**FATORES QUE INFLUENCIAM O DECLÍNIO DA RECARGA DE ÁGUA EM ZONAS ÚMIDAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Rossember Saldaña Escorcia1,2, 3 [](https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-5290-7072)

1*Grupo de Investigación en Gestión Ambiental y Territorios Sostenibles*

2 *Grupo de Investigación en Estudios Sanitarios y Ambientales*

3 Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitarias, Universidad Popular del Cesar seccional Aguachica, Carrera 40 # 1Norte-58, Aguachica 25010, Colombia

**Resumo**— As zonas úmidas são ecossistemas que fornecem múltiplos serviços ambientais à sociedade; entretanto, vários fatores como as variações climáticas, a expansão da fronteira agrícola e o crescimento populacional alteram o status ecológico e diminuem os serviços, incluindo a recarga de água, que desempenha um papel importante no ciclo hidrológico, pois mantém o equilíbrio do ecossistema. Este artigo apresenta uma análise bibliométrica para analisar as tendências dos fatores que afetam a recarga de água em áreas úmidas, com base em 150 artigos citados no banco de dados Scopus® entre 2000 e 2021. Para a análise, o software SciMAT foi utilizado para analisar a evolução dos conceitos através de diagramas estratégicos relacionados aos autores, instituições, periódicos, países e principais publicações; e o software VOSviewer foi utilizado para identificar e visualizar a relação entre os principais conceitos de pesquisa. Os resultados mostram um aumento nos estudos relacionados às zonas úmidas e aos fatores que alteram os serviços dos ecossistemas, como a recarga de água, no interesse da gestão sustentável dos ecossistemas e da governança dos recursos naturais. É também evidente que os países com maior produção são os EUA e a China.

**Palavras-chave**—Atividades antropogênicas, análise bibliométrica, zonas úmidas, mapeamento, recursos hídricos

**Abstract**—Wetlands are ecosystems that provide multiple environmental services to humanity; however, various factors including climate variations, the expansion of the agricultural frontier and population growth alter the ecological status and diminish services, including water recharge, which plays an important role in the hydrological cycle because it maintains the balance of the ecosystem. This article presents a bibliometric analysis to analyses trends in factors affecting water recharge in wetlands, based on 150 papers cited in the Scopus® database between 2000 and 2021. For the analysis, SciMAT software was used to analyses the evolution of concepts through strategic diagrams related to authors, institutions, journals, countries, and relevant publications; and VOSviewer software was used to identify and visualize the relationship between key research concepts. The results show an increase in studies related to wetlands and the factors that alter ecosystem services such as water recharge, in the interest of sustainable ecosystem management and natural resource governance. It is also evident that the countries with the highest production are the USA and China.

**Keywords**— Anthropic activities, bibliometric analysis, wetlands, mapping, water resources.

**Introdução**

Na atualidade, há uma crescente consciência da existência de uma crise em relação aos recursos naturais, escassez de água para consumo humano e irrigação, entre outros, devido a mudanças nos regimes de precipitação e escoamento, degradação do solo e perda de florestas, que são alguns dos problemas que têm gerado uma crise de proporções globais [1]; a crise tem sido causada por mudanças nos regimes de precipitação e escoamento superficial, degradação do solo e perda de florestas, que são alguns dos problemas que têm gerado uma crise de proporções globais.

As zonas úmidas se destacam como ecossistemas complexos de alto valor e importância ecológica, pois possuem grande diversidade biológica [2], porque eles estão localizados em zonas de transição, ou seja, entre áreas aquáticas e terrestres [3]. Estes incluem uma ampla gama de ecossistemas, incluindo pântanos, pântanos e turfeiras que são definidos por sua umidade, vegetação e solos adaptados à influência da hidrologia [4], [5]. Tais ecossistemas cumprem funções ecológicas vitais tais como regulação climática, abastecimento de água, controle de inundações, proteção da biodiversidade, manutenção do equilíbrio de carbono e nutrientes, [6], [7] bem como o desenvolvimento socioeconômico [5].

As terras úmidas foram reconhecidas em 1971 pela Convenção Ramsar como subconjuntos de reservas transitórias de importância universa [8]. Ser objeto de estudo para a determinação dos serviços ecossistêmicos prestados pelos ecossistemas [9], diversidade biológica [10], recursos hídricos [11], sequestro e neutralização de carbono [12], entre outros, que buscam contribuir para o conhecimento na gestão estratégica, favorecendo a preservação dessas áreas e o bem-estar da humanidade.

Apesar da importância ecológica das áreas úmidas, seus serviços ambientais têm sido afetados pela pressão exercida por atividades antropogênicas como desmatamento, atividades agrícolas e pecuárias, despejo de resíduos sólidos e líquidos, processos de desenvolvimento urbano; sendo este último um dos mais complexos, já que é um motor de mudança socioambiental que transforma o ecossistema levando à perda de habitat e diminuição da biodiversidade [13], [14].

Este artigo apresenta uma revisão sistemática dos fatores socioambientais que afetam a recarga de água em zonas úmidas, com o objetivo de contribuir para o tema e realizar uma análise da vulnerabilidade dos sistemas de zonas úmidas em nível internacional, levando em conta os elementos que influenciam um maior risco na diminuição da recarga de água, a fragmentação dos habitats, o aumento do número de manchas e a diminuição da biodiversidade.

**Materiais e métodos**

Para a revisão das informações, foi realizada uma busca e identificação de documentos utilizando o banco de dados científico Scopus®, de propriedade da Elsevier BV [36]. Este processo de busca foi realizado em dezembro de 2020 utilizando o seguinte algoritmo de busca: *“wetlands” AND “ecosystem services” OR “environmental services”,* filtrados novamente com palavras-chave tais como: “*water recharge*”, “*anthropic disturbances*”, “*anthropic factors*”, “*hydric resource*” y “*Climate change*”. É importante observar que os critérios para pesquisar as informações foram os seguintes: a) utilizando algoritmos de pesquisa e palavras-chave somente em inglês, b) publicações dentro de uma faixa de não mais de 21 anos (2000 a 2021), e c) diferentes fontes como artigos científicos, resenhas, livros, capítulos de livros, artigos de conferência, artigos curtos, entre outros.

Com os documentos finais extraídos utilizando a metodologia descrita, foi organizado um banco de dados utilizando o programa de software de escritório Microsoft Excel, que incluiu vários fatores como: nomes dos autores, título do documento publicado, ano de publicação, tipo de documento, classe de acesso, afiliação dos autores, revista de publicação, país de publicação e número de citações recebidas. Estas informações foram utilizadas para realizar uma análise descritiva, identificar as instituições e países que estão trabalhando e/ou publicando sobre o assunto, bem como para identificar as publicações mais citadas e os autores com o maior número de publicações.

Na construção dos diagramas estratégicos, que foram divididos em 7 períodos (2000-2002; 2003-2005; 2006-2008; 2009-2011; 2012-2014; 2015-2017 e 2018-2021), foi utilizado o software SciMAT, que permitiu a visualização cronológica da evolução do tema sob uma estrutura longitudinal associada às palavras-chave das publicações através da metodologia proposta por Cobo *et al*. [37]; nas quais as palavras-chave são utilizadas como unidades de pesquisa, a co-ocorrência para obter os diagramas, o índice de equivalência como medida de normalização, os algoritmos centrais simples são escolhidos para o agrupamento dos eixos temáticos, o h-Index como medida de qualidade, o índice de inclusão como medida de evolução e o índice de equivalência como medida de sobreposição.

Este diagrama tem dois eixos que estão divididos em quatro quadrantes diferentes: no quadrante superior direito são desenvolvidos e temas fundamentais para o campo científico; no quadrante superior esquerdo, os temas são periféricos, caracterizados por serem internamente especializados, mas isolados dos outros temas relevantes. O quadrante inferior esquerdo mostra tópicos emergentes e subdesenvolvidos no campo e, finalmente, o quadrante inferior direito tem os tópicos de importância no campo mas ainda são básicos e transversais com desenvolvimentos precários [38], [39].

Por outro lado, o software VOSviewer desenvolvido por Ludo Waltman e Nees Jan van Eck do Centro de Estudos de Ciência e Tecnologia da Universidade de Leiden (CWTS) foi usado para construir a rede bibliométrica usando a técnica VOS que emprega o índice de proximidade como medida de similaridade [40], [41]; isto mostra clusters com diferentes cores entrelaçando eixos temáticos com linhas indicando quais estão relacionados.

**Resultados** **e discussões**

Com o resultado obtido da pesquisa no banco de dados Scopus®, que consistiu em 2.813 publicações divididas em diferentes tipos de documentos, e uma vez realizado o segundo filtro, aqueles que não estavam relacionados com o objeto de estudo proposto foram excluídos. O resultado incluiu 150 publicações, que foram divididas em 115 (76,67%) artigos originais, 24 (16%) comunicações breves, 4 (2,67%) resenhas, 6 (4%) capítulos de livros e 1 (0,66%) artigo de conferência.

Os autores dos documentos publicados obtidos para a análise provêm de 36 países, onde as publicações foram feitas principalmente em revistas de acesso privado, correspondendo a um total de 127 (84,67%), enquanto o acesso aberto foi de 23 (15,33%); nas últimas décadas os pântanos tomaram um maior apogeu no campo da pesquisa por autores como Li, Y., que foi o autor com a maior publicação no assunto seguido por Price, J.S. e Chen, Y. Os países com as maiores publicações estão listados na Tabela 1, que mostra que os Estados Unidos ficaram em primeiro lugar na lista dos três primeiros países com o maior número de publicações no campo. Os países com mais publicações estão listados na Tabela 1, que mostra que os Estados Unidos ficaram em primeiro lugar com 44 publicações e 29,33% da produção científica mundial sobre o assunto, seguidos pela China com 29, Austrália com 17, Canadá com 12 e o Reino Unido com 8 publicações. Finalmente, a Índia, Holanda, Espanha, Bélgica e Brasil respondem por 16,67% das publicações analisadas.

**Tabela 1.** Os dez países mais produtivos na área do assunto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SCR | País | TP |
| 1st | Estados Unidos | 44 |
| 2nd | China | 29 |
| 3rd | Austrália | 17 |
| 4th | Canadá | 12 |
| 5th | Reino Unido | 8 |
| 6th | Índia | 7 |
| 7th | Países Baixos | 5 |
| 8th | Espanha | 5 |
| 9th | Bélgica | 4 |
| 10th | Brasil | 4 |
| SCR: Standard Competition Ranking; TP: número total de documentos. | | |

Fonte: Elaboração própria baseada em dados coletados no Scopus® (2020).

A tabela 2 mostra as dez principais revistas científicas que dominam as publicações relacionadas a fatores que alteram a recarga de água em áreas úmidas. A principal revista com 15 (10 %) artigos publicados foi no *Journal of Hydrology* enquanto 10 (6,67 %) foram publicados no *Wetlands*, 6 (4 %) no *Hydrological Processes* e 5 (3,33 %) no *Environmental Earth Sciences*.

A tabela 3 mostra as instituições com maior produção sobre o assunto; a China é a primeira no ranking com cinco das dez principais instituições com 24 documentos, seguida pelos Estados Unidos com três instituições e 14 documentos publicados, enquanto a Austrália e o Canadá têm uma instituição, a primeira com 8 e a segunda com 4 publicações sobre o assunto de interesse.

**Tabela 2.** As dez revistas científicas mais produtivas na área temática

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SCR | Revista | TP | CS2020 | Q | H | País |
| 1 | Journal of Hydrology | 15 | 1.68 | 1 | 226 | Países Baixos |
| 2 | Wetlands | 10 | 0.7 | 1 | 87 | Países Baixos |
| 3 | Hydrological Processes | 6 | 1.22 | 1 | 161 | Reino Unido |
| 4 | Environmental Earth Sciences | 5 | 0.64 | 2 | 118 | Alemanha |
| 5 | Science of the Total Environment | 4 | 1.8 | 1 | 244 | Países Baixos |
| 6 | Ecohydrology | 3 | 0.98 | 1 | 54 | Reino Unido |
| 6 | Water Science and Technology | 3 | 0.41 | 3 | 137 | Suíça |
| 7 | Water (Switzerland) | 2 | 0.72 | 1 | 55 | Suíça |
| 7 | Hydrological Sciences Journal | 2 | 0.95 | 1 | 98 | Reino Unido |
| 7 | Ecological Engineering | 2 | 1.1 | 1 | 128 | Países Baixos |
| SCR: Standard Competition Ranking; TP: total de documentos; CS: Cite Score 2020; Q: Cuartil, H H-Index. | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria baseada em dados coletados no SciMAT

**Tabela 3.** As dez instituições mais produtivas na área temática

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| SCR | Instituição | TP | País |
| 1st | Chinese Academy of Sciences | 9 | China |
| 2nd | CSIRO Land and Water | 8 | Australia |
| 3rd | United States Geological Survey | 6 | Estados Unidos |
| 4th | Ministry of Education China | 5 | China |
| 5th | Jilin University | 4 | China |
| 5th | University of Waterloo | 4 | Canadá |
| 5th | University of Nebraska–Lincoln | 4 | Estados Unidos |
| 6th | Duke University | 3 | Estados Unidos |
| 6th | Northeast Normal University | 3 | China |
| 6th | University of Chinese Academy of Sciences | 3 | China |
| SCR: *Standard Competition Ranking*; TP: número total de documentos. | | | |

Fonte: Elaboração própria baseada em dados coletados no Scopus® (2020).

O número total de citações das publicações foi de 2.032 e uma média de 13,55 citações. Há três artigos com mais de 100 citações, sendo o artigo mais citado “*Water observations from space: Mapping surface water from 25 years of Landsat imagery across Australia* [42]” com 193 citações publicadas em 2016 na revista *Remote Sensing of Environment* visualizada na Tabela 4. Também, seis dos dez artigos mais citados são publicados no *Journal of Hydrology*, *Ecological Engineering* y *Wetlands* que estão entre os dez primeiros da Tabela 2.

No estudo de Mueller *et al*. [42], eles mostram como a *Water Observation from Space* (WOFS) fornece informações sobre o comportamento da água superficial em planícies aluviais através da detecção de corpos d'água por meio de algoritmos e regressões logísticas que podem ser usados para estudar a extensão de áreas úmidas e a influência de processos antropogênicos. Como conseqüência de tais processos, as áreas úmidas diminuíram em todo o mundo, levando à busca de substitutos para manter o equilíbrio ecológico entre os ecossistemas. portanto, Natuhara [43] indica que o cultivo de arroz pode ser um substituto ideal para as áreas úmidas naturais, já que fornece serviços de ecossistema como recarga de águas subterrâneas, controle de inundações, mitigação da mudança climática, apoio à biodiversidade, entre outros.

O estudo de Dogramaci et al.[44], analisou a evolução da precipitação para as águas subterrâneas durante três anos a fim de estabelecer os padrões de recarga de água dos aquíferos na área através de isótopos estáveis de água e se a precipitação e outros fatores a estão alterando. Da mesma forma, Liu & Yamanaka [45], utilizaram isótopos estáveis para analisar a relação da recarga das águas subterrâneas com o rio na área, e estabeleceram que fatores como topografia e ambientes hidrogeológicos controlam a recarga; onde a topografia pode ser influenciada por atividades antropogênicas alterando a capacidade de recarga dos aquíferos.

**Tabela 4.** documentos mais citados relacionados com o assunto

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| SCR | Autores - ano | Titulo | Revista | Citas |
| 1st | [42] | *Water observations from space: Mapping surface water from 25 years of Landsat imagery across Australia* | *Remote Sensing of Environment* | 193 |
| 2nd | [43] | *Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan* | *Ecological Engineering* | 109 |
| 3rd | [44] | *Stable isotope and hydrochemical evolution of groundwater in the semi-arid Hamersley Basin of subtropical northwest Australia* | *Journal of Hydrology* | 102 |
| 4th | [47] | *Approaches to valuing the hidden hydrological services of wetland ecosystems* | *Ecological Economics* | 73 |
| 5th | [48] | *Linking ecosystem processes with wetland management goals: Charting a course for a sustainable future* | *Wetlands* | 65 |
| 6th | [45] | *Tracing groundwater recharge sources in a mountain-plain transitional area using stable isotopes and hydrochemistry* | *Journal of Hydrology* | 56 |
| 7th | [46] | *Structures and hydrologic function of soil landscapes with kettle holes using an integrated hydropedological approach* | *Journal of Hydrology* | 50 |
| 8th | [51] | *Ground water recharge and discharge in the central everglades* | *Ground Water* | 49 |
| 9th | [49] | *Dynamic emergy accounting of water and carbon ecosystem services: A model to simulate the impacts of land-use change* | *Ecological Modelling* | 47 |
| 10th | [50] | *Quantifying time-varying ground-water discharge and recharge in wetlands of the northern Florida Everglades* | *Wetlands* | 45 |
| SCR: *Standard Competition Ranking* | | | | |

Fonte: Elaboração própria baseada em dados coletados no SciMAT

Por outro lado, Gerke et al. [46], consideraram que as estruturas hidráulicas podem ser conhecidas desde que haja conhecimento do uso do solo, bem como da posição (topografia, geologia, entre outros) do relevo estudado, o que dá uma melhor compreensão dos sistemas de infiltração e das implicações que eles podem ter na recarga das águas subterrâneas.

Os recursos hídricos estão sendo superexplorados e poluídos, o que coloca em risco a gestão sustentável dos recursos hídricos, limitando a recarga das águas subterrâneas em diferentes bacias hidrográficas. Acharya [47] investigou o papel dos serviços hidrológicos de zonas úmidas e como eles têm um valor além do uso direto (valor econômico através da agricultura, pesca e silvicultura), mostrando que os benefícios indiretos desempenham um papel fundamental na recarga das águas subterrâneas dentro dessas áreas e que é vital estabelecer políticas de gerenciamento e uso que mitiguem os impactos antropogênicos e permitam o fluxo normal dos serviços ecossistêmicos.

Ao falar de políticas de manejo de zonas úmidas, os processos dinâmicos dos ecossistemas de zonas úmidas não foram totalmente levados em conta devido a técnicas de manejo inadequadas que têm sido utilizadas por várias décadas, pois não levam em conta principalmente a influência do uso do solo, bem como a prestação de outros serviços ecossistêmicos, como a recarga de água, que é afetada por mudanças no uso do solo. Isto resultou em uma gestão ineficiente, como mencionado por Euliss et al. [48] em seu estudo, pois eles se basearam em um entendimento incompleto dos processos ecológicos das áreas úmidas e não levaram em conta as atividades sócio-econômicas adjacentes, resultando em uma perda contínua das áreas e dos serviços por eles prestados.

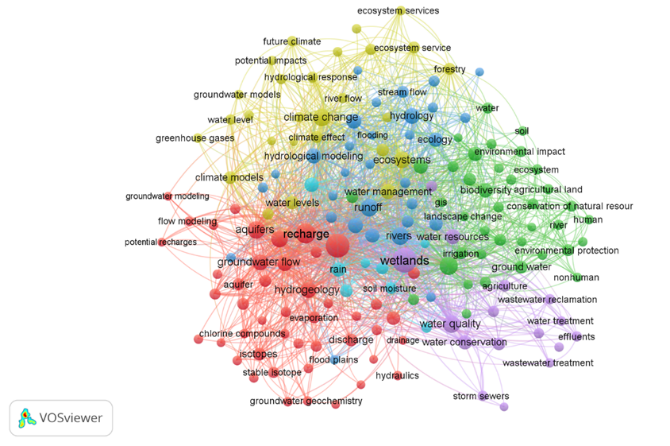
Da mesma forma, Watanabe & Ortega [49] por meio de um modelo simulou o impacto da mudança do uso da terra e da remoção da cobertura vegetal na prestação de serviços ecossistêmicos prestados pelo maior sistema de zonas úmidas do mundo, o Pantanal. Os resultados mostraram como diferentes cenários de atividades antropogênicas levam a um mau desempenho na produção de serviços ecossistêmicos, piorando ao levar em conta os efeitos da mudança climática e outros problemas ambientais nas áreas circunvizinhas. Finalmente, os estudos de Choi & Harvey [50] e Harvey et al. [51] enfatizaram a estimativa da descarga e recarga de águas subterrâneas de um pântano (Everglades) através de simulações hidrogeológicas e modelos combinados (água e equilíbrio de massa de soluto) que mostraram que esta relação é ciclicamente influenciada pela chuva e pelos volumes de água contidos na superfície.

**Análise longitudinal do tema**

Com o objetivo de analisar a evolução dos eixos temáticos da literatura relacionada aos fatores que afetam a recarga de água em zonas úmidas, as palavras-chave e sua evolução foram inicialmente analisadas cronologicamente, estabelecendo 7 períodos (2000-2002; 2003-2005; 2006-2008; 2009-2011; 2012-2014; 2015-2017 e 2018-2021). Para os blocos, foram estabelecidas amplitudes de 3 anos, enquanto o último período compreendia 4 anos.

De acordo com os resultados obtidos utilizando a metodologia de Price [52], os primeiros quatro períodos mostram um aumento no número de palavras-chave; o período (2009-2011) com o maior número de palavras-chave (353); entretanto, a partir deste período houve uma diminuição no número de palavras. O índice de estabilidade permaneceu entre 0,33 e 0,63, mantendo uma variabilidade (0,33, 0,38, 0,62, 0,61, 0,63 e 0,6 respectivamente) entre os períodos, mostrando a consolidação do vocabulário na comunidade científica no momento da descrição das publicações.

Uma vez analisada a evolução dos eixos temáticos, ela está relacionada ao mapa de co-ocorrência (Fig. 1) mostrando que existem cinco (5) grupos de pesquisa ligados aos descritores-chave: “*Wetlands”, “recharge”, “water supply”*, *“climate change”* y *“hydrology”*, sendo os tópicos com maior exploração. Além disso, os agrupamentos estão relacionados a fatores que afetam a recarga de água, tais como regimes de precipitação, escoamento, serviços ecossistêmicos, agricultura, gestão da água e uso da terra.

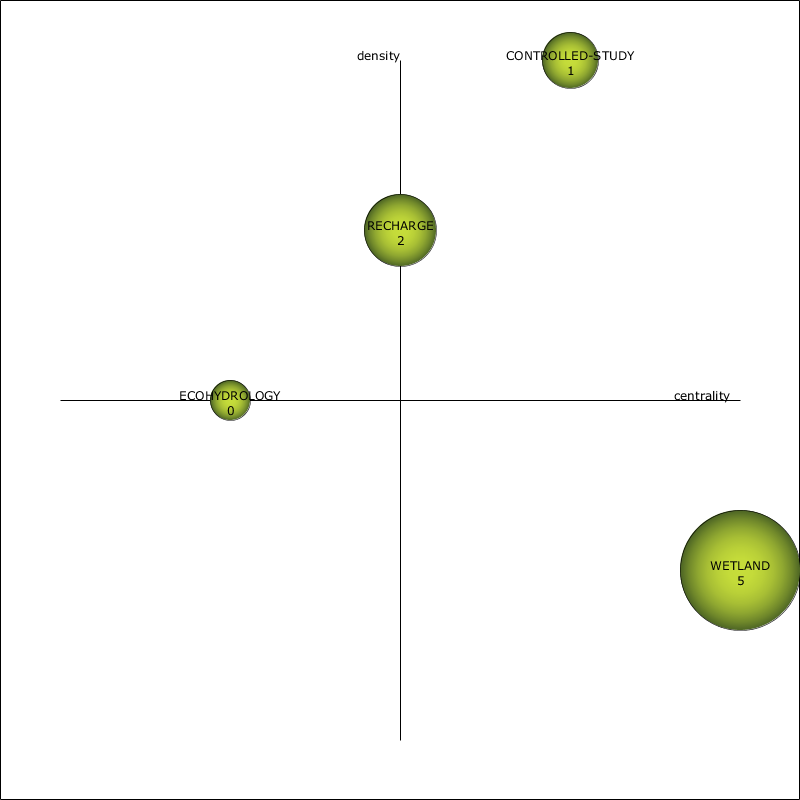
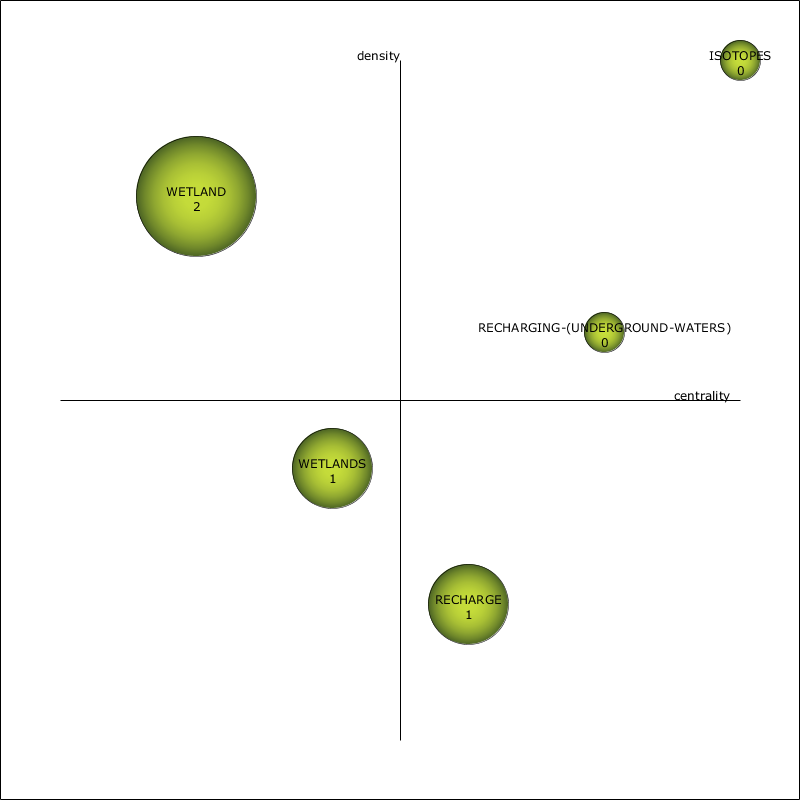


**Figura 1.** Mapa de co-ocurrencia (redes)

**Fuente:** elaboração própria baseada em VOSviewer

**Análise do tema por meio de diagramas estratégicos**

Para o primeiro período analisado (2000-2002), os tópicos de pesquisa foram básicos e transversais, focalizando as zonas úmidas enquanto aprofundava a importância da recarga de água (Fig. 2a); para o segundo período (2003-2005), as zonas úmidas foram altamente desenvolvidas no campo ligadas a questões relacionadas com a influência e conectividade das bacias hidrográficas na recarga de água, como mostrado na Figura 2b.

a

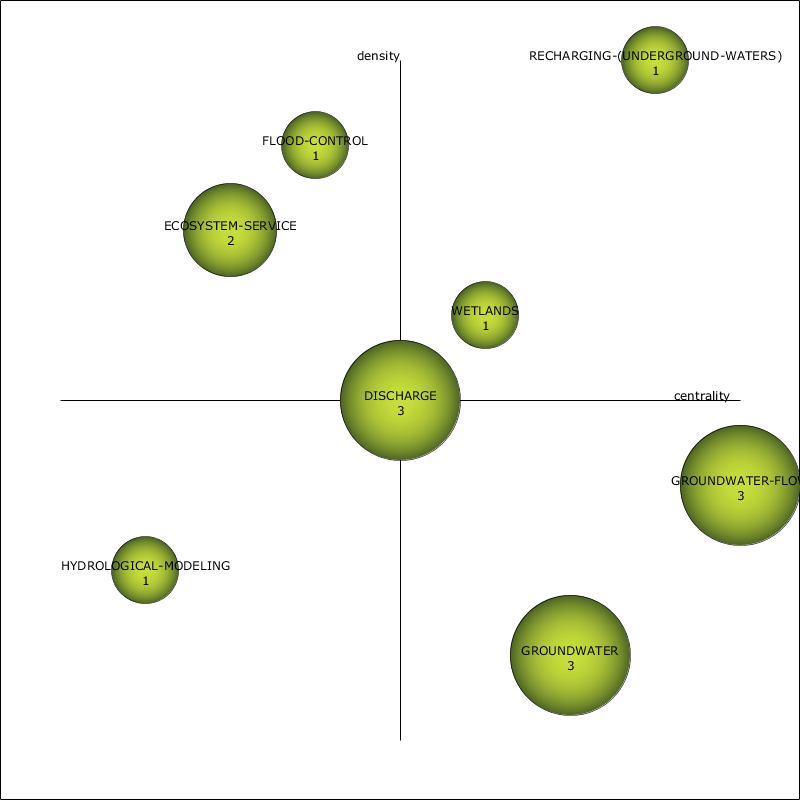
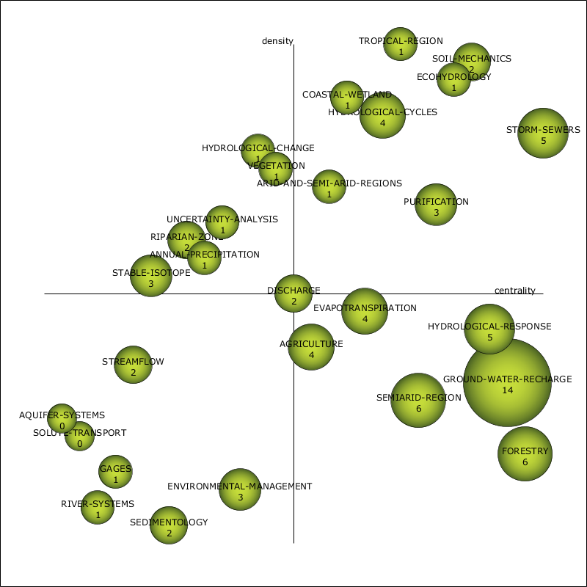
b

**Figura 2.** Diagramas estratégicos

**Fuente:** elaboração própria baseada em SciMAT

Para o terceiro período (2006-2008), as zonas úmidas e a recarga de água foram os principais tópicos de pesquisa; isto forneceu a descrição dos serviços ecossistêmicos que eles fornecem enquadrados no desenvolvimento de técnicas de modelagem hidrológica para a prevenção e controle de inundações através destes ecossistemas (Fig. 3a).

Durante o quarto período (2009-2011), os temas mais importantes foram a relação entre o ciclo hidrológico e os processos do ecossistema aquático e terrestre, sendo os temas condutores para a construção do campo científico como mostrado na Figura 3b. Por outro lado, houve temas emergentes, como os sistemas de aquíferos ligados à recarga das águas subterrâneas dos rios e o estudo dos fatores que afetam a recarga, incluindo a agricultura, a vegetação e as mudanças no regime de precipitação.

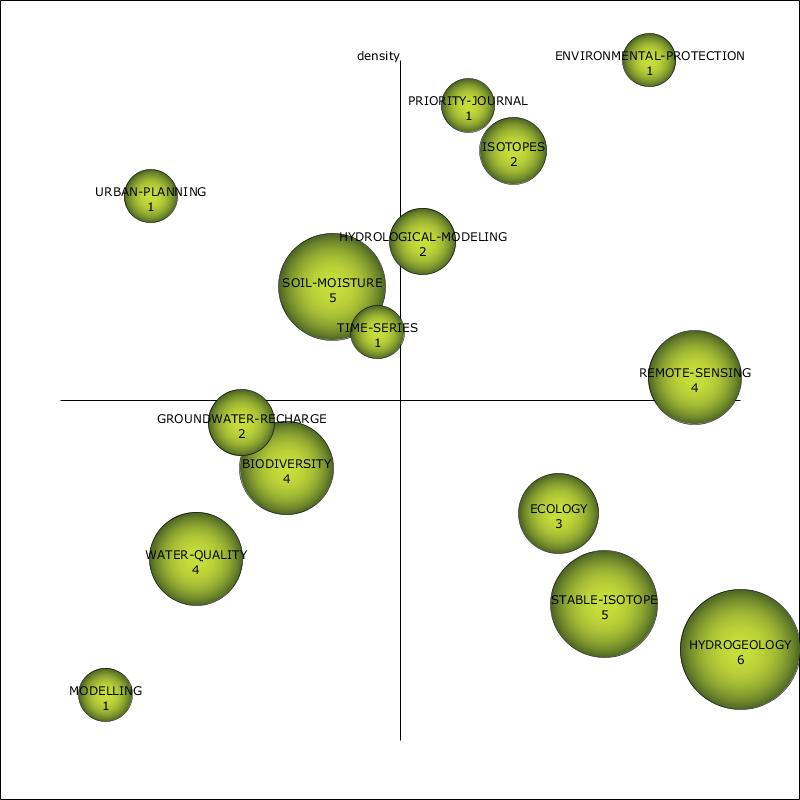
a

b

**Figura 3.** Diagramas estratégicos

**Fuente:** elaboração própria baseada em SciMAT

Os temas relevantes do quinto período (2012-2014), com suas redes temáticas associadas, são: “*Ground-water recharge*” (Recarga da água subterrânea), como no período anterior, continua a ter um foco importante no campo científico; no entanto, tem pouco desenvolvimento. A “*Rain*” (chuva), um dos fatores mais importantes na variação da recarga de água em zonas úmidas, está ligada ao desenvolvimento de modelos hidrológicos utilizados no monitoramento de inundações em diferentes bacias hidrográficas. Além disso, foram iniciados estudos sobre a relação entre a condutividade do fluxo e do fluxo e o efeito sobre a química da água (Fig. 4a).

a

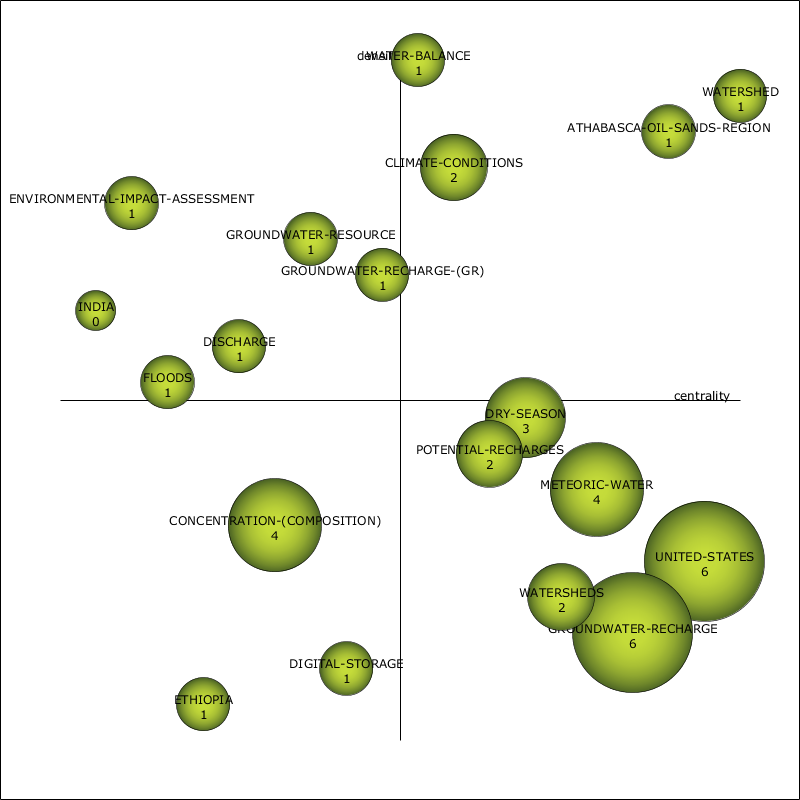
b

**Figura 4.** Diagramas estratégicos

**Fuente:** elaboração própria baseada em SciMAT

Por outro lado, o tema da teledetecção foi estabelecido como um tema condutor no campo científico para o sexto período (2015-2017), implementado em conjunto com a modelagem hidrológica para a proteção ambiental. Da mesma forma, eles se concentraram em questões como o planejamento urbano e sua influência na fragmentação dos ecossistemas e, portanto, na perda da biodiversidade (Fig. 4b).

Finalmente, no período (2018-2021), a recarga das águas subterrâneas continua sendo uma questão-chave a ser desenvolvida, assim como o potencial de recarga dos sistemas de zonas úmidas e os impactos das estações secas nos ecossistemas de zonas úmidas. Da mesma forma, durante este período (Fig. 5), foi dada ênfase à influência da mudança climática nas áreas úmidas e ao estabelecimento de regulamentos para reduzir o impacto ambiental causado por este fator de vulnerabilidade. Entretanto, a gestão ambiental, a exploração das águas subterrâneas e a qualidade da água nas áreas úmidas são questões que estão sendo exploradas em termos de sua interação com as variáveis climáticas e seu impacto sobre o aquecimento global, o que é um desafio para a gestão adequada em favor da conservação destes ecossistemas.



**Figura 5.** Diagrama estratégico

**Fuente:** elaboração própria baseada em SciMAT

**Base teórica**

Nos últimos anos, as áreas úmidas têm se destacado como ecossistemas complexos com valor ecológico e importância devido à grande parte da biodiversidade que abrigam [2], [15], por estarem localizadas em zonas de transição, ou seja, situadas entre áreas aquáticas e terrestres [3], que possuem vegetação e solos adaptados à influência da água [4].

Estes ecossistemas fornecem múltiplos serviços ambientais à sociedade, incluindo regulação climática, abastecimento de água, amortecimento hidráulico para controle de inundações, proteção da biodiversidade, diversidade da paisagem, sumidouro de carbono [6], [7], [16] e contribuem para a função estratégica do desenvolvimento socioeconômico sustentável na área de influência [5].

**Fatores que afetam a recarga de água internacionalmente**

O monitoramento de áreas úmidas está ligado a mudanças no uso da terra e na cobertura vegetal nos ecossistemas, o que mostra que o status ecológico das áreas úmidas pode ser alterado pelo corte de áreas florestais, grandes áreas agrícolas e fazendas de gado [16], [17].

Portanto, as ações antropogênicas causam pressões sobre as áreas úmidas, incluindo impactos causados pela mudança climática que levam à perda de resiliência, modificando suas funções e estruturas, resultando em uma diminuição dos serviços ecossistêmicos [14], [19]. Eles também sofreram uma dramática degradação e fragmentação, levando a um aumento no número e tamanho de manchas, bem como a diferenças nas estruturas ecológicas, causadas pela diminuição dos corpos d'água [20], [21].

Atualmente, as zonas úmidas ao redor do mundo enfrentam principalmente o fenômeno da "expansão urbana" ou "peri-urbanização" [13], [22] onde o padrão de crescimento populacional está se expandindo em direção às áreas periféricas das cidades, degradando os solos e exercendo pressão sobre espaços naturais frágeis, como as zonas úmidas [23]. Da mesma forma, são desenvolvidas atividades agrícolas e pecuárias que deterioram a cobertura vegetal, que está associada a vários usos do solo devido ao pastoreio intensivo e à remoção de biomassa pelos animais, o que, influencia as características do solo, o que por sua vez modifica as condições da água e a circulação de nutrientes [24], [25].

Em outras palavras, a mudança na cobertura vegetal causada pelas ações antrópicas, os ecossistemas mudam das transições naturais para os sistemas agrícolas, o que altera as funções do solo, pois sua vocação não é levada em conta, excedendo a capacidade de carga [26]; consequentemente, os processos hidrológicos entre a cobertura vegetal e a estrutura do solo são afetados, reduzindo significativamente a infiltração e, portanto, a recarga de água da área [27], [28].

Por outro lado, os sistemas de zonas úmidas estão sendo afetados por processos climáticos devido a períodos alternados de chuvas e intensidade do déficit hídrico, acelerando a perda e mudança das propriedades hídricas do solo e, consequentemente, das características das zonas úmidas [29], [30]. Da mesma forma, a fragilidade dos ecossistemas está associada a períodos de seca, pois eles estão ligados à presença do recurso em uma base perene ou temporária para manter a integridade ecológica e continuar a prestar serviços ambientais [31].

Entretanto, as atividades antropogênicas contribuíram significativamente para o desequilíbrio dos processos ecohidrológicos nas zonas úmidas [32], [33]. Não obstante, a quantidade, distribuição temporal e espacial dos regimes de precipitação não é o único fator decisivo e influente, pois existem cenários em que ela é alterada pela recarga de água relacionada aos padrões de precipitação que afetam diretamente o escoamento e a descarga nos corpos d'água para o pântano [34], [35].

**Conclusões**

A construção da análise bibliométrica e a revisão da literatura sobre os fatores que afetam a recarga de água em áreas úmidas levou à conclusão de que o mapa de co-ocorrência e os diagramas estratégicos mostraram como os eixos temáticos evoluíram em relação às variáveis climáticas, atividades antrópicas e processos ecológicos analisados em vários pontos do campo científico, seja sob a perspectiva de riscos, serviços e metodologias de monitoramento e avaliação de ecossistemas.

Além disso, os fatores com maior impacto na dinâmica da recarga de água em áreas úmidas foram a variabilidade climática que se desenvolveu nas últimas décadas, impulsionada principalmente por atividades antrópicas, sendo um dos motores das mudanças nos ecossistemas devido à expansão da fronteira agrícola e ao crescimento populacional não planejado, apontando para a lacuna de conhecimento na gestão ambiental adequada para a conservação destes ecossistemas.

Finalmente, as áreas úmidas internacionalmente mostram muita vulnerabilidade, diminuindo sua resiliência, bem como os serviços ambientais que prestam. É importante estabelecer diretrizes para o desenvolvimento econômico sustentável das regiões periféricas das zonas úmidas, através do planejamento de políticas inclusivas baseadas em estudos científicos para a proteção ambiental e para alcançar a conservação dos ecossistemas naturais.

**Referências**

[1] D. M. Rodríguez Lugo and P. Pérez Álvarez, “Determinación de la recarga hídrica potencial en la cuenca hidrográfica Guara, de Cuba,” *Aqua-LAC*, vol. 6, no. 2, pp. 58–70, 2014.

[2] T. Betancur, E. Bocanegraq, E. Custodio, M. Manzano, and G. Cardoso da Silva, “Estado y factores de cambio de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en humedales relacionados con aguas sunterráneas en Iberoamérica y España,” *Biota Colomb.*, vol. 16, no. 3, pp. 106–119, Jun. 2016, doi: 10.21068/c2016s01a06.

[3] J. Kim, J. G. Kim, J. Jung, D. Han, C. Choi, and H. S. Kim, “Modified hydrogeomorphic approach for estimating quantitative change of riverine wetland functions,” *Ecol. Eng.*, vol. 152, p. 105876, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.105876.

[4] N. López and E. Guevara Pérez, “Environmental assessment of the Urama Wetland, Venezuela,” Universidad de Carabobo, 2017.

[5] S. Debanshi and S. Pal, “Modelling water richness and habitat suitability of the wetlands and measuring their spatial linkages in mature Ganges delta of India,” *J. Environ. Manage.*, vol. 271, p. 110956, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110956.

[6] D. Liang, J. Lu, X. Chen, C. Liu, and J. Lin, “An investigation of the hydrological influence on the distribution and transition of wetland cover in a complex lake–floodplain system using time-series remote sensing and hydrodynamic simulation,” *J. Hydrol.*, vol. 587, p. 125038, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125038.

[7] P. Chatanga, D. C. Kotze, M. Janks, and E. J. J. Sieben, “Classification, description and environmental factors of montane wetland vegetation of the Maloti-Drakensberg region and the surrounding areas,” *South African J. Bot.*, vol. 125, pp. 221–233, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.sajb.2019.04.028.

[8] S. Pal and R. Sarda, “Damming effects on the degree of hydrological alteration and stability of wetland in lower Atreyee River basin,” *Ecol. Indic.*, vol. 116, p. 106542, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106542.

[9] X. Li, G. Lei, Y. Li, Y. Wang, and Z. Tan, “Assessing hydrodynamic effects of ecological restoration scenarios for a tidal-dominated wetland in Liaodong Bay (China),” *Sci. Total Environ.*, vol. 752, p. 142339, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142339.

[10] C. A. M. De Souza, S. L. C. Daza, J. A. de Lima Filho, P. R. A. Campos, and V. M. de Oliveira, “Effect of dynamic fragmentation on biodiversity in a heterogeneous environment,” *Phys. Lett. Sect. A Gen. At. Solid State Phys.*, vol. 384, no. 22, p. 126542, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.physleta.2020.126542.

[11] R. Valois *et al.*, “Characterizing the water storage capacity and hydrological role of mountain peatlands in the arid andes of North-Central Chile,” *Water*, vol. 12, no. 4, p. 1071, Apr. 2020, doi: 10.3390/W12041071.

[12] M. C. Roa-García and S. Brown, “Characterization of carbon storage in small Andean Wetlands of the upper Río Barbas Watershed (Quindío, Colombia),” *Caldasia*, vol. 38, no. 1, pp. 117–136, 2016, doi: 10.15446/caldasia.v38n1.57833.

[13] M. Á. Palomeque de la Cruz, A. Galindo Alcántara, A. J. Sánchez, and M. J. Escalona Maurice, “Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México,” *Investig. Geográficas*, no. 68, pp. 151–172, 2017, doi: 10.14198/ingeo2017.68.09.

[14] J. P. Rodríguez, K. K. Senhadji-Navarro, and M. A. Ruiz Ochoa, “Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: Una evaluación prospectiva,” *Colomb. For.*, vol. 20, no. 2, p. 181, Jun. 2017, doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a07.

[15] M. J. Cohen *et al.*, “Do geographically isolated wetlands influence landscape functions?,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 113, no. 8. National Academy of Sciences, pp. 1978–1986, 23-Feb-2016, doi: 10.1073/pnas.1512650113.

[16] C. Langan, J. Farmer, M. Rivington, P. Novo, and J. U. Smith, “A wetland ecosystem service assessment tool; Development and application in a tropical peatland in Uganda,” *Ecol. Indic.*, vol. 103, pp. 434–445, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.04.019.

[17] L. E. Delgado *et al.*, “El humedal del Río Cruces, Valdivia, Chile: Una síntesis ecosistémica,” *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, vol. 42, no. 5, pp. 937–949, 2014, doi: 10.3856/vol42-issue5-fulltext-1.

[18] A. Watson, J. Miller, M. Fleischer, and W. de Clercq, “Estimation of groundwater recharge via percolation outputs from a rainfall/runoff model for the Verlorenvlei estuarine system, west coast, South Africa,” *J. Hydrol.*, vol. 558, pp. 238–254, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.01.028.

[19] S. Mehvar, T. Filatova, M. H. Sarker, A. Dastgheib, and R. Ranasinghe, “Climate change-driven losses in ecosystem services of coastal wetlands: A case study in the West coast of Bangladesh,” *Ocean Coast. Manag.*, vol. 169, pp. 273–283, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.12.009.

[20] P. A. Bejarano Mora and M. A. Bonilla, “Dinámica espacio-temporal del humedal Juan Amarillo entre 1950-2005,” *Acta Biol. Colomb.*, vol. 14, no. 1, pp. 87–106, 2009.

[21] S. Taddeo, I. Dronova, and N. Depsky, “Spectral vegetation indices of wetland greenness: Responses to vegetation structure, composition, and spatial distribution,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 234, p. 111467, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.rse.2019.111467.

[22] C. Rojas, E. Sepúlveda-Zúñiga, O. Barbosa, O. Rojas, and C. Martínez, “Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitano,” *Rev. Geogr. Norte Gd.*, no. 61, pp. 181–204, 2015, doi: 10.4067/s0718-34022015000200010.

[23] L. A. Cortés Ballén, “Aproximación al paisaje de los humedales urbanos de Bogotá dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad,” *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 27, no. 1, pp. 118–130, 2018, doi: 10.15446/rcdg.v27n1.60584.

[24] D. A. Sánchez Núñez, G. A. Pinilla Agudelo, and J. E. Mancera Pineda, “Efectos del uso del suelo en las propiedades edáficas y la escorrentía superficial en una cuenca de la Orinoquia Colombiana,” *Colomb. For.*, vol. 18, no. 2, pp. 255–272, 2015, doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a06.

[25] L. M. Teuber, N. Hölzel, and L. H. Fraser, “Livestock grazing in intermountain depressional wetlands-Effects on plant strategies, soil characteristics and biomass,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 175, pp. 21–28, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.agee.2013.04.017.

[26] S. E. Aguirre-forero, N. V. Piraneque-gambasica, and J. R. Vásquez-polo, “Características edáficas y su relación con usos del suelo en Santa Marta, Colombia,” *Entramado*, vol. 14, no. 1, pp. 242–250, 2018, doi: 10.18041/entramado.2018v14n1.27141.

[27] J. Liu *et al.*, “Hydrological connectivity: One of the driving factors of plant communities in the Yellow River Delta,” *Ecol. Indic.*, vol. 112, p. 106150, May 2020, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106150.

[28] I. Åhlén, P. Hambäck, J. Thorslund, A. Frampton, G. Destouni, and J. Jarsjö, “Wetlandscape size thresholds for ecosystem service delivery: Evidence from the Norrström drainage basin, Sweden,” *Sci. Total Environ.*, vol. 704, p. 135452, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135452.

[29] Q. Cui, M. E. Ammar, M. Iravani, J. Kariyeva, and M. Faramarzi, “Regional wetland water storage changes: The influence of future climate on geographically isolated wetlands,” *Ecol. Indic.*, vol. 120, p. 106941, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106941.

[30] C. M. Finlayson, J. A. Davis, P. A. Gell, R. T. Kingsford, and K. A. Parton, “The status of wetlands and the predicted effects of global climate change: The situation in Australia,” *Aquat. Sci.*, vol. 75, no. 1, pp. 73–93, Jan. 2013, doi: 10.1007/s00027-011-0232-5.

[31] J. Zhu *et al.*, “Modeling the potential impacts of climate change on the water table level of selected forested wetlands in the southeastern United States,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 21, no. 12, pp. 6289–6305, Dec. 2017, doi: 10.5194/hess-21-6289-2017.

[32] E. Ragno, A. AghaKouchak, C. A. Love, L. Cheng, F. Vahedifard, and C. H. R. Lima, “Quantifying Changes in Future Intensity-Duration-Frequency Curves Using Multimodel Ensemble Simulations,” *Water Resour. Res.*, vol. 54, no. 3, pp. 1751–1764, Mar. 2018, doi: 10.1002/2017WR021975.

[33] B. D. Abel, B. Rajagopalan, and A. J. Ray, “A predictive model for seasonal pond counts in the United States Prairie Pothole Region using large-scale climate connections,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 15, no. 4, p. 044019, Apr. 2020, doi: 10.1088/1748-9326/ab7465.

[34] N. Veas-Ayala, A. Quesada-Román, H. G. Hidalgo, and E. J. Alfaro, “Humedales del Parque Nacional Chirripó, Costa Rica: características, relaciones geomorfológicas y escenarios de cambio climático,” *Rev. Biol. Trop.*, vol. 66, no. 4, p. 1436, 2018, doi: 10.15517/rbt.v66i4.31477.

[35] G. Schosinsky and M. Losilla, “Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual,” *Rev. Geológica América Cent.*, no. 23, pp. 43–55, Jun. 2011, doi: 10.15517/rgac.v0i23.8579.

[36] Scopus, “SciVerse Scopus,” 2020.

[37] M. J. Cobo, A. G. Lõpez-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera, “SciMAT: A new science mapping analysis software tool,” *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 8, pp. 1609–1630, Aug. 2012, doi: 10.1002/asi.22688.

[38] J. Montero-Díaz, M. J. Cobo, M. Gutiérrez-Salcedo, F. Segado-Boj, and E. Herrera-Viedma, “A science mapping analysis of ‘Communication’ WoS subject category (1980-2013),” *Comunicar*, vol. 26, no. 55, pp. 81–91, 2018, doi: 10.3916/C55-2018-08.

[39] A. Álvarez-Marin, M. Castillo-Vergara, and C. Geldes-González, “Análisis Bibliométrico de la Realidad Aumentada y su Relación con la Administración de Negocios,” *Inf. Tecnol.*, vol. 28, no. 4, pp. 57–66, 2017, doi: 10.4067/S0718-07642017000400008.

[40] N. J. Van Eck and L. Waltman, “Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping,” *Scientometrics*, vol. 84, no. 2, pp. 523–538, 2010, doi: 10.1007/s11192-009-0146-3.

[41] N. J. Van Eck, L. Waltman, J. van den Berg, and U. Kaymak, “Visualizing the computational intelligence field,” *IEEE Comput. Intell. Mag.*, vol. 1, no. 4, pp. 6–10, Mar. 2006, doi: 10.1109/mci.2006.329702.

[42] N. Mueller *et al.*, “Water observations from space: Mapping surface water from 25years of Landsat imagery across Australia,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 174, pp. 341–352, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.rse.2015.11.003.

[43] Y. Natuhara, “Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan,” *Ecol. Eng.*, vol. 56, pp. 97–106, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.ecoleng.2012.04.026.

[44] S. Dogramaci, G. Skrzypek, W. Dodson, and P. F. Grierson, “Stable isotope and hydrochemical evolution of groundwater in the semi-arid Hamersley Basin of subtropical northwest Australia,” *J. Hydrol.*, vol. 475, pp. 281–293, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.10.004.

[45] Y. Liu and T. Yamanaka, “Tracing groundwater recharge sources in a mountain-plain transitional area using stable isotopes and hydrochemistry,” *J. Hydrol.*, vol. 464–465, pp. 116–126, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.053.

[46] H. H. Gerke, S. Koszinski, T. Kalettka, and M. Sommer, “Structures and hydrologic function of soil landscapes with kettle holes using an integrated hydropedological approach,” *J. Hydrol.*, vol. 393, no. 1–2, pp. 123–132, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.12.047.

[47] G. Acharya, “Approaches to valuing the hidden hydrological services of wetland ecosystems,” *Ecol. Econ.*, vol. 35, no. 1, pp. 63–74, Oct. 2000, doi: 10.1016/S0921-8009(00)00168-3.

[48] N. H. Euliss, L. M. Smith, D. A. Wilcox, and B. A. Browne, “Linking ecosystem processes with wetland management goals: Charting a course for a sustainable future,” *Wetlands*, vol. 28, no. 3, pp. 553–562, Sep. 2008, doi: 10.1672/07-154.1.

[49] M. D. B. Watanabe and E. Ortega, “Dynamic emergy accounting of water and carbon ecosystem services: A model to simulate the impacts of land-use change,” *Ecol. Modell.*, vol. 271, pp. 113–131, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2013.03.006.

[50] J. Choi and J. W. Harvey, “Quantifying time-varying ground-water discharge and recharge in wetlands of the northern Florida Everglades,” *Wetlands*, vol. 20, no. 3, pp. 500–511, Jul. 2000, doi: 10.1672/0277-5212(2000)020<0500:QTGDAR>2.0.CO;2.

[51] J. W. Harvey, S. L. Krupa, and J. M. Krest, “Ground water recharge and discharge in the central everglades,” *Ground Water*, vol. 42, no. 7, pp. 1090–1102, Dec. 2004, doi: 10.1111/j.1745-6584.2004.tb02646.x.

[52] D. D. S. Price, “A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes,” *J. Am. Soc. Inf. Sci.*, vol. 27, no. 5, pp. 292–306, Sep. 1976, doi: 10.1002/asi.4630270505.