

Ариас Ордоньес Присцила Хакелине,  
исследователь; преподаватель-исследователь,  
Российский университет дружбы народов, г. Москва  
ORCID: 0000-0003-2204-0516  
Arias Ordonez Priscila Jackeline,  
PhD in Earth Sciences (Ecology),  
RUDN University, Moscow  
ORCID: 0000-0003-2204-0516

**ОЦЕНКА СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
РАМСАРСКОГО ОБЪЕКТА В ЭКВАДОРЕ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА  
МАКРОФИТОВ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ WMI  
ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON A RAMSAR SITE  
IN ECUADOR USING WETLAND MACROPHYTE INDEX WMI**

**Аннотация:** Водно-болотные угодья часто подвергаются антропогенному воздействию, такому как сбросы сточных вод, преобразование земель и т.д. Оценка экологического состояния этих уникальных объектов, с применением практических инструментов, таких как индикаторная значимость макрофитов является важной задачей. Таким образом, целью работы являлась оценка степени антропогенного воздействия Ла Тембладера на основе индекса WMI. Выявленное низкое значение WMI (1,29) свидетельствует о нарушении состояния объекта.

**Abstract:** Wetlands are often subject to anthropogenic impacts such as wastewater discharges, land conversion, etc. Assessing the ecological state of these unique objects, using macrophytes as a biotic indicator is an important task. Thus, the goal of the study was to assess the degree of anthropogenic impact of La Tembladera based on the WMI index. The obtained low WMI value (1.29) indicates that the wetland can be considered impaired.

**Ключевые слова:** водно-болотные угодья, макрофиты, индекс WMI, Ла Тембладера, Эквадор, Южная Америка.

**Key words:** wetlands, macrophyte, index WMI, La Tembladera, Ecuador, South America.

**Введение.** Водно-болотные угодья играют важную роль в улучшении качества воды, задержании воды во время штормов, защите береговой линии, обеспечивают среду обитания для уникальной флоры и фауны, накапливают углерод, а также, обеспечивают культурные и рекреационные ресурсы [1-4]. Однако, эти экосистемы часто подвергаются высокому антропогенному воздействию, такому как прямые, неочищенные сбросы коммунально-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод, преобразование земель, чрезмерный выпас и т.д. [5-9].

В Эквадоре существует 19 водно-болотных угодий, которые внесены в список Рамсарской конвенции, благодаря чему эти своеобразные экосистемы имеют особый международный природоохранный статус [10]. Список включает водно-болотное угодье Ла Тембладера (Ла Тембладера), расположенное на юго-западе страны, в провинции Эль Оро. Этот водный объект в основном используется для выпаса скота, выращивания сельскохозяйственных культур с коротким циклом, пастбищных трав и рекреационной деятельности [11,12]. Следовательно, испытывает различные виды антропогенного воздействия, а именно прямой сброс сточных вод жилого сектора, физиологических выделений крупного рогатого скота, а также влияние от гидротехнических сооружений



(каналы) [12]. Поэтому, оценка экологического состояния водно-болотных угодий с использованием практических инструментов, таких как индекс макрофитов водно-болотных угодий WMI, который учитывает индикаторную значимость плавающих и воздушно-водных растений является весьма важной задачей [13]. Таким образом, целью данного исследования является оценка степени антропогенного воздействия Ла Тембладера на основе индекса WMI.

**Объект и методы.** Ла Тембладера является водно-болотным угодьем континентального типа, которое находится на юго-западе Эквадора, parroquia Бельявиста, кантон Санта-Роса, в провинции Эль Оро ( $3^{\circ} 29' 26'' S$ ,  $79^{\circ} 59' 43'' W$ ; 12-18 метров над уровнем моря) (рис. 1). Регион имеет сухой тропический климат, который характеризуется чередованием сезона дождей или зима (с январь по апрель) и засушливого сезона или лето (с мая по декабрь).

Среднегодовая температура варьирует от  $24 - 26^{\circ}C$  и среднегодовые осадки составляют от 250 по 500 мм [11]. Площадь водного объекта составляет 1 471,19 га, его постоянное водное зеркало – 104 га. Зона затопления объекта зависит от сезона, водная поверхности может составлять около 188 га, а поверхность суши - 1 199 га [11]. Среднемесячная температура воды на водно-болотном угодье составляет  $25,82^{\circ}C$ . Во время сухого сезона наблюдается максимальная глубина 8м и не отмечается температурной стратификации [14].

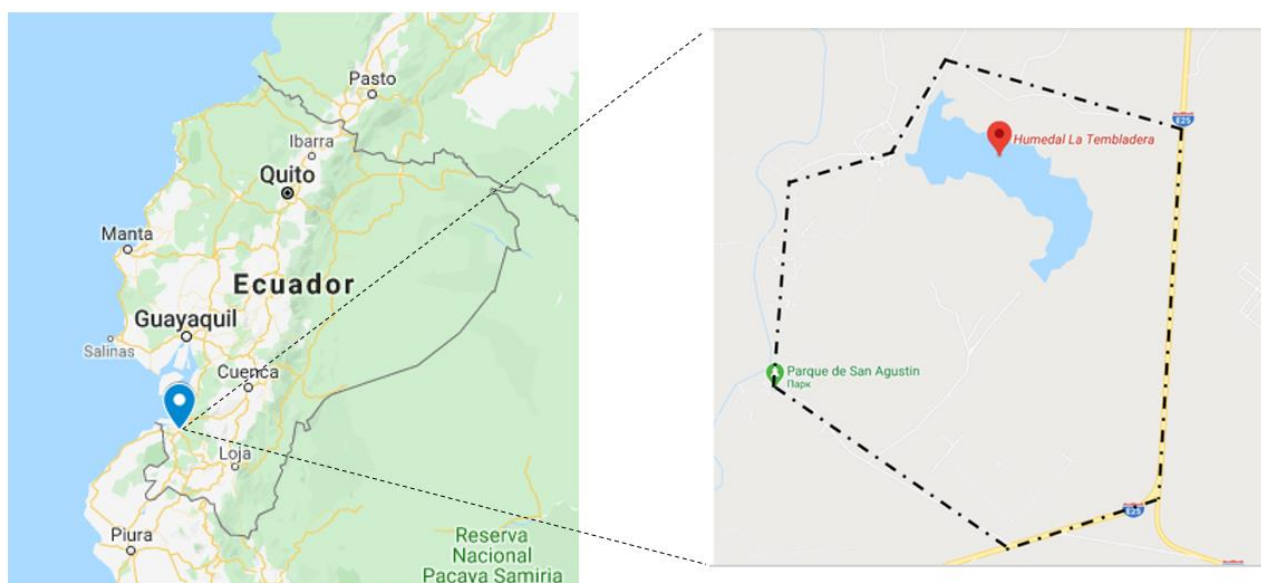


Рисунок 1. Карта расположения водно-болотного угодья Ла Тембладера (слева) и его границы (справа)

На водной поверхности преобладают свободно плавающие макрофиты:

*Pistia stratiotes* (водяной латук) (рис. 2), *Eichhornia crassipes* (водяной гиацинт) (рис. 3), который встречается больше по берегу, из плавающих листовых макрофитов встречается *Nymphaea odorata* (кувшинка душистая) (рис. 4). Из погружённых макрофитов, в зоне затопления вокруг Ла Тембладера преобладает *Typha latifolia* (рогоз широколистный). Также, встречаются различные виды деревьев, таких как *Prosopis juliflora* (мескитовое дерево), *Tabebuia chrysantha* (арагуаней), *Ceiba thrychistandra* (сейба), *Mangifera indica* (манго) и др. [15].





Рисунок 2.  
*Pistia stratiotes*, 2018 (автор)



Рисунок 3.  
*Eichhornia crassipes*, 2018 (автор)



Рисунок 4. *Nymphaea odorata*, 2018 (автор)

**Индекс WMI.** Подверженные антропогенному воздействию прибрежные болота обычно более уязвимы к инвазиям экзотических видов, чем незатронутые водно-болотные угодья, и со временем аборигенные виды на участках, затронутых человеком, могут вытесняться экзотическими видами. Таким образом, расчет оценки степени антропогенного воздействия на основе индекса WMI также учитывает присутствие экзотических видов и был проведен по формуле [13]:

$$WMI = \left( \frac{\sum_{i=1}^n Y_i T_i U_i}{\sum_{i=1}^n Y_i T_i} \right) - \sqrt[2]{Ex}$$

где  $Y$  – если вид присутствует значение равно 1; если отсутствует значение равно 0;  
 $T$  – ширина ниши, присваивается значение от 1 (широкая ниша) до 3 (узкая ниша);



U – толерантность вида к деградации, присваивается значение от 1 (очень толерантный) до 5 (очень нетолерантный). Значения «Т» и «U» приведены в [13].

$E_x$  – доля плавающих и воздушно-водных видов, которые являются экзотическими видами (не местные), рассчитывается по формуле:

$$E_x = \frac{\varepsilon}{(B_v + П)}$$

где  $\varepsilon$  – количество экзотических видов;

$B_v$  – количество воздушно-водных макрофитов;

П – количество плавающих макрофитов.

Индекс WMI теоретически может варьироваться от 1,00 до 5,00. Водно-

болотные угодья с показателями WMI < 2,5 могут считаться нарушенными (наблюдаются от умеренно до сильно деградированных условий), и может потребоваться их восстановление и другие меры по управлению. В объектах с WMI > 2,5 наблюдаются от хороших до отличных условий, и не проявляют признаков негативного антропогенного воздействия [13].

**Результаты и обсуждение.** Определено, что WMI для Ла Тембладера равен 1,29, то есть, в объекте наблюдаются от умеренно до сильно деградированных условий. Полученное значение обусловлено присутствием 2 экзотических макрофита: *Eichhornia crassipes* и *Pistia stratiotes*. Они, вместе с другими видами водной растительности, покрывают примерно 75% поверхности воды объекта [16]. Большая способность *Eichhornia crassipes* размножаться в тропиках, где преобладают высокие температуры и отсутствие хищников привели к его неконтролируемому развитию, создавая реальную проблему в регионе [17]. Стремительный рост *Eichhornia crassipes* и *Pistia stratiotes* ухудшает качество воды, изменяя физические, биологические и химические процессы [18, 19]. Это связано с тем, что они препятствуют ультрафиолетовому свету, необходимый для жизнедеятельности фотосинтетических организмов, а также обмену кислородом воды с атмосферным воздухом, вследствие того, уменьшается растворенный кислород (DO), важный для гидробионтов. Это создает дополнительную нагрузку, так как из-за типичных условий затопления водно-болотных угодий, где преобладают анаэробные условия, DO обычно низкий. Полученный результат соответствует проведенному анализу по качеству воды Ла Тембладера в 2020 г., оценено как неудовлетворительное для применения в качестве питьевой для населения. В исследовании были выявлены концентрации DO, ниже стандартов Эквадора [12].

С другой стороны, исследования доказывают способность *Eichhornia*

*crassipes* к биоаккумуляции и биodeградации органических загрязнителей [17,20].

Корневая система действует как надлежущая среда для роста микробов, обеспечивая аэробные условия в ризосфере деградации органических загрязнителей [21]. Кроме того, данное растение поглощает неметаллические неорганические соединения, такие как нитраты, ортофосфаты, нитриты и аммоний [17]. Касательно *Pistia stratiotes*, исследования показывают, что обладает высоким потенциалом снижения общего количества растворенных твердых веществ (TDS), кишечной палочки, ХПК, нитратов, общего фосфора и БПК<sub>5</sub> [22].

**Выводы.** Выявлено, что индикаторная значимость плавающих и

воздушно-водных макрофитов играют важную роль для определения экологических характеристик в тропическом водно-болотном угодье Ла Тембладера. Следует отметить, что показатель не отражает полное экологическое состояние объекта, поэтому важно учитывать другие компоненты для интегральной оценки. Однако, полученные результаты полезны лицам, принимающим законодательные решения, а также для мониторинга и разработки дальнейших проектов по сохранению и управлению Рамсарского объекта Ла Тембладера.



*Список литературы:*

1. Mitsch WJ, Bernal B, Hernandez ME. Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science Ecosystem Services and Management*. 2015;11(1):1–4. <http://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250>
2. Long X, Lin H, An X, Chen S, Qi S, Zhang M. Evaluation and analysis of ecosystem service value based on land use/cover change in Dongting Lake wetland. *Ecological Indicators*. 2022;136:108619. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108619>
3. Zhou L, Guan D, Huang X, Yuan X, Zhang M. Evaluation of the cultural ecosystem services of wetland park. *Ecological Indicators*. 2020;114:106286. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106286>
4. Villa JA, Tobón C. Modeling hydrologic dynamics of a created wetland, Colombia. *Ecological Engineering*. 2012;40:173–182. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.005>
5. Ondiek RA, Hayes DS, Kinyua DN, Kitaka N, Lautsch E, Mutuo P, Hein T. Influence of land-use change and season on soil greenhouse gas emissions from a tropical wetland: A stepwise explorative assessment. *Science of The Total Environment*. 2021;787:147701. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147701>
6. Zhao X, Zhang Q, He G, Zhang L, Lu Y. Delineating pollution threat intensity from onshore industries to coastal wetlands in the Bohai Rim, the Yangtze River Delta, and the Pearl River Delta, China. *Journal of cleaner production*. 2021;320:128880. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128880>
7. Canning AD, Jarvis D, Costanza R, Syezlin H, Smart JCR, Finisdore J, Lovelock CE, Greenhalgh S, Marr HM, Beck MW, Gillies CL, Waltham NJ. Financial incentives for large-scale wetland restoration: Beyond markets to common asset trusts. *One Earth*. 2021;4(7):937–950. <http://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.006>
8. Shi F, Weaver D, Zhao Y, Huang M, Tang C, Liu Y. Toward an ecological civilization: Mass comprehensive ecotourism indications among domestic visitors to a Chinese wetland protected area. *Tourism Management*. 2019;70:59–68. <http://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.07.011>
9. Xu T, Weng B, Yan D, Kun W. Wetlands of International Importance: Status, Threats, and Future Protection. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(10). <http://doi.org/10.3390/ijerph16101818>
10. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat [Internet]. Ramsar; 1971. Доступ: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current\\_convention\\_text\\_e.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_e.pdf)
11. Ramsar. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2009–2012. Доступ: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/EC1991RIS.pdf>
12. Arias Ordonez PJ. Water quality assessment of La Tembladera wetland in Ecuador using Water Quality Index. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(2):172–182. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-2-172-182>
13. Croft MV, Chow-Fraser P. Use and development of the wetland macrophyte index to detect water quality impairment in fish habitat of Great Lakes Coastal Marshes. *Journal of Great Lakes Research*. 2007;33(sp3):172–197. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2007\)33\[172:UADOTW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2007)33[172:UADOTW]2.0.CO;2)
14. López-Blanco C, Sinev AY. Cladocera biodiversity in La Tembladera lake (Ecuador): a palaeolimnological approach. *Crustaceana*. 2016;14:1611–1637. <https://doi.org/10.1163/15685403-00003605>
15. United Nations Development Programme (UNDP). Informe de Valoración de Servicios Ambientales Y La Estimación Del Costo de Oportunidad Del Uso Del Suelo. UNDP; 2012. Available from: [https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/EQU/Valoracion%20Servicios%20Ambientales\\_Humedal%20La%20Tembladera.pdf](https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/EQU/Valoracion%20Servicios%20Ambientales_Humedal%20La%20Tembladera.pdf)



16. Ministry of the Environment of Ecuador (MAE). Plan de Manejo Participativo del humedal La Tembladera El Oro-Santa Rosa: Guayaquil, Ecuador. 2009, November. Доступ: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/890928/Plan+de+manejo+participativo+del+humedal+La+Tembladera.pdf>
17. De Laet C., Matringe T, Petit E, Grison C. Eichhornia crassipes: a Powerful Bio-indicator for Water Pollution by Emerging Pollutants. Scientific reports. 2019;9(1), 7326. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43769-4>
18. Tobias VD, Conrad JL, Mahardja B, Khanna S. Impacts of water hyacinth treatment on water quality in a tidal estuarine environment. Biological Invasions. 2019;21:3479–3490. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02061-2>
19. Jeppesen E, Søndergaard M, Lauridsen TL, Davidson TA, Liu Z, Mazzeo N, Trochine C, Özkan K, Jensen HS, Trolle D, Starling F, Lazzaro X, Johansson LS, Bjerring R, Liboriussen L, Larsen SE, Landkildehus F, Egemose S, Meerhoff M. Biomanipulation as a restoration tool to combat eutrophication. Advances in Ecological Research. 2012;411–488. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-398315-2.00006-5>
20. Gusti Wibowo Y, Tyaz Nugraha A, Rohman A. Phytoremediation of several wastewater sources using Pistia Stratiotes and Eichhornia crassipes in Indonesia. Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management. 2023;20:100781. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100781>
21. Rezanía S, Din MF, Taib SM, Dahalan FA, Songip AR, Singh L, Kamyab H. The efficient role of aquatic plant (water hyacinth) in treating domestic wastewater in continuous system. International Journal of Phytoremediation. 2016;18(7):679-85. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1130018>
22. Gaballah MS, Ismail K, Beltagy A, Zein Eldin AM, Ismail MM. Wastewater Treatment Potential of Water Lettuce (Pistia stratiotes) with Modified Engineering Design. Journal of Water Chemistry and Technology. 2019;41:197–205. <https://doi.org/10.3103/S1063455X1903010X>

