

EL REGISTRO DE LA DIVERSIDAD VEGETAL EN LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

PLANT DIVERSITY REGISTER IN HYDROLOGICAL STUDIES

Natalia Vercelli ⁽¹⁾ e Ilda Entraigas ⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”. Azul, Argentina.
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.
e-mail: nvercelli@ihlla.org.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3150-9905>

⁽²⁾ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”. Azul, Argentina.
e-mail: ilda@ihlla.org.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5730-4337>

RESUMEN

Generalmente los cambios en la biosfera se analizan a partir de los patrones de distribución de la vegetación, ya que las plantas son componente del ecosistema que más incide en la estructura, la productividad y las cadenas tróficas. Esto es relevante en humedales, que constituyen áreas valiosas por los servicios ecosistémicos que brindan y cuyo funcionamiento depende de las fuertes interacciones entre la hidrología y la ecología. El objetivo del trabajo es destacar aquellas publicaciones en las cuales la diversidad vegetal registrada en el marco de proyectos llevados a cabo por el IHLLA ha representado un aporte fundamental para la interpretación de las áreas de llanuras desde una perspectiva ecohidrológica. Se sintetizan en tres grandes grupos las publicaciones donde se documenta la diversidad vegetal como herramienta para A. la cuantificación de la heterogeneidad ambiental a distintas escalas, B. la aplicación de marcos conceptuales interdisciplinarios y, C. la generación de datos para la toma de decisiones basada en evidencia. Los numerosos ejemplos citados de estudios en los que participa el registro de la diversidad vegetal demuestran la utilidad de su inclusión en el diseño y la ejecución de políticas ambientales orientadas al uso sostenible de los recursos.

Palabras clave: Vegetación, Diversidad, Ecohidrología, Humedales, Llanuras.

ABSTRACT

Generally, biosphere changes are analyzed based on the distribution of vegetation patterns, since plants are the component of ecosystems that most affects productivity, food chains and ecosystem structure. This is particularly relevant in wetlands, since they constitute valuable areas because of the ecosystem services they provide and whose functioning depends on the strong interactions between hydrology and ecology. The aim of the work is to highlight those publications in which the plant diversity recorded within the framework of projects carried out by the IHLLA has represented a fundamental contribution to the interpretation of plains areas from an ecohydrological perspective. We synthesize into three large groups the publications where plant diversity is documented as a tool for A. the quantification of environmental heterogeneity at different scales, B. the application of interdisciplinary conceptual frameworks and, C. the generation of data for evidence-based decision making. The numerous examples cited of studies in which plant diversity registers participate demonstrate the usefulness of its inclusion in the design and implementation of environmental policies towards the sustainable use of resources.

Keywords: Vegetation, Diversity, Ecohydrology, Wetlands, Plains.

INTRODUCCIÓN

Las presiones antrópicas sobre los ecosistemas a nivel mundial han tenido efectos sobre la biota llevando en muchos casos a la extinción y disminución de poblaciones (Román-Palacios y Wiens, 2020). Particularmente en un contexto de cambio climático experimentado en las últimas décadas con consecuencias evidentes a largo plazo sobre la biodiversidad, es de importancia crítica cuantificar cómo este fenómeno afecta la distribución de especies, la dinámica de poblaciones y comunidades, y por consiguiente, los principales flujos ecosistémicos, para la planificación de estrategias de conservación y uso sostenible (Hannah et al., 2002; Araújo y Guisan, 2006; Hannah y Midgley, 2023).

Los efectos del clima sobre la biosfera se analizan, en general, a partir del conocimiento que se tiene acerca de cómo los cambios climáticos afectan los patrones de distribución de la vegetación, ya que constituye el componente del ecosistema que más incide en la productividad y, en consecuencia, en las cadenas tróficas y la estructura ecosistémica (Schulze et al., 2019; Hannah y Midgley, 2023). En este contexto, las investigaciones en el campo de la ecología hidrológica adquieren relevancia, por tener esta disciplina entre sus inquietudes centrales la cuantificación de las interacciones entre las plantas y el agua en sus hábitats (Wood et al., 2007). Entender las interacciones funcionales entre la hidrología y la vegetación a escala de cuenca es fundamental para controlar y restaurar los procesos ecológicos, por lo que las plantas están en el centro de la ecología hidrológica (Rodríguez-Iturbe, 2000; Zalewski et al., 2009; Zhou et al., 2016).

El conocimiento ecología hidrológica de los ecosistemas naturales para la planificación de estrategias de manejo requiere marcos conceptuales robustos acerca de cómo funcionan los diferentes ambientes. Analizar la dinámica de poblaciones, comunidades y ecosistemas, y por consiguiente los procesos claves que en ellos acontecen y los servicios ambientales que brindan, requiere datos ecológicos de calidad, es decir, tomados de forma rigurosa, sistemática y en los plazos adecuados (Lindenmayer et al., 2012). Dichos datos son esenciales para captar las interacciones complejas, múltiples y simultáneas que son frecuentes en los sistemas naturales, y proveer de información empírica para el desarrollo, parametrización y calibración de modelos de simulación computacionales (Levin, 2009; Lindenmayer y Likens, 2010; Lindenmayer et al.,

2012). Los datos de entrada para la modelación de la distribución de especies provienen de museos y otras instituciones de historia natural, que suelen contar con series incompletas y sesgadas en relación a la verdadera distribución espacial o ambiental de las especies (Krishtalka y Humphrey, 2000; Ponder et al., 2001; Suarez y Tsutsui, 2004). También se obtiene información en bases de datos colaborativas y proyectos de ciencia ciudadana, que no escapan a los sesgos anteriores y que suelen estar basadas en registros fotográficos, por lo que la determinación de especies puede resultar dudosa (Graham et al., 2004).

Las áreas de llanuras con gradientes topográficos muy bajos son relativamente escasas en el mundo y se encuentran entre los sistemas hidrológicos menos estudiados, a pesar de que ser el sostén de actividades económicas de primer orden que se vinculan con la explotación de los recursos hídricos (Usunoff et al., 1999). En llanuras donde el clima es húmedo son frecuentes las inundaciones poco profundas, en superficies extensas y con tiempos de residencia muy largos en relación al área de aporte (Fan et al., 2013). Adicionalmente, en periodos de excesos de agua, se produce el llenado y encadenamiento de las zonas más bajas del terreno generando flujos a través de la conexión de almacenamientos superficiales, provocando que la región en su conjunto se comporte como un macrosistema de humedales (Kandus et al., 2011; Entraigas, Vercelli, Ares, Varni y Zeme, 2017).

Los humedales en sentido amplio son considerados las áreas más valiosas para la protección de la biodiversidad del planeta ya que constituyen el hábitat de numerosas especies y son ambientes críticos para la regulación de los recursos hídricos, el almacenamiento de carbono y la moderación del clima (Davidson et al., 2018; Tan et al., 2022; Xi et al., 2020). Sin embargo, se encuentran entre los ambientes más vulnerables por estar sometidos a diversas presiones que ponen en riesgo su estabilidad (Luan y Zhou, 2013; Davidson, 2014; Hu et al., 2017). En este sentido, pueden ser considerados centinelas del cambio climático global y de las transformaciones en el uso del suelo debido a su gran capacidad de respuesta frente a las modificaciones ambientales que se dan en la cuenca hidrográfica donde se insertan (Adrian et al., 2009). Las áreas de humedal, entonces, funcionan a través de fuertes interacciones entre la hidrología y la ecología, y por este motivo son centrales para las investigaciones ecología hidrológicas, incluyendo el desarrollo de teorías y métodos asociados (Zhou et al., 2016). En Argentina los sistemas de humedales ocupan el

21.5% del territorio (Kandus et al., 2017), y en la provincia de Buenos Aires el 35% de la superficie tiene posibilidad de ocurrencia de humedales si se considera la cartografía de suelos disponible (Nomdedeu et al., 2024).

El Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA) tiene entre sus objetivos centrales el desarrollo de modelos conceptuales acerca del funcionamiento hidrológico de las zonas de llanuras, específicamente de la provincia de Buenos Aires, para la gestión integral de los recursos hídricos y, en este contexto, el conocimiento de la biota en general y el registro de la diversidad vegetal en particular adquiere gran relevancia.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es destacar aquellas publicaciones producidas durante los últimos 15 años en las cuales la diversidad vegetal registrada en el marco de proyectos llevados a cabo por la institución ha representado un aporte fundamental al momento de interpretar la estructura, el funcionamiento y la dinámica de las áreas de llanuras desde una perspectiva ecohidrológica.

BENEFICIOS DEL REGISTRO DE LA DIVERSIDAD VEGETAL EN EL MARCO DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS EN ZONAS DE LLANURAS

El registro de la biodiversidad y la generación de datos precisos es indispensable para la interpretación de los procesos pasados y la predicción de escenarios futuros a partir de herramientas de modelación. Por este motivo, aquí se sintetizan las publicaciones realizadas en el marco de proyectos hidrológicos y campañas de campo del IHLLA donde se documenta la diversidad vegetal como herramienta para A. la cuantificación de la heterogeneidad ambiental a distintas escalas, B. la aplicación de marcos conceptuales interdisciplinarios y, C. la generación de datos para la toma de decisiones basada en evidencia.

A. Cuantificación de la heterogeneidad a distintas escalas espacio-temporales

El registro de la diversidad vegetal en el marco de estudios hidrológicos permite entender la heterogeneidad ambiental en zonas de llanuras a distintas escalas temporales: obteniendo información

acerca de la variabilidad de la vegetación característica de estos ambientes a corto, mediano y largo plazo, se colabora con la comprensión de fenómenos ecológicos complejos en un contexto de cambio global, generando datos empíricos de campo que son fundamentales para poner a prueba las teorías ecológicas.

De acuerdo con la manera en que se analiza la heterogeneidad el análisis de los cambios en la vegetación implica:

1. Estudios de *patrones espaciales*, que analizan a la vegetación en un momento dado para la comprensión de la heterogeneidad ambiental, es decir, que consideran el arreglo espacial de las especies vegetales como indicadora de aquellos componentes del sistema poco perceptibles.

2. Estudios comparativos a diferentes *escalas temporales* que permiten comprender las fluctuaciones intra e interanuales en la expresión de la vegetación y separarlas de las trayectorias a largo plazo que involucran procesos ecosistémicos subyacentes cuyas tendencias no son perceptibles en escalas temporales más acotadas.

En diversos trabajos llevados a cabo en la cuenca inferior del arroyo del Azul se analizan 1) patrones espaciales. Vercelli y Entraigas (2021) estudiaron la heterogeneidad interna en pastizales naturales a partir de la identificación de los tipos principales de comunidades y las zonas de transición, y de las estimaciones de las tasas de reemplazo de especies en estos ambientes. Entraigas et al. (2019) examinaron la vegetación de las vías preferenciales de escurrimiento en paisajes llanos y describieron aquellas características por las cuales difiere de la matriz circundante. El análisis de detalle a lo largo del eje longitudinal de la cuenca permitió distinguir la distribución de la vegetación siguiendo el gradiente topográfico y de salinidad del agua subterránea, resultando el grado de canalización y la alcalinidad del suelo los factores que determinan el tipo de comunidad en cada sitio del paisaje de llanura de inundación. Vercelli (2018) estudió la heterogeneidad del paisaje considerando las relaciones entre las características geomorfológicas y ecológicas de sus elementos componentes, y los límites o transiciones entre ellos, utilizando a la vegetación como indicadora de las propiedades topográficas, edafológicas e hidrológicas. Vercelli, Entraigas, Argañaraz et al. (2013) calcularon la representatividad espacial de las diferentes

comunidades vegetales identificadas a partir de sus especies indicadoras, y se comparó con lo reportado para zonas de estudios similares o equivalentes utilizando imágenes satelitales y tipos de cobertura.

En otras publicaciones, se analiza la distribución espacial o las diferencias en algunas comunidades o grupos de especies en un ambiente en particular. En este sentido, Entraigas et al. (2014) y Bertuzzi et al. (2022) analizaron la composición florística en cubetas de deflación de la cuenca baja del arroyo del Azul; otras publicaciones sintetizan la diversidad de macrófitas y su representatividad en diferentes sectores de la traza del arroyo del Azul (Scaramuzzino, Vercelli, D'Alfonso y Piazza, 2019; Scaramuzzino, Vercelli y D'Alfonso, 2019), mientras que D'Alfonso et al. (2015) compararon la flora asociada a los pajonales de *Paspalum quadrifarium* Lam. en los sectores superior e inferior de la cuenca del arroyo del Azul.

Entre los estudios comparativos a 2) diferentes escalas temporales se incluyen las publicaciones que consideran la *variabilidad interanual* en la estructura de la vegetación como también aquellos trabajos que analizan las *trayectorias a largo plazo*. Como ejemplo del primer grupo, Vercelli et al. (2012) compararon la vegetación que se desarrolla en una cubeta de deflación en periodos hidrológicamente contrastantes, mientras que Entraigas, Vercelli, Ares, Varni y Zeme (2017) analizaron los efectos de la inundación prolongada en la estructura de la comunidad vegetal en pastizales de llanura a partir de datos empíricos. Estos últimos autores encontraron que las especies graminoides y nativas parecen estar más adaptadas para afrontar las perturbaciones naturales de los pastizales de llanura, dado que su proporción aumenta frente a disturbios como los anegamientos prolongados. Además, evidenciaron que, aunque los distintos stands de pastizal pueden ser florísticamente homogéneos en una época determinada, logran diferenciarse en momentos de excesos hídricos.

Entre los estudios que analizan las trayectorias a largo plazo que involucran procesos que acontecen en escalas más amplias, particularmente se analizó la estabilidad ecosistémica a largo plazo en pastizales naturales de llanura. Al respecto, Lara et al. (2019; 2023) utilizaron datos climáticos y florísticos obtenidos en campañas durante un periodo extendido de tiempo en pastizales de la Pampa Deprimida (Argentina) e indicadores de la estabilidad de la productividad primaria neta

obtenidos con sensores remotos a escala regional en un rango temporal aún más extenso, para evaluar la relación entre la diversidad de especies y la estabilidad en el funcionamiento de los ecosistemas bajo diferentes condiciones hidrológicas. Encontraron correlación positiva entre las respuestas del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) en pastizales naturales y la variabilidad climática en el área de estudio, y obtuvieron evidencias empíricas de que aquellos pastizales con mayor riqueza y diversidad presentan mayor estabilidad en su funcionamiento bajo condiciones hidrológicas variables.

Otros trabajos que hacen referencia a escalas temporales amplias son aquellos que detectan cambios en las distribuciones de una o más especies a partir de ejemplares de herbario, revisiones bibliográficas y búsquedas en bases de datos. En una primera aproximación al uso de datos históricos para el análisis de los cambios a largo plazo Vercelli, Scaramuzzino et al. (2015) analizaron los registros del cuaderno de colecta del botánico C. Osten y notas de vecinos de la época, para reconstruir la fisonomía del paisaje en la antigua periferia de la ciudad de Azul. Posteriormente, algunos trabajos analizaron cambios en la distribución geográfica de especies nativas: Scaramuzzino et al. (2019a), D'Alfonso et al. (2023) y Vercelli, Scaramuzzino, D'Alfonso et al. (2021) registraron la expansión hacia el sur de poblaciones que actualmente se encuentran a grandes distancias de su localización conocida previamente, mientras que Vercelli, D'Alfonso et al. (2023) reportaron avances de especies del género *Senecio* desde el sistema de Tandilia hacia las llanuras circundantes. Otras publicaciones reportan novedades de los estados de invasión de especies exóticas herbáceas (Vercelli, Scaramuzzino et al., 2023; Scaramuzzino et al., 2017; 2019b; 2023) o leñosas (Irazabal et al., 2023) que pueden ser halladas en la Pampa Deprimida. En esta región, entonces, se manifiesta gran heterogeneidad en las respuestas ecológicas de las especies frente a los cambios, habiendo registrado algunas de ellas que en los últimos años avanzaron desde las sierras y/o desde las áreas periserranas hacia áreas de llanura ubicadas al norte y viceversa. Sin embargo, la falta de registros sistematizados en el área constituye una limitante para dilucidar si los individuos recientemente registrados constituyen avances recientes y forman parte de poblaciones relictuales en el límite de su distribución (Vercelli, Scaramuzzino, D'Alfonso et al., 2021; Vercelli, D'Alfonso et al., 2023).

B. Aplicación de marcos conceptuales interdisciplinarios

En segundo lugar, el registro de la diversidad vegetal en el marco de estudios hidrológicos permite la realización de estudios colaborativos con otras disciplinas, específicamente aquellos donde la observación de la vegetación es un factor fundamental en la selección de sitios para el análisis de procesos hidrológicos.

Una de las variables claves que sintetiza la acción del clima, el suelo y la vegetación en el balance hídrico es la *humedad del suelo* (Rodríguez-Iturbe y Porporato, 2004). En este sentido, Varni et al. (2016) realizaron un análisis exploratorio de la heterogeneidad interna de un pastizal natural a partir de cómo se relacionan algunas variables edáficas, entre ellas la humedad del suelo, y la biomasa aérea y subterránea en estos ambientes. Por su parte, Zeme, Varni, Entraigas, Vercelli y Ares (2014) evaluaron el comportamiento de estas mismas variables en parches de vegetación halófito dominada por *Distichlis* spp., y Lucero et al. (16 al 20 de abril de 2012) describieron la variabilidad de los suelos de estos ambientes característicos de la Pampa Deprimida, destacando que el alto contenido de fósforo en sus perfiles indicaría que se comportan como humedales, al menos temporalmente. Continuando con esta temática, Fajardo, Entraigas y Dietrich (2021) propusieron ecuaciones de calibración del sensor DECAGON EC-5 para la estimación de la humedad en suelos de la Pampa Deprimida. Luego de realizar un experimento donde eligieron para el análisis aquellos suelos correspondientes a sitios donde se expresan las diferentes comunidades vegetales del área, concluyeron que la calibración del sensor provista de fábrica es adecuada para los suelos de textura franca de las praderas húmedas de mesófitas y las praderas de mesófitas, mientras que, para los suelos de textura franco-limosa que se corresponden con ambientes de estepas de halófitas (fuertemente alcalinos) y praderas húmedas (alta porosidad y alto contenido de materia orgánica), es necesario realizar una calibración experimental. Por su parte, Fajardo, Entraigas, Vercelli et al. (2021) analizaron la variabilidad espacial y temporal en la humedad superficial del suelo, y su relación con los niveles freáticos y el almacenamiento de agua en el suelo estimado a partir del balance hídrico, para lo cual seleccionaron sitios de estudio que agruparon en 4 grupos representativos de las unidades de vegetación típicas de la Pampa Deprimida (praderas de mesófitas, praderas húmedas de mesófitas, praderas

húmedas y estepas de halófitas). Los autores demostraron que el patrón de humedad del suelo que subyace al sistema surge durante los períodos húmedos y se vuelve difuso en los secos, destacando que, en algunos ambientes, tanto la profundidad del nivel freático como el almacenamiento de agua en el suelo están significativamente implicadas como factores explicativos de la variabilidad observada, mientras que en otros el almacenamiento de agua en el suelo es el más predictivo.

Otros estudios analizan la *dinámica del agua*: por ejemplo, para analizar el escurrimiento superficial a escala de detalle, Vercelli, Ares y Entraigas (2015) evaluaron la posición en el paisaje en diferentes stands del pastizal en función de su cota y de la cantidad de agua que potencialmente se acumula en cada sitio en situaciones de excesos hídricos. Las comparaciones realizadas indicarían que, pese a la uniformidad aparente del área analizada, los sitios que se corresponden con una pradera húmeda de mesófitas se ubican en las posiciones topográficas más bajas, recibiendo agua por escurrimiento superficial de los sitios vecinos en momentos de excesos hídricos. En este mismo sentido, Entraigas, Vercelli, Ares, Varni et al. (2017) concluyeron que, en ambientes muy deprimidos, las respuestas de cada tipo de stand de vegetación están más relacionadas con el agua que reciben por aportes superficiales y/o subterránea, que con la posición topográfica que ocupan. Briceño Maldonado (2024), por su parte, llevó adelante la modelación hidráulica bidimensional de dos cubetas típicas de la Pampa Deprimida empleando el software HEC-RAS 6.4.1, para lo cual aplicó coeficientes de rugosidad de Manning diferentes tanto en el área central de las cubetas como en las zonas circundantes de las mismas de acuerdo a la vegetación presente en cada sitio.

Con respecto al flujo subterráneo, Zeme, Varni, Entraigas y Vercelli (2014) analizaron los niveles freáticos en piezómetros someros ubicados en diferentes stands del pastizal destacando las particularidades de aquellos asociados a praderas húmedas de mesófitas y estepas de halófitas: en los primeros, la alta cobertura vegetal favorece la infiltración del agua y el flujo descendente por el perfil de suelo, resultando en aguas freáticas someras diluidas, mientras que las zonas bajas con vegetación halófito y baja cobertura del suelo se distinguen por presentar flujos verticales ascendentes en el suelo por capilaridad, lo que lleva a la acumulación de sales en el perfil. Los datos generados por estos mismos piezómetros fueron utilizados por Zimmermann et al.

(2020) y Fajardo (2024) como condición de borde aguas arriba en la modelación preliminar del flujo subterráneo para un sector de la cuenca inferior del arroyo del Azul, mientras que como control del modelo se utilizaron otros piezómetros que, al igual que los primeros, fueron construidos en sitios seleccionados específicamente teniendo en cuenta la comunidad vegetal presente.

Finalmente, considerando la variabilidad en la *composición química* del agua freática, Gorocito et al. (2020) estudiaron las asociaciones entre el gradiente de salinidad del agua subterránea somera, los suelos y la expresión de la vegetación. Los resultados obtenidos indican que los valores extremos de salinidad se corresponden, en general, con los valores extremos de pH y conductividad eléctrica (CE) en el suelo y con las mayores coberturas de especies halófitas, mostrando que la distribución espacial de las características químicas del agua subterránea está en estrecha relación con la variabilidad de los suelos y con el patrón que conforman las comunidades vegetales en el paisaje.

C. Generación de datos para la toma de decisiones basados en evidencia

El registro de la diversidad vegetal en el marco de estudios hidrológicos permite generar conocimientos para respaldar políticas basadas en evidencia empírica, toma de decisiones y gestión de los recursos naturales, y una de las formas de sintetizar los beneficios que aportan los ecosistemas es a partir de la identificación y valoración de sus funciones para el posterior reconocimiento de los *servicios ecosistémicos* que le brindan a la sociedad. En este sentido, algunos trabajos analizan la oferta general de bienes y servicios ecosistémicos considerando la heterogeneidad interna de los pastizales, detectando diferencias en los niveles de provisión de acuerdo con la comunidad vegetal que se establece en cada ambiente (Zeme, Vercelli et al., 2015; Zeme, Entraigas y Varni, 2015).

Otras publicaciones centran su atención en componentes del ecosistema que pueden traducirse en servicios de aprovisionamiento: así, Vercelli, Entraigas, Scaramuzzino et al. (2013) registraron 81 especies con potencial medicinal en pastizales de suelos alcalinos, destacándose en proporción aquellas que tienen propiedades diuréticas, digestivas, hepáticas y vulnerarias. Siguiendo con la provisión de bienes derivados de la flora de estos ambientes, pero valorada desde otra perspectiva, Chiramberro et al.

(2015) analizaron la variabilidad espacio-temporal del valor forrajero de un pajonal, encontrando grandes diferencias entre comunidades de acuerdo a las especies dominantes. En concordancia con lo anterior, Entraigas, Vercelli, Ares, Chiramberro et al. (2017) reportaron, para un sector de la cuenca baja del arroyo del Azul, que el 86% de los productores ganaderos encuestados reconoce diferencias de calidad en el pastizal natural a partir de sus especies representativas, aunque solo la mitad de ellos las aprovechan para llevar adelante manejos por ambientes. Para brindar herramientas de evaluación de la disponibilidad de forraje en pastizales naturales, Entraigas, Chiramberro et al. (2017) desarrollaron un índice que combina indicadores de cobertura, accesibilidad, digestibilidad y estado fenológico de las especies y resulta útil para visualizar aquellas que tienen mayor influencia en la condición forrajera de estos ecosistemas.

Otros trabajos ponen el énfasis en funciones y/o procesos que están mayoritariamente asociados a los servicios de regulación y su variabilidad. Así, Entraigas et al. (13 al 16 de noviembre de 2017) señalan que las cubetas de deflación presentan una marcada dinámica en su oferta de servicios que se corresponde a sus diferentes estados según los pulsos de inundación y sequía. En escalas más amplias, Migueltorena et al. (2014) identifican y analizan las funciones de los distintos ambientes de la cuenca baja del arroyo del Azul y su importancia en la regulación del escurrimiento superficial en momentos hidrológicos contrastantes. Por su parte, Vercelli et al. (25 al 27 de noviembre de 2020) analizan los servicios hidrológicos potenciales de los pastizales naturales de la misma cuenca y destacan la relación que se establece entre la ubicación en el paisaje y la magnitud o proporción del servicio que brindan, fundamentalmente para aquellos servicios asociados al control del drenaje y la recarga y/o descarga de acuíferos. En relación con lo anterior, recientemente Chindamo (2023) y Chindamo et al. (2024) identificaron en la misma cuenca las unidades de paisaje de humedales que la conforman a partir de la condición de drenaje de sus suelos, lo que permitió interpretar su funcionamiento hidrológico y, de esta manera, considerar al paisaje como predictor de la presencia de humedales. Esto es particularmente interesante en zonas llanas donde, a pesar de la sutileza del relieve, las diferencias en cuanto a la naturaleza de la matriz, la presencia de corredores, y la disposición y densidad de los parches condicionan la amplia gama de beneficios que potencialmente otorgan estos ambientes.

DISCUSIÓN

Tal como expresan diversos autores (Nisbet, 2007; Lindenmayer y Likens 2010; Lindenmayer et al., 2012) la toma de datos ambientales de forma sostenida es una actividad científica poco valorada y frecuentemente interrumpida por falta de financiamiento, a pesar de ser indispensable para la construcción, parametrización y calibración de modelos computacionales en un contexto de cambio global.

Los estudios que documentan el efecto del cambio climático sobre la distribución de la biota encuentran respuestas diversas en comunidades y ecosistemas debido, al menos parcialmente, a la asimetría en la magnitud de los cambios ambientales y los procesos ecológicos afectados (Walther, 2010). Específicamente en la provincia de Buenos Aires se han registrado tanto avances de especies subtropicales hacia el sur como otras que han expandido su área de distribución hacia el norte, evidenciando la heterogeneidad en las dinámicas ecológicas frente a las fluctuaciones climáticas registradas en las últimas décadas (Apodaca y Guerrero, 2019; D'Alfonso et al., 2023; Guerrero y Agnolin, 2016; Scaramuzzino et al., 2019a; Vercelli, Scaramuzzino, D'Alfonso et al., 2021; Vercelli, D'Alfonso et al., 2023). Por consiguiente, el registro de la diversidad vegetal tiene gran importancia regional para evaluar los cambios en su distribución, lo cual es necesario para determinar si las especies registradas forman poblaciones autosostenibles, para el análisis detallado de sus posibles avances, para conocer el estado de invasión (en especies exóticas) y/o para diseñar estrategias de conservación de poblaciones periféricas que pueden potencialmente presentar caracteres adaptativos frente a cambios ambientales (Channell y Lomolino, 2000; Channell, 2004; Madeira de Medeiros et al., 2018; Rogan et al., 2023), entre otras cuestiones.

Ya sea para el análisis a corto o largo plazo, dada la escasez de registros sistematizados disponibles y la frecuente falta de subsidios para las investigaciones ambientales, se vuelve indispensable optimizar la toma de datos. Diversos autores proponen realizar muestreos de alta calidad metodológica, basados en preguntas rectoras y diseñados estadísticamente para mejorar la representación de los procesos estudiados (Araújo y Guisan, 2006; Lindenmayer y Likens, 2010). Se destaca la necesidad de elegir estratégicamente las muestras adicionales para lograr discriminar los sesgos propios del modelo y de los datos de entrada y calibración, de aquellos fenómenos

calificados como “sorpresas ecológicas”, es decir, eventos donde el comportamiento ecosistémico observado se desvía de las predicciones humanas (Doak et al., 2008; Lindenmayer et al., 2010; Filbee-Dexter et al., 2017).

En relación con lo anterior, el método elegido para la toma de datos es particularmente relevante para la estimación de variogramas y la predicción geostatística (Voss et al., 2016). En hidrología, una de las estrategias de muestreo elegidas suele ser la toma de datos en transectas lineales, siendo la manera más común de proceder la localización de las mismas de acuerdo con las diferencias topográficas, es decir, siguiendo la dirección preferencial de escurrimiento para captar la variación entre unidades de paisaje contiguas (Ali y Roy, 2009). En este sentido diversos autores demostraron que, para extensiones y tamaños de muestra variables, el muestreo en transectas (y más aún en transectas anidadas) funciona mejor que los diseños aleatorios o mediante grillas, por lo que resulta especialmente ventajoso cuando no se dispone de conocimientos previos sobre las estructuras de autocorrelación (Lark, 2002; Holmes et al., 2006; Ali y Roy, 2009; Voss et al., 2016). Particularmente en áreas de llanuras, como la cuenca del arroyo del Azul, en algunos casos resulta útil (y complementario al muestreo siguiendo la topografía) la construcción de líneas imaginarias perpendiculares a la dirección general del flujo superficial a fin de linealizar el gradiente topográfico (Fuchini Mejía, 1994). Tal como se muestra en los trabajos de Entraigas et al. (2019), Gorocito et al. (2020) y Chindamo et al. (2024), la aplicación conjunta de muestreos en transectas perpendiculares en distintos puntos de la dirección general de flujo superficial y/o subterráneo logra captar heterogeneidad ambiental en zonas muy deprimidas ya que se homogenizan las pendientes regionales, a la vez que se obtiene independencia de las variaciones tanto en la altura como en la cantidad de agua potencialmente recibida por escorrentía superficial.

En un contexto de cambio global, con vacíos de información ambiental sistematizada en grandes superficies y alta demanda de agua para consumo, son de suma importancia los avances en el campo de la ecohidrología para el diseño y ejecución de soluciones basadas en la naturaleza tendientes a la gestión de los recursos hídricos. Tradicionalmente se ha considerado que, en la interpretación de procesos ecohidrológicos, el agua en el suelo constituye un factor clave que refleja el cambio climático y la dinámica de las plantas en diferentes escalas espaciales y temporales (Rodríguez-Iturbe, 2000;

Grayson y Blöschl, 2001; Zalewski et al., 2009). Sin dejar de lado el análisis de la denominada zona crítica, es decir, la fina y dinámica capa de la Tierra que se extiende desde la parte superior del canopeo vegetal, a través del suelo y hasta el agua subterránea (Grant y Dietrich, 2017), en los últimos años, han surgido nuevos desafíos para la elaboración de modelos conceptuales y/o matemáticos por la diversidad de escalas espaciales y temporales, la distancia e inaccesibilidad de determinados procesos claves (por ejemplo, aquellos que ocurren en los acuíferos profundos) y la amplitud de los parámetros determinantes e informativos en los procesos ecohidrológicos (Guswa et al., 2020). En este sentido, autores como Rinaldo y Rodríguez-Iturbe (2022) y Guswa et al. (2020) plantean la necesidad de estudios más abarcativos donde se utilice como volumen de control a las cuencas hidrográficas y se tengan en cuenta los efectos de los cambios en el paisaje en la cantidad, distribución y calidad de los flujos superficiales y subterráneos, como así también en la partición del agua “verde” (que sustenta la biomasa) y “azul” (que alimenta la recarga de acuíferos y la escorrentía superficial).

La necesidad de avanzar en la comprensión y representación de los procesos ecohidrológicos es sumamente relevante para el análisis de la conectividad funcional en cuencas hidrográficas. La estructura física del mosaico de humedales determina la conectividad estructural del sistema, mientras que las especies presentes determinan cómo ésta se traduce en conectividad funcional por lo que, en última instancia, la naturaleza de las conexiones biológicas depende de la biota presente (Schofield et al., 2018). En este marco resulta indispensable el registro de la diversidad para, tal como proponen Zhou et al. (2016), analizar cuantitativamente los macrosistemas de humedales considerando las interacciones entre disturbios antrópicos, dinámica hidrológica y respuestas ecológicas y, de esta manera, determinar cuál es la proporción adecuada de humedales para el uso sostenible de las tierras de cultivo y el mantenimiento a largo plazo de los recursos hídricos.

Es evidente que, frente a la necesidad de diseñar y ejecutar políticas ambientales concretas en pos del uso sostenible de los recursos, resulta de suma utilidad considerar límites naturales como unidades de gestión y valoración de servicios provistos, ya sean cuencas hidrográficas y/o paisajes de humedales dentro de éstas.

REFERENCIAS

- Adrian, R., O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., Livingstone, D. M., Sommaruga, R., Straile, D., Donk, E. V., Weyhenmeyer, G. A. y Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and oceanography*, 54(6, part 2), 2283-2297. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283
- Ali, G. A. y Roy, A. G. (2009). Revisiting Hydrologic Sampling Strategies for an Accurate Assessment of Hydrologic Connectivity in Humid Temperate Systems. *Geography Compass* 3(1), 350–374. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2008.00180.x>
- Apodaca, M. J. y Guerrero, E. L. (2019). ¿Por qué se expande hacia el sur la distribución geográfica de *Tillandsia recurvata* (Bromeliaceae)? *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 54(2), 255-261. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v54.n2.24371>
- Araújo, M. B. y Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 33(10), 1677–1688. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x>
- Bertuzzi, E. D., Vercelli, N. y Scaramuzzino, L. (2022). Diversidad de macrófitas en una cubeta de deflación del partido de Las Flores, provincia de Buenos Aires. En Bohn, V. Y., Díaz, M. S., Estrada, V. G., Martínez, A. M., Piccolo, M. C. y Siniscalchi, A. G. (Eds.) *Integrando Conocimientos para una Gestión Sostenible*. XI Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Bahía Blanca, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/366421257_Diversidad_de_macrofitas_en_una_cubeta_de_deflacion_del_partido_de_Las_Flores_provincia_de_Buenos_Aires
- Briceño Maldonado, N. M. (2024). *Innovación de la formulación del proceso precipitación escorrentía en sistemas hidrológicos de llanura mediante la adaptación de metodologías existentes* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. <http://dx.doi.org/10.52278/4298>
- Channell, R. (2004). The conservation value of peripheral populations: the supporting science. En Hooper, T. D. (Ed.) *Proceedings of the Species at Risk 2004 Pathways to Recovery Conference*. 1–17. https://www.arlis.org/docs/vol1/69415913/channel_1_edited_final_feb_8.pdf
- Channell, R. y Lomolino, M. V. (2000). Dynamic biogeography and conservation of endangered species. *Nature*, 403, 84-86. <https://doi.org/10.1038/47487>

- Chindamo, M. (2023). *Propuesta metodológica para la identificación de Unidades de Paisaje en una cuenca de llanura* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires]. <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/76680ccf-5ade-469e-85ee-06d4d0b3e4ad/content>
- Chindamo, M., Entraigas, I., Vercelli, N., Ares, M. G. y Kandus, P. (2024). El paisaje como predictor de la presencia de humedales. Su expresión en una cuenca de la Pampa Deprimida (Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 12(1), 1-17. https://d1e074e619.clvaw-cdnwnd.com/3cfd20b93af41ab30f4d34afad6c23cb/200000185-a3daba3dae/1_Chindamo_etal_2024.pdf?ph=d1e074e619
- Chiramberro, S., Carretero, N., Vercelli, N., Entraigas, I., de Dominicis, H. y Ramaglio, C. (2015). Variabilidad espacio-temporal del valor forrajero de un pajonal de *Paspalum quadrifarium* en la cuenca del arroyo del Azul. En Minotti, P. y Entraigas, I. (Eds.) *El paisaje: unidad natural, funcional, dinámica y resiliente, V Jornadas y II Congreso Argentino de Ecología de Paisajes*. ISBN: 978-983-543-788-3. Azul, Argentina
- D'Alfonso, C., Pavón, M., Vercelli, N. y Scaramuzzino, R. (2023). *Austroeuatorium inulifolium* (Kunth) R.M. King & Rob. (Asteraceae): ampliación del límite de distribución en la provincia de Buenos Aires. En Álvarez, M., Arias, B., Corbetta, S. y L. Giménez (Eds.) *III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente: libro de resúmenes extendidos*, 175-179, ISBN 978-987-46875-5-5. <https://cedet.unm.edu.ar/wp-content/uploads/2024/05/III-Jornadas-Internacionales-y-V-Jornadas-Nacionales-de-Ambiente-2.pdf>
- D'Alfonso, C., Scaramuzzino, R., Vercelli, N. y Entraigas, I. (2015). Composición florística de los pajonales de *Paspalum quadrifarium* Lam. en la cuenca del arroyo del Azul. En Minotti, P. y Entraigas, I. (Eds.) *El paisaje: unidad natural, funcional, dinámica y resiliente*. V Jornadas y II Congreso Argentino de Ecología de Paisajes. Azul, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/351664270_Composicion_floristica_de_los_pajonales_de_Paspalum_quadrifarium_Lam_en_la_cuenca_del_arroyo_del_Azul
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941. <https://doi.org/10.1071/mf14173>
- Davidson, N. C., Fluet-Chouinard, E. y Finlayson, C. M. (2018). Global extent and distribution of wetlands: trends and issues. *Marine and Freshwater Research* 69(4), 620-627, <https://doi.org/10.1071/mf17019>
- Doak, D. F., Estes, J. A., Halpern, B. S., Jacob, U., Lindberg, D. R., Lovvorn, J., Monson, D. H., Tinker, M. T., Williams, T. M., Wootton, J. T., Carroll, I., Emmerson, M., Micheli, F. y Novak, M. (2008). Understanding and predicting ecological dynamics: are major surprises inevitable? *Ecology* 89(4), 952-961. <https://doi.org/10.1890/07-0965.1>
- Entraigas, I., Chiramberro, S., de Dominicis, H., Vercelli, N., Bongiorno, F. y Ramaglio, J. C. (2017). Methodological Proposal for the Analysis of Spatio-Temporal Variability of Forage Value on *Paspalum quadrifarium*-Dominated Grasslands. *International Journal of Ecological Science and Environmental Engineering* 4(6), 100-108, ISSN 2375-3854. https://www.academia.edu/67696232/Methodological_Proposal_for_the_Analysis_of_Spatio_Temporal_Variability_of_Forage_Value_on_Paspalum_quadrifarium_Dominated_Grasslands?auto=download
- Entraigas, I., Vercelli, N., Ares, G., Chiramberro, S., Carretero, N. y de Dominicis, H. (2017). La biodiversidad de los pastizales naturales valorizada diferencialmente por ambientes a partir de especies forrajeras. En Lorenz, G., Figueroa, M. E., Giannuzzo, A. N. y Ludueña, M. E. (Eds.) *El paisaje entre ciencia, educación y planificación: el legado que dejamos. VI Jornadas y III Congreso Argentino de Ecología de Paisajes*, 237-241, ISBN 978-987-1676-71-2. Santiago del Estero, Argentina. https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/CAE_P_2017_ebook.pdf
- Entraigas, I., Vercelli, N., Ares, G., Varni, M. y Zeme, S. (2017). Flooding effects on grassland species composition in the Azul creek basin (Argentina). *The Rangeland Journal*, 39(3), 245-252. <https://doi.org/10.1071/RJ16034>
- Entraigas, I., Vercelli, N. y Fajardo, L. (2019). Plant communities along preferential superficial water flow paths across a floodplain landscape. *Ecohydrology* 12(6), e2124, 1-11, <https://doi.org/10.1002/eco.2124>
- Entraigas, I., Vercelli, N., Scaramuzzino, R. y D'Alfonso, C. (2014). Composición florística de las comunidades asociadas a las cubetas de deflación en el sector llano de la cuenca del arroyo del Azul. *Biología Acuática*, 29. IV Congreso Argentino de Limnología: Agua, Ambiente y Sociedad. La Plata, Argentina.

- <https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/articulo/view/6651/6326>
- Entraigas, I., Zabala, M. E., Cazenave, G. y Fajardo, L. (13 al 16 de noviembre de 2017). *Variación de los bienes y servicios ecosistémicos ofrecidos por las cubetas de deflación de la Pampa Deprimida argentina en relación a su dinámica hidrica*. V Congreso Internacional de Servicios Ecosistémicos en los Neotrópicos. Oaxaca, México.
- Fajardo, L. F. (2024). *Conectividad hidrológica en un sistema hidrológico no típico. Caso del sector llano de la cuenca del arroyo del Azul* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. <https://doi.org/10.35537/10915/164744>
- Fajardo, L. F., Entraigas, I. y Dietrich, S. (2021). Ecuaciones de calibración del sensor DECAGON EC-5 para la estimación de la humedad en suelos de la Pampa Deprimida. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 46, 1-5. e-ISSN 2422-5703. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revista-asagai/articulo/view/46124>
- Fajardo, L. F., Entraigas, I., Vercelli, N. y Zimmerman, E. (2021). Surface soil moisture variability in a sector of a humid basin characterized by extremely flat relief. *Ecohydrology*, 15(2), e2375. <https://doi.org/10.1002/eco.2375>
- Fan, Y., Li, H. y Miguez-Macho, G. (2013). Global patterns of groundwater table depth. *Science*, 339 (6122), 940–943. <https://doi.org/10.1126/science.1229881>
- Filbee-Dexter, K., Pittman, J., Haig, H. A., Alexander, S. M., Symons, C. C. y Burke, M. J. (2017). Ecological surprise: concept, synthesis, and social dimensions. *Ecosphere* 8(12), e02005. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2005>
- Fuschini Mejía, M. C. (1994). *El agua en las llanuras*. UNESCO/ORCYT. ISBN 92-9089-041-1, 58p. Montevideo, Uruguay. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000159361>
- Gorocito, M., Vercelli, N., Zabala, M. E. y Entraigas, I. (2020). Interacción agua subterránea-suelo-vegetación en el sector llano de la cuenca del arroyo del azul. Toledo, D. M., Perucca, R. y Perucca, S. (Eds.) *XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23665.30560>
- Graham, C. H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C. y Townsend Peterson, A. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology & Evolution* 19(9), 497-503, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.006>
- Grant, G. E. y Dietrich, W. E. (2017). The frontier beneath our feet. *Water Resources Research*, 53(4), 2605–2609. <https://doi.org/10.1002/2017WR020835>
- Grayson, R. y Blöschl, G. (2001). Spatial processes, organisation and patterns. En Grayson, R. y Blöschl, G. (Eds.) *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Cambridge University Press.
- Guerrero, E. L. y Agnolin, F. L. (2016). Recent changes in plant and animal distribution in the southern extreme of the Paranaense biogeographical province (northeastern Buenos Aires province, Argentina): ecological responses to climate change? *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 18(1), 9-30. <https://revista.macn.gob.ar/index.php/RevMus/articulo/view/428>
- Guswa, A. J., Tetzlaff, D., Selker, J. S., Carlyle-Moses, D. E., Boyer, E. W., Bruen, M., Cayuela, C., Creed, I. F., Van de Giesen, N., Grasso, D., Hannah, D. M., Hudson, J. E., Hudson, S. A., Iida, S., Jackson, R. B., Katul, G. G., Kumagai, T., Llorens, P., Lopes Ribeiro, F., ... Levia, D. F. (2020). Advancing ecohydrology in the 21st century: A convergence of opportunities. *Ecohydrology*, 13(4), 1–14, e2208. <https://doi.org/10.1002/eco.2208>
- Hannah, L., Midgley, G. F., Lovejoy, T., Bond, W. J., Bush, M., Lovett, J. C., Scott, D. y Woodward, F. I. (2002). Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conservation Biology*, 16(1), 264–268. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00465.x>
- Hannah, L. y Midgley, G. F. (2023). 30×30 for Climate: The History and Future of Climate Change–Integrated Conservation Strategies. *Annual Review of Environment and Resources*, 48, 1–24. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-114023>
- Holmes, K. W., Van Niel, K., Kendrick, G. y Baxter, K. (2006). *Designs for remote sampling: review, discussion, examples of sampling methods and layout and scaling issues*. CRC for Coastal Zone Estuary and Waterway Management, Project CB3: Benthic Biology and Habitat Mapping. Task 2.1 Milestone Report, 37. https://www.researchgate.net/publication/255435337_Designs_for_Remote_Sampling_Review_Discussion_Examples_of_Sampling_Methods_and_Layout_and_Scaling_Issues
- Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L. y Zhang, H. (2017). Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the Total Environment* 586, 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.001>

- Irazabal, R. Y., Vercelli, N. y Scaramuzzino, R. (2023). Avance de la invasión de *Laurus nobilis* L. en el sector noroccidental del Sistema de Tandilia y llanuras adyacentes. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 58(suplemento), 62-63. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v58.nsupl>.
- Kandus, P., Minotti, P., Fabricante, I. y Ramonell, C. (2017). Identificación y Delimitación de Regiones de Humedales de Argentina. En Benzaquen, L., D. E. Blanco, R. Bo, P. Kandus, G. Lingua, P. Minotti y R. Quintana (Eds.) *Regiones de Humedales de la Argentina*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Fundación Humedales/Wetlands International, Universidad Nacional de San Martín y Universidad de Buenos Aires. ISBN 978-987-29811-6-7, 31-46. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/regioneshumedbaja2.pdf>
- Kandus, P., Quintana, R., Minotti, P., Oddi, J., Baigún, C., González Trilla, G. y Ceballos, D. (2011). Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. En Littera, P., Jobbagy, E. y Paruelo, J. (Eds.) *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-018-5, 265-290. https://www.researchgate.net/publication/304623818_Ecosistemas_de_humedal_y_una_perspectiva_hidrogeomorfica_como_marco_para_la_valoracion_ecologica_de_sus_bienes_y_servicios#read
- Krishalka, L. y Humphrey, P. S. (2000). Can natural history museums capture the future? *BioScience* 50(7), 611-617. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0611:CNHMCT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0611:CNHMCT]2.0.CO;2)
- Lara, B., Vercelli, N., Entraigas, I., Scaramuzzino, R., Gandini, M., Salese, S. y Goyenette, J. M. (2023). Ecosystem stability of temperate grasslands in response to variability of hydrological conditions. *Austral Ecology*, 48(8), 2076-2087. <https://doi.org/10.1111/aec.13445>
- Lara, B., Vercelli, N. y Gandini, M. (2019). Relación entre la diversidad de especies de pastizales y la estabilidad temporal del funcionamiento ecosistémico en un sector de la Pampa Deprimida. En Ulberich, A. y Miranda del Fresno, M. C. (Eds.) *II Jornadas Internacionales de Ambiente y IV Jornadas Nacionales de Ambiente 2018: Libro de resúmenes extendidos*. Tandil, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/328492159_Relacion_entre_la_diversidad_de_especies_de_pastizales_y_la_estabilidad_temporal_del_funcionamiento_ecosistémico_en_un_sector_de_la_Pampa_Deprimida
- Lark, R. M. (2002). Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood. *Geoderma* 105(1-2), 49-80. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00092-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00092-1)
- Levin, S. A. (2009). *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton University Press, Princeton, USA. ISBN 978-0-691-12839-9, 807 p.
- Lindenmayer, D. B. y Likens, G. E. (2010). *Effective Ecological Monitoring*. CSIRO Publishing & Earthscan, Melbourne y London. ISBN 978-1-84971-145-6, 170 p. https://www.researchgate.net/publication/257616764_Lindenmayer_DB_and_Likens_GE_eds_Effective_ecological_monitoring#read
- Lindenmayer, D. B., Likens, G. E., Krebs, C. J. y Hobbs, R. J. (2010). Improved probability of detection of ecological "surprises". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 21957-21962. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015696107>
- Lindenmayer, D. B., Likens, G. E., Andersen, A., Bowman, D., Bull, C., Burns, E., Dickman, C. R., Hoffmann, A. A., Keith, D. A., Liddell, M. J., Lowe, A. J., Metcalfe, D. J., Phinn, S. R., Russell-Smith, J., Thurgate, N. y Wardle, G. M. (2012). Value of long-term ecological studies. *Austral Ecology* 7(1), 745-757. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02351.x>
- Luan, Z. y Zhou, D. (2013). Impacts of intensified agriculture developments on marsh wetlands. *The Scientific World Journal*, 2013, ID 409439, 10p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/409439>
- Lucero, L., Mestelan, S., Entraigas, I. y Migueltoarena, V. (16 al 20 de abril de 2012). *Variabilidad de suelos de peladares de la cuenca baja del arroyo del Azul*. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. Artículo Completo.
- Madeira de Medeiros, C., Hernández-Lambraño, R. E., Felix Ribeiro, K. A. y Sánchez Agudo, J. A. (2018). Living on the edge: do central and marginal populations of plants differ in habitat suitability? *Plant Ecology*, 219, 1029-1043. <https://doi.org/10.1007/s11258-018-0855-x>
- Migueltoarena, V. M., Entraigas, I. y Varni, M. (2014). La conectividad paisajística en el sector llano de la cuenca del arroyo del Azul. En Universidad Nacional del Litoral (Ed.) *Memorias II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*. ISBN: 978987692039-1, Santa Fe, Argentina. <https://doi.org/10.13140/2.1.2813.2803>
- Nisbet, E. (2007). Cinderella science. *Nature* 450, 789-790. <https://doi.org/10.1038/450789a>

- Nomdedeu, S. M., Orzanco, J. y Kandus, P. (2024). Wetlands distribution in the agricultural-livestock core of the South American temperate pampas landscape. Approach from soil cartography. *Wetlands Ecology and Management*, 32, 229-248. <https://doi.org/10.1007/s11273-023-09972-x>
- Ponder, W. F., Carter, G. A., Flemons, P. y Chapman, R. R. (2001). Evaluation of museum collection data for the use in biodiversity assessment. *Conservation Biology* 15(3), 648–657, <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015003648.x>
- Rinaldo, A. y Rodriguez-Iturbe, I. (2022). Ecohydrology 2.0. *Rendiconti Lincei - Scienze Fisiche e Naturali*, 33(2), 245-270. <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01071-y>
- Rodriguez-Iturbe, I. (2000). Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate–soil–vegetation dynamics. *Water Resources Research*, 36(1), 3–9, <https://doi.org/10.1029/1999WR900210>
- Rodriguez-Iturbe, I. y Porporato, A. (2004). *Ecohydrology of Water-Controlled Ecosystems: Soil Moisture and Plant Dynamics*. Cambridge University Press, ISBN 0 521 81943 1; 442 p.
- Rogan, J. E., Ray Parker, M., Hancock, Z. B., Earl, A. D., Buchholtz, E. K., Chyn, K., Martina, J. y Fitzgerald, L. A. (2023). Genetic and demographic consequences of range contraction patterns during biological annihilation. *Scientific Reports*, 13(1), 1691. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28927-z>
- Román-Palacios, C. y Wiens, J. J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(8), 4211–4217, <https://doi.org/10.1073/pnas.1913007117>
- Scaramuzzino, R., D'Alfonso, C. y Vercelli, N. (2017). 250 años de registros de *Echium plantagineum* L. en la provincia de Buenos Aires: su presencia en ambientes rurales y periurbanos. En Ulberich, A., Cisneros Basualdo, N. y Miranda del Fresno, M. C. (Eds.) *I Jornadas Internacionales de Ambiente y III Jornadas Nacionales de Ambiente: Libro de resúmenes extendidos*, 168-170, ISBN 978-950-658-408-5. Tandil, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/351664242_250_ANOS_DE_REGISTROS_DE_ECHIUM_PLANTAGINEUM_L_EN_LA_PROVINCIA_DE_BUENOS_AIRES_SU_PRESENCIA_EN_AMBIENTES_RURALES_Y_PERIURBANOS#read
- Scaramuzzino, R., D'Alfonso, C. y Vercelli, N. (2019a). La familia Acanthaceae en el límite austral de su distribución geográfica: especies del centro-sur bonaerense. En Ulberich, A. y Miranda del Fresno, M. C. (Eds.) *II Jornadas Internacionales de Ambiente y IV Jornadas Nacionales de Ambiente 2018: Libro de resúmenes extendidos*. Tandil, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/339031961_LA_FAMILIA_ACANTHACEAE_EN_EL_LIMITE_AUSTRAL_DE_SU_DISTRIBUCION_GEOGRAFICA_ESPECIES_DEL_CENTRO-SUR_BONAERENSE#read
- Scaramuzzino, R., D'Alfonso, C. y Vercelli, N. (2019b). *Centaurea pulchellum* (Gentianaceae) y *Centaurea diffusa* (Asteraceae): desde ambientes rurales hacia ambientes urbanos. En Ulberich, A. y Miranda del Fresno, M. C. (Eds.) *II Jornadas Internacionales de Ambiente y IV Jornadas Nacionales de Ambiente 2018: Libro de resúmenes extendidos*. Tandil, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/339032145_Centaurea_pulchellum_Gentianaceae_y_Centaurea_diffusa_Asteraceae_DESDE_AMBIENTES_RURALES_HACIA_AMBIENTES_URBANOS#read
- Scaramuzzino, R., D'Alfonso, C., Vercelli, N. y Piazza, G. (2023). *Ballota nigra* y *Lamium purpureum*: dos Lamiáceas poco conocidas en la provincia de Buenos Aires. En Álvarez, M., Arias, B., Corbetta, S. y L. Giménez (Eds.) *III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente: libro de resúmenes extendidos*, 337-341, ISBN 978-987-46875-5-5. <https://cedet.unm.edu.ar/wp-content/uploads/2024/05/III-Jornadas-Internacionales-y-V-Jornadas-Nacionales-de-Ambiente-2.pdf>
- Scaramuzzino, R., Vercelli, N. y D'Alfonso, C. (2019). La familia botánica Asteraceae en el arroyo del Azul: representatividad en el ámbito urbano y rural. En Cortelezzi, A., Entraigas, I., Grosman, M. F. y Masson, I. (Eds.) *Encuentro de saberes para la gestión responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos*. X Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Azul, Argentina. <https://digital.cic.gba.gov.ar/bitstreams/a4207230-f71a-4372-ab1a-11830a0b0118/download>
- Scaramuzzino, R., Vercelli, N., D'Alfonso, C. y Piazza, G. (2019). Macrófitas herbáceas en la traza urbana del arroyo del Azul. En Cortelezzi, A., Entraigas, I., Grosman, M. F. y Masson, I. (Eds.) *Encuentro de saberes para la gestión responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos*. X Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Azul, Argentina. <https://digital.cic.gba.gov.ar/bitstreams/a4207230-f71a-4372-ab1a-11830a0b0118/download>
- Schofield, K. A., Alexander, L. C., Ridley, C. E., Vanderhoof, M. K., Fritz, K. M., Autrey, B. C.,

- DeMeester, J. E., Kepner, W. G., Lane, C. R., Leibowitz, S. G. y Pollard, A. I. (2018). Biota connect aquatic habitats throughout freshwater ecosystem mosaics. *Journal of the American Water Resources Association* 54(2), 372-399. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12634>
- Schulze, E. D., Beck, E., Buchmann, N., Clemens, S., Müller-Hohenstein, K. y Scherer-Lorenzen, M. (2019). Global Biogeochemical Cycles. En Schulze et al. (Eds.) *Plant Ecology*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 827-841. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56233-8_21
- Suarez, A. V. y Tsutsui, N. D. (2004). The value of museum collections for research and society. *BioScience* 54(1), 66-74. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0066:TVOMCF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0066:TVOMCF]2.0.CO;2)
- Tan, L., Ge, Z., Ji, Y., Lai, D. Y. F., Temmerman, S., Li, S., Li, X. y Tang, J. (2022). Land use and land cover changes in coastal and inland wetlands cause soil carbon and nitrogen loss. *Global Ecology and Biogeography*, 31(12), 2541-2563. <https://doi.org/10.1111/geb.13597>
- Usunoff, E., Varni, M., Weinzettel, P. y Rivas, R. (1999). Hidrogeología de grandes llanuras: La pampa húmeda argentina. *Boletín geológico y minero*, 110(4), 391-406. https://info.igme.es/biblioteca/ficheros/BGM/Boletin%20110_4_1999.pdf
- Varni, M., Vercelli, N., Zeme, S., Entraigas, I. y Ares, M. G. (2016). Relaciones entre variables edáficas y biomasa en comunidades vegetales de pastizal en la Pampa Deprimida. En Cholaky, C. G. y Cisneros, J. M. (Eds.) *XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: Ordenamiento territorial. Un desafío para la ciencia del suelo. Resúmenes y mesas redondas*. UniRío Editora, ISBN 978-987-688-172-2. Río Cuarto, Argentina. <https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/978-987-688-172-2.pdf>
- Vercelli, N. (2018). *Heterogeneidad del paisaje en la cuenca inferior del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires*. Tesis de doctorado, UNMdP, 193 p. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/84157/CONICET_Digital_Nro.900118ce-baf7-4595-b29c-1bbd4e64790c_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Vercelli, N., Ares, G. y Entraigas, I. (2015). Relaciones entre la vegetación, la microtopografía y la acumulación de agua en superficie en un pastizal natural de la Pampa Deprimida. En Minotti, P. y Entraigas, I. (Eds.) *El paisaje: unidad natural, funcional, dinámica y resiliente*. V Jornadas y II Congreso Argentino de Ecología de Paisajes. Azul, Argentina.
- Vercelli, N., D'Alfonso, C., Scaramuzzino, R., y Manfreda, V. (2023). Cambios en la distribución geográfica de algunas especies del género Senecio: su avance en la Pampa Deprimida. En Álvarez, M., Arias, B., Corbetta, S. y L. Giménez (Eds.) *III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente: libro de resúmenes extendidos*, 363-367, ISBN 978-987-46875-5-5. <https://cedet.unm.edu.ar/wp-content/uploads/2024/05/III-Jornadas-Internacionales-y-V-Jornadas-Nacionales-de-Ambiente-2.pdf>
- Vercelli, N. y Entraigas, I. (2021). Species replacement and transitional zones in natural grasslands with subtle environmental gradations. *The Rangeland Journal*, 43(1), 23-33 <https://doi.org/10.1071/RJ20043>
- Vercelli, N., Entraigas, I., Argañaraz, J. P., Scaramuzzino, R. y D'Alfonso, C. (2013). Representatividad espacial de las principales comunidades vegetales en la cuenca baja del arroyo del Azul (Buenos Aires, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 4(2), 92-100. <https://digital.cic.gba.gov.ar/bitstreams/d403bfd2-3bc4-4353-a79f-81b91809013e/download>
- Vercelli, N., Entraigas, I., Migueltoarena, V. y Varni, M. (2012). Las cubetas de deflación y su función en los pastizales pampeanos. En Miguez, M., Fernández Cirelli, A., Pérez Carrera, A., Volpedo, A. y Muñoz, M. (Eds.) *Libro de resúmenes II Jornadas Interdisciplinarias "Ciclo del agua en agroecosistemas"*, Centro de Estudios Transdisciplinarios de Agua, Facultad de Veterinaria (UBA), Buenos Aires, Argentina. https://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/164-Resumenes_II_JA_2012.pdf
- Vercelli, N., Entraigas, I., Scaramuzzino, R., Migueltoarena, V. y D'Alfonso, C. (2013). Plantas medicinales de los bajos alcalinos de la cuenca del arroyo del Azul (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 45(2), 285-298. <https://bdigital.uncu.edu.ar/6124>
- Vercelli, N., Entraigas, I., Zabala, M. E., Ares, G. y Cazenave, G. (25 al 27 de noviembre de 2020). *Servicios hidrológicos potenciales brindados por pastizales naturales de una cuenca de llanura en la Ecorregión Pampa, Argentina*. Conferencia Regional de la Ecosystem Services Partnership Latinoamérica y el Caribe. Ciudad de México, México. https://ihlla.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/sites/43/2020/11/126859379_3407276426052647_7996620859580440487_o.jpg

- Vercelli, N., Scaramuzzino, R., D'Alfonso, C. y Entraigas, I. (2015). Reconstrucción del paisaje urbano a partir de registro histórico: el caso de la ciudad de Azul, provincia de Buenos Aires. En Minotti, P. y Entraigas, I. (Eds.) *El paisaje: unidad natural, funcional, dinámica y resiliente*. V Jornadas y II Congreso Argentino de Ecología de Paisajes. Azul, Argentina.
- Vercelli, N., Scaramuzzino, R., D'Alfonso, C., Milione, G. y Piazza, G. (2021). Cambios en la distribución geográfica de algunas especies americanas en la provincia de Buenos Aires. *Revista FAVE Sección Ciencias agrarias* 20(1), 33-46. <https://doi.org/10.14409/fa.v20i1.10246>
- Vercelli, N., Scaramuzzino, R., Goyenette, J. y D'Alfonso, C. (2023). *Crepis vesicaria* y *Helminthotheca echioides* en el centro bonaerense: contribuciones para el estudio de su invasión. En Álvarez, M., Arias, B., Corbetta, S. y L. Giménez (Eds.) *III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente: libro de resúmenes extendidos*, 368-371, ISBN 978-987-46875-5-5. <https://cedet.unm.edu.ar/wp-content/uploads/2024/05/III-Jornadas-Internacionales-y-V-Jornadas-Nacionales-de-Ambiente-2.pdf>
- Voss, S., Zimmermann, B. y Zimmermann, A. (2016). Detecting spatial structures in throughfall data: The effect of extent, sample size, sampling design, and variogram estimation method. *Journal of Hydrology*, 540, 527–537. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.042>
- Walther, G. R. (2010). Community and ecosystem responses to recent climatic change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549), 2019–2024. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0021>
- Wood, P. J., Hannah, D. M. y Sadler, J. P. (2007). *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*. Wiley, Hoboken, USA. ISBN 978-0-470-01017-4. <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/5675/11/L-G-0000567511-0015243802.pdf>
- Xi, Y., Peng, S., Ciais, P. y Chen, Y. (2020). Future impacts of climate change on inland Ramsar wetlands. *Nature Climate Change*, 11, 45–51. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00942-2>
- Zalewski, M., Harper, D. y Wagner, I. (2009). Ecohydrology – why Demonstration Projects throughout the world? *Ecohydrology & Hydrobiology*, 9(1), 3-11, <https://doi.org/10.2478/v10104-009-0043-7>
- Zeme, S., Entraigas, I. y Varni, M. (2015). Análisis de los servicios ecosistémicos en un pastizal natural de la Pampa Deprimida bonaerense. *Contribuciones Científicas GAEA*, 27, 161-174. ISSN 0328-3194. <https://gaea.org.ar/contribuciones/Contribuciones2015/Zeme-Entraigas-Varni.pdf>
- Zeme, S., Varni, M., Entraigas, I., Vercelli, N. y Ares, M. G. (2014). Humedad edáfica, raíces y biomasa aérea en parches dominados por *Distichlis* spp. En AACCS (Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo) (Eds.) *Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y la II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas"*, ISSN 978-987-24771-6-5, Bahía Blanca, Argentina. <https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/dac61792-0a7e-4093-a37f-6dc541fd4a39/content>
- Zeme, S., Varni, M., Entraigas, I. y Vercelli, N. (2014). Comportamiento del nivel freático a lo largo de una transecta en un área llana de pastizales naturales en la cuenca del arroyo del Azul. En Universidad Nacional del Litoral (Ed.) *Memorias II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*. ISBN: 978987692039-1, Santa Fe, Argentina. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.4517.2161>
- Zeme, S., Vercelli, N., Entraigas, I. y Varni, M. (2015). Análisis de los servicios ecosistémicos provistos por un sector de pastizal natural en la cuenca baja del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires. En Ulberich, A., Cisneros Basualdo, N. y Miranda del Fresno, M. C. (Eds.) *II Jornadas Nacionales de Ambiente: libro de trabajos completos*, 123-134, ISBN 978-950-658-369-9. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.
- Zhou, D., Zhang, H. y Liu, C. (2016). Wetland ecohydrology and its challenges. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16(1), 26-32, <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2015.08.004>
- Zimmermann, E., Fajardo, L. y Entraigas, I. (2020). Modelación preliminar del flujo subterráneo en un sector de la cuenca inferior del arroyo del Azul (Buenos aires, Argentina). *Cuadernos del CURIHAM* 26, 21–30, <https://doi.org/10.35305/curiham.v26i0.154>

Tipo de Publicación: ARTÍCULO.

Trabajo recibido el 07/03/2025, aprobado para su publicación el 20/03/2025 y publicado el 28/03/2025.

CÓMO CITAR

Vercelli, N. y Entraigas, I. (2025). El registro de la diversidad vegetal en los estudios hidrológicos. *Cuadernos del CURIHAM, Edición Especial (2024): 40 Años del IHLLA*. e11. <https://doi.org/10.35305/curiham.ed24.e11>

ROLES DE AUTORÍA

NV e IE realizaron en conjunto el proceso de recopilación de datos, análisis, conceptualización y completaron la preparación, creación y redacción del trabajo. Ambas aprobaron la versión para ser publicada y son capaces de responder respecto a todos los aspectos del manuscrito.

LICENCIA

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial -Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)



Este trabajo se enmarca dentro de la EDICIÓN ESPECIAL (2024): 40 años del Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA), de la revista Cuadernos del CURIHAM.