INFLUÊNCIA DE FATORES FÍSICO-QUÍMICOS NA ESTRUTURAÇÃO DE UMA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS EM UM SÍTIO RAMSAR DO CHACO PARAGUAIO

Candia Servin, Michael[1], Correa Pérez, Cecilio[2], López Sachelaridi, Rocio Antonella[2,3]

[1]Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, CEMIT, Asunción, Paraguay
(e-mail: michael.candia@usc.edu.py)
[2]Laboratorio de Agua y Sedimentos, División de Embalse, Itaipu Binacional, Hernandarias, Paraguay
[3]Universidad Nacional del Caaguazú, Coronel Oviedo, Paraguay

Resumo: Fatores limnológicos moldam a macrofauna no Chaco paraguaio. Avaliou-se a relação entre parâmetros físico-químicos e a abundância de macroinvertebrados na Laguna Chaco Lodge, um Sítio Ramsar (condutividade: 18,47 mS/cm). A amostragem (831 indivíduos) revelou dominância de Corixidae (73,16%) e Chironomidae (13,84%), e maior riqueza em Coleoptera (5 famílias). A PCA confirmou que a variância é ditada por táxons tolerantes, evidenciando seu valor bioindicador.

Palavras-chave: Ecologia aquática; Hipersalinidade; Chaco; Ordenação; Bioindicadores.

INTRODUÇÃO

A estruturação das comunidades biológicas em ecossistemas aquáticos continentais é governada por uma hierarquia de filtros ambientais que atuam diretamente sobre a aptidão fisiológica dos organismos (Merritt et al., 2008). Em regiões semiáridas, os corpos de água sofrem flutuações hidrológicas severas decorrentes do balanço hídrico negativo, onde a evapotranspiração acentuada resulta na supersaturação de íons dissolvidos e no incremento drástico da salinidade (Heckman, 1998). A compreensão desses mecanismos complexos exige o emprego de técnicas estatísticas de ordenação multivariada, as quais permitem reduzir a dimensionalidade dos dados e isolar os gradientes ambientais preponderantes (Legendre e Legendre, 2012).

Como principal sistema lacustre do Chaco Central paraguaio, a Laguna Chaco Lodge destaca-se por sua dinâmica aluvial somera e hipersalina flutuante, sendo reconhecida desde 2003 como um Sítio RAMSAR de relevância internacional. Apesar de sua importância como habitat crítico, os fatores limnológicos que direcionam a organização de suas comunidades bentônicas permanecem virtualmente desconhecidos. Nesse cenário, os macroinvertebrados aquáticos constituem excelentes modelos para o estudo da ecologia quantitativa, uma vez que expressam de forma integrada os efeitos do estresse osmótico e das variações ambientais típicas desses ecossistemas (Wetzel, 2001).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi determinar a influência das variáveis físico-químicas na estruturação da comunidade de macroinvertebrados na Laguna Chaco Lodge, avaliando as respostas ecológicas desse grupo na zona de transição do Chaco Paraguaio.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de dados foi realizada em agosto de 2025 na Laguna Chaco Lodge, localizada no distrito de Teniente Primero Manuel Irala Fernández. A área de estudo situa-se em uma zona de transição entre os departamentos de Presidente Hayes e Boquerón, no Chaco Paraguaio. A vegetação circundante corresponde à tipologia de matorral de saladar, conforme a classificação estabelecida por Mereles (2005). No período amostral, as poáceas predominavam nas margens do corpo d'água, enquanto o estrato inferior apresentava um sub-bosque esparso sob dossel arbustivo com altura inferior a 3 m. O substrato caracterizou-se como solo compacto, de textura areno-argilosa, com sedimento superficial fino, lodoso e com odor anóxico característico de ambientes salinos temporariamente inundáveis (Figura 1).

Para a caracterização da estrutura biológica, os macroinvertebrados foram amostrados utilizando-se uma rede do tipo Surber (área de 0,09 m²; malha de 250 µm) seguindo as diretrizes da APHA (2023). Os organismos foram fixados em etanol 70%, triados sob lupa estereoscópica e identificados até o nível de família utilizando o compêndio de Hamada et al. (2018). Paralelamente, foram quantificados *in situ* os seguintes parâmetros físico-químicos da água: potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L) e condutividade elétrica (mS/cm). As medições foram realizadas empregando-se uma sonda multiparamétrica digital previamente calibrada conforme as especificações do fabricante.

Para avaliar a inter-relação entre as variáveis físico-químicas e a abundância dos táxons, os dados ambientais foram inicialmente transformados em log(x+1) e, devido às diferenças nas escalas de medição, foram padronizados via escore-Z (Z-score). Posteriormente, aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) baseada em uma matriz de correlação para determinar o percentual de variância explicada no sistema. As análises estatísticas foram executadas no ambiente computacional R (versão 4.3.2), utilizando as funções do pacote ecológico vegan (Oksanen et al., 2022) e os gráficos gerados através do pacote ggplot2 (Wickham, 2016).



Figura 1. Localização geográfica da Laguna Chaco Lodge na zona de transição entre os departamentos de Presidente Hayes e Boquerón (Chaco Paraguaio), indicando a área de amostragem preliminar da macrofauna e dos parâmetros físico-químicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização limnológica da Laguna Chaco Lodge revelou um ambiente aquático sob forte estresse químico, evidenciado por um pH médio de 8,17 (levemente alcalino), temperatura da água de 22,45 °C e oxigênio dissolvido com média de 6,21 mg/L. O fator de maior destaque ambiental foi a condutividade elétrica, que atingiu uma média extrema de 18,47 mS/cm, confirmando o estado hipersalino e restritivo do sistema. Ambientes com estas características limnológicas extremas impõem severas barreiras fisiológicas à biota aquática, selecionando organismos com estratégias adaptativas específicas para a osmorregulação, conforme discutido por Williams (2006) para corpos d'água temporários e salinos.

No total, foram contabilizados 831 macroinvertebrados distribuídos em dez famílias (Tabela 1). A estrutura quantitativa da comunidade revelou uma drástica perda de equitabilidade, caracterizada pela forte dominância da ordem Hemiptera, que perfez a maior parte da abundância total. Esse padrão de dominância por poucos táxons abundantes é típico de ecossistemas aquáticos submetidos a estressores severos ou flutuações físicas marcantes (Heckman, 1998; Scheibler & Ciocco, 2013).

Tabela 1: Estrutura quantitativa da comunidade de macroinvertebrados na Laguna Chaco Lodge.

Ordem / Classe	Família	Abundância Absoluta	Abundância Relativa (%)
Hemiptera	Corixidae	608	73,16
	Notonectidae	17	2,05
Diptera	Chironomidae	115	13,84
	Ceratopogonidae	61	7,34
Coleoptera	Hydrophilidae	17	2,05
	Noteridae	3	0,36
	Staphylinidae	2	0,24
	Elmidae	1	0,12
	Heteroceridae	1	0,12
Mollusca	Ampullariidae	6	0,72
TOTAL		831	100,00

A família Corixidae (Hemiptera) foi o táxon mais abundante no ecossistema, registrando 608 indivíduos, o que representou 73,16% da abundância relativa total (Tabela 1). A expressiva dominância de Corixidae na Laguna Chaco Lodge corrobora as observações ecológicas de Contreras et al. (2001), que apontam a alta capacidade de colonização e a tolerância ecológica desses hemípteros em ambientes lênticos naturalmente estressados ou hipersalinos. Sendo organismos que realizam respiração aérea através de uma bolha de ar física (plastron), os corixídeos são menos dependentes das flutuações de oxigênio dissolvido na água e demonstram grande plasticidade osmorregulatória frente à elevada condutividade elétrica observada (Williams, 2006) (Figura 2). Em menor proporção dentro da mesma ordem, a família Notonectidae registrou 17 indivíduos (2,05%), atuando como predadores móveis na coluna d'água.



Figura 2. Exemplar da família Corixidae (Hemiptera), táxon que apresentou a maior dominância numérica (73,16% da abundância relativa total) na Laguna Chaco Lodge, Chaco Paraguaio.

A ordem Diptera constituiu o segundo grupo mais representativo, impulsionada principalmente pela família Chironomidae, com 115 indivíduos (13,84% da abundância relativa), seguida por Ceratopogonidae, com 61 indivíduos (7,34%). De acordo com os critérios taxonômicos e ecológicos estabelecidos por Merritt et al. (2008) e Hamada et al. (2018), as larvas de Chironomidae (conforme morfologia geral observada na entomofauna local) são componentes fundamentais do benthos e da comunidade associada a macrófitas em águas interiores. A expressiva participação de quironomídeos e ceratopogonídeos está associada à presença de hemoglobina em várias espécies de Chironominae, permitindo a sobrevivência em microhabitats com déficits temporários de oxigênio no sedimento, além de sua conhecida resiliência a distúrbios químicos e flutuações osmóticas (Wetzel, 2001).



Figura 3: Larva da família Chironomidae (Ordem Diptera), segundo táxon mais abundante (13,84% da abundância relativa total) registrado na comunidade de macroinvertebrados da Laguna Chaco Lodge, Chaco Paraguaio.

Por outro lado, a ordem Coleoptera apresentou a maior riqueza de famílias (cinco no total), embora com baixas abundâncias absolutas. Foram registrados Hydrophilidae (17 indivíduos; 2,05%; Figura 2), Noteridae (3 indivíduos; 0,36%), Staphylinidae (2 indivíduos; 0,24%), Elmidae (1 indivíduo; 0,12%) e Heteroceridae (1 indivíduo; 0,12%). A alta diversidade de famílias de coleópteros, mesmo em densidades reduzidas, reflete a heterogeneidade ambiental e a compartimentalização da laguna, onde formas adultas e larvais utilizam diferentes recursos nas margens vegetadas e na interface sedimento-água (Merritt et al., 2008). Contudo, a baixa representatividade numérica de famílias como Elmidae sugere restrições ambientais locais, dado que este grupo é frequentemente associado a águas com maior oxigenação e menor carga salina.

Finalmente, o filo Mollusca foi representado unicamente pela família Ampullariidae, com 6 indivíduos (0,72% da abundância relativa). A baixa densidade de gastrópodes pode estar atrelada aos limites osmóticos impostos pela salinidade e pela dinâmica hidrológica da Laguna Chaco Lodge, que restringe o estabelecimento de populações mais robustas de moluscos, os quais dependem de condições de estabilidade química para a manutenção de suas conchas e balanço iônico (Wetzel, 2001).

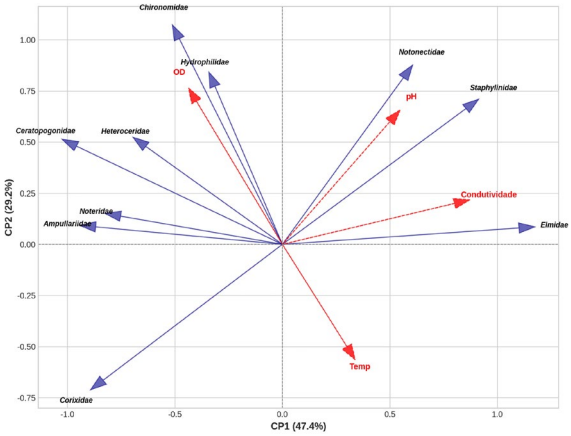


Figura 4: Gráfico de ordenação multivariada (Biplot da Análise de Componentes Principais - PCA) demonstrando a relação entre a abundância das famílias de macroinvertebrados aquáticos e as variáveis físico-químicas da água na Laguna Chaco Lodge, Chaco Paraguaio, em agosto de 2025.

O ordenamento multivariado gerado pela PCA (Figura 4) demonstrou a distribuição e a contribuição relativa das dez famílias identificadas no sistema. Os resultados evidenciaram uma marcante assimetria numérica da comunidade, caracterizada pela dominância de táxons euritópicos tolerantes ao estresse osmótico. Esse padrão foi associado aos principais eixos de ordenação, os quais sintetizam 76,6% da variância total observada, indicando forte influência dos gradientes físico-químicos locais sobre a estrutura da comunidade bentônica, em consonância com os pressupostos ecológicos descritos por Cajo ter

Braak (1986) para análises multivariadas baseadas em gradientes ambientais.

CONCLUSÃO

A análise integrada dos parâmetros limnológicos e da estrutura da comunidade de macroinvertebrados na Laguna Chaco Lodge sugere que as condições físicas e químicas do meio podem exercer uma filtragem ecológica rigorosa sobre a colonização biótica. O sistema caracterizou-se por um estresse químico acentuado, no qual a elevada condutividade elétrica (18,47 mS/cm) desponta como um provável gradiente ambiental restritivo, atuando possivelmente na limitação de táxons sensíveis e influenciando a organização da macrofauna local.

Como reflexo dessa potencial restrição ambiental, a comunidade tendeu a manifestar uma simplificação estrutural e baixa equitabilidade, caracterizada por uma forte assimetria de abundância. O ecossistema mostrou-se amplamente dominado pela família Corixidae (73,16%) e, secundariamente, por Chironomidae (13,84%). Essa configuração quantitativa sinaliza o possível sucesso ecológico e a plasticidade osmorregulatória de táxons euritécios, cujas adaptações morfofisiológicas parecem favorecer a sobrevivência estável frente a matrizes hídricas hipersalinas. Por outro lado, embora a ordem Coleoptera tenha apresentado a maior riqueza em nível de família, as reduções observadas em suas densidades absolutas indicam uma tendência de supressão de populações robustas pelas barreiras osmóticas locais, o que possivelmente restringe esses organismos a microhabitats marginais específicos.

Por fim, a modelagem estatística por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) mostrou-se útil na ordenação preliminar dos dados ecológicos. O ordenamento evidenciou indícios de que a variância total do sistema seja governada pela discrepância numérica entre as famílias dominantes tolerantes e os componentes raros da comunidade. Em síntese, a estrutura da comunidade de macroinvertebrados na Laguna Chaco Lodge sinaliza uma tendência de resposta ao estresse químico, cuja dinâmica de dominância aponta para o provável limiar adaptativo da fauna aquática em ambientes lênticos restritivos.

Embora o presente estudo apresenta limitações evidentes devido ao seu caráter temporal e amostral restrito a uma única coleta, os resultados obtidos são valiosos por apontarem tendências claras sobre a influência dos fatores físico-químicos na seleção da biota. Diante da vulnerabilidade que caracteriza o Chaco, a identificação desses padrões preliminares contribui para as discussões sobre zonas úmidas continentais sob as diretrizes da Convenção de Ramsar. Portanto, este trabalho não busca estabelecer conclusões definitivas, mas cumpre o papel essencial de servir como uma base científica inicial e linha de referência para futuros programas de monitoramento de longo prazo, fornecendo subsídios que possam auxiliar na previsão das respostas bióticas frente às flutuações climáticas e alterações antrópicas nesse bioma.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi elaborado com o apoio da WWF Netherlands no âmbito do Projeto Power of Voices PY WWF NL, implementado pela WWF-Paraguay. Finalmente, estende-se um sincero reconhecimento ao Senhor Norbert Epp, proprietário do Chaco Lodge, por conceder as facilidades na área de estudo.

REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2023.

CONTRERAS, G. *et al.* Aspectos ecológicos de los Corixidae (Hemiptera, Heteroptera) en el estanque piscícola "GL" de Soyaniquilpan de Juárez, Estado de México. **Hidrobiológica**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2001.

HAMADA, N. *et al.* **Keys to Neotropical Hexapoda: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates**. 4. ed. Vol. III. San Diego: Academic Press, Elsevier, 2018.

HECKMAN, C. W. The seasonal succession of biotic communities in wetlands of the tropical wet-and-dry climatic zone: Hydrobiological studies in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Internationale Revue für gesamte Hydrobiologie und Hydrographie**, v. 83, n. 5, p. 365-584, 1998.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2012.

MERELES, F. Una aproximación al conhecimento de las formaciones vegetales del Chaco Boreal, Paraguay. **Rojasiana**, v. 6, n. 2, p. 5-48, 2005.

MERRITT, R. W. *et al.* **An Introduction to the Aquatic Insects of North America**. 4. ed. Dubuque: Kendall Hunt Publishing Company, 2008.

OKSANEN, J. *et al.* **vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.6-4. 2022. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=vegan. Acesso em: 27 mai. 2026.

SCHEIBLER, E.; CIOCCO, N. Diversidad de insectos acuáticos y otros macroinvertebrados asociados en un humedal de zonas áridas (Provincia de Mendoza, Argentina). **Revista de la Sociedad Entomológica Argentina**, v. 72, n. 1-2, p. 53-64, 2013.

TER BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v. 67, n. 5, p. 1167-1179, 1986.

WETZEL, R. G. **Limnology: Lake and River Ecosystems**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2001.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016.

WILLIAMS, W. D. Life in temporary, saline and destructive waters. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 29, n. 2, p. 742-751, 2006.