробництво риби в системі аквапоніки є ефективним, а при підтримці якості води у відповідних діапазонах збільшить виробництво рослин [5].

Мета і завдання дослідження. Метою було дослідити вирощування *Lactuca sativa* Batavia Afición на аквапонній системі із сомом кларієвим. А також перевірити можливість отримання

адекватного врожаю та хорошій якості листового салату, вирощеного в рециркуляційній аквапонічній системі (з використанням лише органічних добрив, вироблених рибою, без додавання мінеральних добрив). Основна перевага полягає в незалежності виробництва від умов зовнішнього середовища, можливості автоматизованого, контрольованого режиму умов вирощування практично будь-яких видів гідробіонтів та сільськогосподарських рослин.

Перед авторами постало завдання дослідити врожайність сома кларієвого та салату листового, їхні морфологічні властивості, вміст макро- та мікроелементів у воді, накопичення поживних речовин рослинами.

Матеріали і методи дослідження. Нітрати у свіжому рослинному матеріалі визначали потенціометричним методом. Вміст інших компонентів визначали за висушеною рослинною сировиною. Вміст P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B визначали фотометрично. Вміст азоту аналізували за допомогою методу К'ельдаля [6].

Вміст макроелементів у воді аналізували за допомогою спектрофотометра Lasa agro 1900. Також використовували такі методики для дослідження якості води: вимірювання концентрації нітрат-іонів фотоколориметричним методом (МВВ № 081/12-0651-09, 2010), вимірювання масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера (МВВ № 081/12-0106-03, 2010), вимірювання масової концентрації хлоридів титриметричним методом (МВВ № 081/12-0653-09, 2010) та вимірювання масової концентрації кальцію та магнію титриметричним методом (МВВ № 081/12-0644-09, 2010).

Під час збирання салату з систем, вага пагонів і коренів була проаналізована за допомогою одностороннього дисперсійного аналізу (ANOVA). Також було розраховано індекс росту рослин NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс) [7]. *Lactuca sativa* Batavia Afición збирали, коли він досяг товарної зрілості, тобто через 34 дні після пересадки, після чого визначали повітряно-суху та абсолютно-суху масу рослини, кількість листків, висоту та ширину рослини, об'єм кореневої системи, біомасу рослини.

Результати досліджень. В аквапонічній системі середній вміст макроелементів становить NO_3^- – 4 мг/дм³, P – 3 мг/дм³, K – 20 мг/дм³, Ca – 143 мг/дм³, Mg – 29 мг/дм³. Значення рН коливаються між (7,0–8,0). На початку рН було 7,0, що є ідеальним і нормальним для

цієї системи, через деякий час рН різко підвищився (8,2), що пов'язано з накопиченням у воді відходів і хімічних речовин, які утворюються рибою та іншими мікроорганізмами. Досліджені морфологічні характеристики салату показали, що *Lactuca sativa* *Batavia Afición* досяг свіжої маси 80 г та утворив 17 листків. Висота найбільшої (враховувалась довжина листка разом із довжиною кореневої системи) рослини становила 48 см. Максимальний об'єм кореневої системи 45 мл. Також було отримано результати повітряно-сухої біомаси рослини з максимальною вагою 44 г та абсолютно сухої біомасу рослини з максимальною вагою (зразки висувувались у сушильній шафі, при температурі 65°C, по 4 години, протягом двох днів) 42 г. З огляду на розрахунок індексу росту рослин, встановили середньодобову швидкість зростання (різниця між вимірюванням розміру рослини в кінці досліду та на початку, поділену на кількість днів між вимірюваннями), у гідропоніці салат зростав – 1,9 см щодоби.

За вмістом нітратів 2263 мг/кг, загального азоту 2,97% та Fe 93,83 мг/кг, вміст K 73,6 мг/кг і Ca 20,1 мг/кг. Слід також згадати, що магній є центральним атомом хлорофілу, який відіграє ключову роль у фотосинтезі, та є одним з найважливіших мінеральних елементів, оскільки він необхідний для багатьох біохімічних процесів. Що стосується його вмісту, в аквапонній системі – 1943 мг/кг. Вміст сірки в листі був 18,3 мг/кг. Це пов'язано з тим, що в аквапонічних системах рідко спостерігається дефіцит сірки і переважно знаходиться у вигляді сульфату (SO_4^{2-}) розчинного аніону. Сульфат поглинається безпосередньо рослиною і дуже важливий у виробництві багатьох амінокислот, білків і масел.

Оптимальний рН для аквакультури коливається між 7,0 і 8,0 [8], а нітрифікуючим бактеріям потрібен рН близько 7,5 для оптимального перетворення аміаку в нітрати [9]. У аквапоніці NH_4^+ , що виробляється рибою, перетворюється на NO_2^- і NO_3^- через бактерії, що окиснюють і нітрифікують аміак, потім рослини поглинають їх як поживні речовини. Цей тип системи сприяє зменшенню впливу на навколишнє середовище за рахунок повторного використання азоту (N) і фосфору (P) [15]. Коли рН підвищується вище 7,0, більшість P перетворюється на нерозчинні комплекси, і 30–65% фосфору залишається у твердому мулі риби,

який недоступний для рослин. Крім того, рослинам важко засвоювати Fe, Cu, цинк (Zn), бор (B), і Mn, коли рН вище 6,5 [10].

У нашому дослідженні вода в аквапонічній системі містила низьку кількість азоту, фосфору та калію та достатній рівень Ca та Mg, які надходили з водопровідної води, яка використовувалася для заповнення акваріумів. Schmautz та Rafiee [11; 12] виявили, що основним джерелом P в аквапоніці є корми для риб. Риби споживають лише 15% фосфору у кормах для риб, а рослини можуть поглинати фосфор із аквакультури. Рибні корми також містять K і інші мікроелементи, але кількість K, заліза (Fe), магнію (Mg), марганцю (Mn) і міді (Cu), обмежене [13]. Тим не менш, ми отримали задовільну врожайність салату, на аквапоніці – 2,8 кг/м² при щільності 36 рослин на метр квадратний.

Оскільки ми повністю поклалися на рибні відходи для забезпечення рослин поживними речовинами, було зафіксовано низькі рівні фосфору (P), калію (K), заліза (Fe) та марганцю (Mn).

Листові овочі, такі як салат, містять значну кількість природних нітратів, які можуть становити небезпеку для здоров'я людини. Європейський Союз (2006) встановив максимальні ліміти для нітратів у салаті, вирощеному під укриттям, і ці значення складають 5000 мг/кг для зимових рослин і 4000 мг/кг в інші сезони. Концентрація нітратів у листі салату, вирощеного в аквапоніці була низькою (2221–2865 мг/кг) і не перевищувала допустиму межу.

Щодо кларієвого сома, він належить до всеїдних тварин, і може харчуватись як і рослинними, так і тваринними кормами, а у природних умовах джерелом їжі є живі чи мертві риби. У м'ясі африканського сома жирність складає до 3,95%, вміст загального білка до 17,9%. Така особливість, тобто співвідношення жиру до білку (1:4), позитивно впливає на якість харчового продукту з погляду смакових, дієтичних і кулінарних страв. Суттєвою перевагою товарної продукції африканського сома є висока технологічна продуктивність: як м'яса у тушці, так і філейки: з шкуркою – 51,6%, без шкурки – 45,4%. Середньою щільністю посадки 30,6 кг/м³ при загальному об'ємі для вирощування 5,1 м³, що призвело до загальної біомаси риби 156 кг.

Ми висловили припущення, що корм може діяти як незалежний ресурс для підтримки росту рослин. Корм для риб є основним джерелом надходження азоту в аквапоніку, оскільки риба виділяє

цей елемент у формі аміаку (90%), який активно використовується для росту рослин. Добова доза їжі становила 1 г, що призвело до недостатнього надходження азоту та фосфору як для сомів, так і для листя салату. Після початку експерименту апетит сома залишався відносно низьким, що, ймовірно, було спричинено змінами в навколишньому середовищі. Сомам характерний канібалізм. Щоб зменшити його рівень, рекомендується проводити сортування риб через кожні 10–15 діб.

Сом у системі аквапоніки сприяв перетворенню білків з корму на доступний азот для рослин салату, що викликало підвищення концентрації хлорофілу та забезпечувало активний ріст рослин.

Висновки. Наше дослідження показало, що аквапоніка дає задовільну врожайність, при забезпеченні оптимальних умов в лабораторії, включаючи світло і температуру, із модулем глибоководної культури ми отримали за 34 дні вирощування – 2,8 кг/м².

В подальшому, слід особливу увагу приділити мікробіоті, наявній як у воді, так і в ризосфері; можна припустити, що вони містять ефективні ризобактерії та/або гриби, що сприяють росту та доповнювати мінеральними речовинами аквапонічний розчин, для більшої врожайності. Також, бактеріальна флора в системі AP бере участь у зростанні рослин і захворюваності [13; 14], тому необхідно ретельно перевіряти наявність або відсутність патогенності мікобактерій. Ефективність аквапоніки без додаткових мінералів залежить від генотипу рослини. Щодо нашої гіпотези, вона була підтверджена тим фактом, що сам корм міг підтримувати рослини, але соми розкладали корм швидше, що призвело до енергійного росту рослин на ранній стадії. NO₃⁻ ефективно поглинався рослинами салату та підтримувався на низькому рівні. Зокрема, аквапоніка запобігає забрудненню розчину в баку, що свідчить про те, що вона є більш стійкою системою культивування навіть у невеликій системі.

1. Kenji Yamane, Yuuki Kimura, Keita Takahashi, Isamu Maeda. The Growth of Leaf Lettuce and Bacterial Communities in a Closed Aquaponics System with Catfish. *Horticulturae*. 2021. Vol. 7(8). P. 222. 2. Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 182. 3. Єржі Адамек, Віталій Бех, Вадим Марценюк. Африканський кларієвий сом (*Clarias gariepinus*) – цінний об'єкт рибництва. URL: https://chng.darg.gov.ua/files/16/afr_som.pdf (дата звернення: 10.07.2024).

4. Ramin Ghamkhar, Christopher Hartleb, Fan Wuac, Andrea Hicks. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 5. Sunday Abraham Oladimeji, Victor Tosin Okomoda, Samuel Olabode Olufeagba, Shola Gabriel Solomon, Ambok Bolong Abol-Munafi, Korede Isaiah Alabi. Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Food Sci Nutr*. 2020. P. 2307–2315. 6. Latimer G. Official Methods of Analysis. 19th ed. AOAC International: Gaithersburg, MD, USA, 2012. ISBN 978-0-935584-83-7. 7. Andrew Carberry. How to Measure Growth Rate of Plants/2022, Arkansas. URL: <https://www.wikihow.com/Measure-Growth-Rate-of-Plants> (дата звернення: 10.07.2024). 8. Mims S. D., Lazur A., Shelton W. L., Gomelsky B., Chapman F. Species Profile Production of Sturgeon, Southern Regional Aquaculture Center. 2002. URL: <https://srac.msstate.edu/pdfs/Fact%20Sheets/7200%20Species%20Profile-%20Production%20of%20Sturgeon.pdf> (дата звернення: 10.07.2024). 9. Suhl J., Dannehl D., Kloas W., Baganz D., Jobs S., Schiebe G., Schmidt U. Advanced Aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs conventional hydroponics. *Agric. Water. Manag.* 2016. Vol. 178. P. 335–344. 10. Asao T. Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Researches. BoD–Books on Demand : Paris, France, 2012. ISBN 978-953-51-0386-8. 11. Schmautz Z., Graber A., Mathis A., Bulc T. G., Junge R. Tomato Production In Aquaponic System: Mass Balance And Nutrient Recycling. *Aquac. Eur.* 2015. 12. Rafiee G., Saad C. R. Nutrient Cycle and Sludge Production during Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis Sp.*) Growth in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture*. 2005. № 244. P. 109–118. 13. Rakocy J. E., Masser M. P., Losordo T. M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. *Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC : Stoneville, MS, USA, 2006. P. 236–247. 14. Khalil S. Growth performance, nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. *Eur. J. Hortic. Sci.* 2018. Vol. 83. P. 388–394. 15. Yang T., Kim H.-J. Characterizing Nutrient Composition and Concentration in Tomato-, Basil-, and Lettuce-Based Aquaponic and Hydroponic Systems. *Water*. 2020. Vol. 12. P. 1259. 16. Lennard W. A. and B. V. Leonard. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture Intl.* 2004. Vol. 12. P. 539–553.

REFERENCES:

1. Kenji Yamane, Yuuki Kimura, Keita Takahashi, Isamu Maeda. The Growth of Leaf Lettuce and Bacterial Communities in a Closed Aquaponics System with Catfish. *Horticulturae*. 2021. Vol. 7(8). P. 222. 2. Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water*. 2017. Vol. 9.

- P. 182. **3.** Yerzhi Adamek, Vitalii Bekh, Vadym Martseniuk. Afrykanskyi klariiivyi som (*Clarias gariepinus*) – tsynnyi obiekt rybnnytstva. URL: https://chng.darg.gov.ua/files/16/afr_som.pdf (data zvernennia: 10.07.2024).
- 4.** Ramin Ghamkhar, Christopher Hartleb, Fan Wuac, Andrea Hicks. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. *Journal of Cleaner Production*. 2020. **5.** Sunday Abraham Oladimeji, Victor Tosin Okomoda, Samuel Olabode Olufeagba, Shola Gabriel Solomon, Ambok Bolong Abol-Munafi, Korede Isaiah Alabi. Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Food Sci Nutr*. 2020. P. 2307–2315. **6.** Latimer G. Official Methods of Analysis. 19th ed. AOAC International: Gaithersburg, MD, USA, 2012. ISBN 978-0-935584-83-7. **7.** Andrew Carberry. How to Measure Growth Rate of Plants/2022, Arkansas. URL: <https://www.wikihow.com/Measure-Growth-Rate-of-Plants> (data zvernennia: 10.07.2024). **8.** Mims S. D., Lazur A., Shelton W. L., Gomelsky B., Chapman F. Species Profile Production of Sturgeon, Southern Regional Aquaculture Center. 2002. URL: <https://srac.msstate.edu/pdfs/Fact%20Sheets/7200%20Species%20Profile-%20Production%20of%20Sturgeon.pdf> (data zvernennia: 10.07.2024). **9.** Suhl J., Dannehl D., Kloas W., Baganz D., Jobs S., Schiebe G., Schmidt U. Advanced Aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs conventional hydroponics. *Agric. Water. Manag.* 2016. Vol. 178. P. 335–344. **10.** Asao T. Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Researches. BoD–Books on Demand : Paris, France, 2012. ISBN 978-953-51-0386-8. **11.** Schmautz Z., Graber A., Mathis A., Bulc T. G., Junge R. Tomato Production In Aquaponic System: Mass Balance And Nutrient Recycling. *Aquac. Eur.* 2015. **12.** Rafiee G., Saad C. R. Nutrient Cycle and Sludge Production during Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis Sp.*) Growth in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture*. 2005. № 244. P. 109–118. **13.** Rakocy J. E., Masser M. P., Losordo T. M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. *Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC : Stoneville, MS, USA, 2006. P. 236–247. **14.** Khalil S. Growth performance, nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. *Eur. J. Hortic. Sci.* 2018. Vol. 83. P. 388–394. **15.** Yang T., Kim H.-J. Characterizing Nutrient Composition and Concentration in Tomato-, Basil-, and Lettuce-Based Aquaponic and Hydroponic Systems. *Water*. 2020. Vol. 12. P. 1259. **16.** Lennard W. A. and B. V. Leonard. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture Intl.* 2004. Vol. 12. P. 539–553.
-

Maiboroda Kh. A., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

GROWING OF LEAF LETTUCE IN AQUAPONICS SYSTEM WITH CLARIUM CATFISH

Aquaponics is a combined system of symbiotic cultivation of aquatic organisms and plants in which aquaculture wastewater undergoes microbial transformations that are used as a source of nutrients for plant growth, while nutrient uptake by plants regenerates the water for aquaculture [1]. Using the natural life processes of freshwater animals, such as fish and shrimp, serves as a nutrient medium for growing plants. In the process of growth, plants consume the necessary products of the secretions of these organisms – chemical substances (nitrogenous, potassium, phosphorous compounds, carbon dioxide, etc.) dissolved in water, and at the same time naturally purify water and enrich it with oxygen [2].

However, we hypothesized that the feed itself can provide plant growth, and symbiosis with fish in aquaponics creates an additional beneficial effect on plant development. This relationship between fish and plants helps to increase the efficiency of the system, because the waste of the fish's life activity serves as a natural fertilizer for the plants, which ensures their growth.

In this study, we grew lettuce, namely the cultivar Batavia Aficion (*lactuca sativa batavia aficion*) in an aquaponic system with *Clarias gariepinus* and added equal amounts of feed containing N and P to test the hypothesis.

Lettuce plants grown aquaponically grew vigorously for up to 3 weeks and contained constant levels of nitrogen, these results suggest that catfish promote faster decomposition of feed.

The yield of lettuce was 2.8 kg/m². Water monitoring in the aquaponic system showed low concentrations of nitrates, phosphorus (P), potassium (K) and magnesium (Mg), but the proportion of mineral nutrients and pH levels remained stable throughout the lettuce growing period. The electrical conductivity (EC) values recorded in this study ranged from 1.5 to 1.7 S/m due to the low rate of water exchange, which promoted greater plant growth and ion accumulation in the solution.

Thanks to the continuous recirculation of water, the conditions in the aquaponic system become satisfactory for growing plants. This approach ensures constant access to nutrients and maintains the stability of the water environment, which promotes optimal plant growth.

***Keywords:* aquaponics; lettuce; clary catfish; productivity; water monitoring.**