

## El paisaje como predictor de la presencia de humedales. Su expresión en una cuenca de la Pampa Deprimida (Argentina)

Micaela A. Chindamo<sup>1\*</sup>, Ilda Entraigas<sup>1</sup>, Natalia Vercelli<sup>1</sup>, Guadalupe Ares<sup>1</sup> y Patricia Kandus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff". República de Italia 780, Azul (CP 7300), Buenos Aires, Argentina. <sup>2</sup> Universidad Nacional de San Martín. 25 de mayo y Francia, San Martín (CP 1650), Buenos Aires, Argentina.

\* Autor de correspondencia: [mchindamo@ihlla.org.ar](mailto:mchindamo@ihlla.org.ar)

### RESUMEN

Desde un enfoque ecológico, los paisajes se analizan considerando la expresión y la dinámica de los ecosistemas en un espacio geográfico determinado. Entre estos, los humedales emergen como entornos particulares que sobresalen por su riqueza visual y la amplia gama de beneficios que otorgan. Desde un enfoque ecohidrogeomórfico del paisaje, se recupera el aspecto funcional de los ecosistemas de humedal, se pone énfasis en la estrecha relación entre el estado de los mismos y su entorno, y se posiciona, entonces, al paisaje como unidad natural de gestión de los humedales. El objetivo del presente trabajo es identificar las distintas Unidades de Paisaje (UP) que conforman la cuenca del arroyo del Azul a partir de la condición de drenaje de los suelos. Luego, se describieron cada una de las mismas en base a su geomorfología, topografía, hidrología y cobertura vegetal. De este modo, se identificaron y delimitaron cinco UP en la cuenca del arroyo del Azul a partir del análisis e interpretación visual de la distribución espacial de los suelos según su condición de drenaje. Consideramos que, teniendo en cuenta que el área de estudio seleccionada para el presente estudio es una cuenca de llanura con una mínima pendiente (resultando en una mayor acumulación de agua en superficie), la discretización del paisaje a partir de las condiciones de drenaje de los suelos se constituye como una herramienta de gran utilidad para interpretar su funcionamiento hidrológico y, por consiguiente, predecir la presencia de humedales en el sistema. Reconocer los distintos paisajes que integran la cuenca es una tarea esencial para desarrollar aplicaciones específicas tales como la gestión integrada de los recursos hídricos, el diagnóstico ambiental y el ordenamiento territorial.

**Palabras clave:** ecología de paisajes, pastizal, llanura, cuenca, enfoque eco-hidrogeomórfico.

### ABSTRACT

From an ecological perspective, landscapes are analyzed considering the expression and dynamics of ecosystems within a specific geographic space. Among these, wetlands stand out as particular environments due to their visual richness and the wide range of benefits they provide. Employing an eco-hydrogeomorphic approach to landscape, the functional aspect of wetland ecosystems is emphasized, highlighting the close relationship between their state and surroundings. Consequently, the landscape is positioned as a natural unit for wetland management. The objective of this work is to identify the different Landscape Units (UP) that make up the Azul stream basin based on the drainage condition of the soils. Then, each of them was described based on its geomorphology, topography, hydrology, and vegetation cover. In this manner, five UP were identified and delineated within the Azul stream basin by visually analyzing and interpreting the spatial distribution of soils according to their drainage condition. Considering that the selected study area is a plain basin with minimal slope (resulting in higher surface water accumulation), discretizing the landscape based on soil drainage conditions proves to be a highly useful tool for interpreting its hydrological functioning and, consequently, predicting the presence of wetlands in the system. Recognizing the diverse landscapes within the basin is essential for developing specific applications such as integrated water resources management, environmental assessment, and territorial planning.

**Key-words:** landscape ecology, grassland, plain area, watershed, eco-hydrogeomorphic approach.

### INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva ecológica, los paisajes son estudiados en términos de la expresión e interacción de los ecosistemas en el espacio geográfico (Turner, 2001; Forman y Godron, 1986). Los humedales son ecosistemas particulares en los paisajes que se destacan por su diversidad fitosónica y la enorme variedad de contribuciones que brindan a las personas y las sociedades (Kandus et al., 2011; Vilardy et al., 2014; Convention on Wetlands, 2021), las cuales derivan de sus características estructurales y funcionales (Díaz et al., 2015). Algunas de estas contribucio-

nes son el abastecimiento de agua, la amortiguación de las inundaciones, la mitigación del cambio climático, la reposición de aguas subterráneas, la retención y exportación de sedimentos y nutrientes, y la depuración de las aguas. Los humedales proveen hábitat, alimento y refugio para el mantenimiento de numerosos ensambles biológicos, a la vez que constituyen ambientes de gran valor paisajístico, cultural y educativo. Así mismo, estos ecosistemas son estratégicos para el desarrollo de actividades ganaderas por la oferta de pasturas naturales y agua (Quintana et al., 2014).

La ocurrencia de los humedales está determinada por la existencia de un ámbito geomorfológico particular -incluyendo condiciones litológicas y edáficas-, que permite su emplazamiento dando lugar a la presencia temporaria o permanente de agua superficial o subsuperficial de acuerdo a la oferta hídrica (Brinson, 1993; Semeniuk y Semeniuk, 1997). Esta condición hidrogeomórfica determina el establecimiento de ciclos y flujos biogeoquímicos propios y diferentes a los ambientes terrestres y acuáticos, que generan rasgos distintivos de los humedales, como la presencia de biota adaptada a dichas condiciones (las plantas hidrófitas, por ejemplo) y los suelos hídricos o, en caso de ausencia de suelo, sustratos con rasgos de hidromorfismo (Keddy, 2001; Mitch y Gosse-link, 2000). Estos conceptos fueron incorporados en la definición adoptada en la administración pública para el inventario de humedales. De la misma se desprende que la ocurrencia de humedales está fuertemente condicionada por el contexto o por el paisaje ecohidrogeomórfico en el cual se emplazan. Así, en un análisis centrado en los humedales, los paisajes se pueden definir según los patrones de relieve, la estructura de las redes de drenaje y las características geológicas y geomorfológicas, que definen la dinámica hídrica superficial y subterránea condicionando las propiedades de la biota, los suelos y los usos (Winter y Rosenberry, 1995; Winter, 2001; Murkin et al., 2000).

Las cuencas, como entidades espaciales, funcionan como sistemas complejos, dinámicos y abiertos, al mismo tiempo que, como unidades de análisis, son sumamente heterogéneas en cuanto a los paisajes hidrogeomórficos presentes. Los diferentes paisajes de una cuenca determinan la ocurrencia de diferentes tipos de humedales, que a su vez presentan diferente funcionamiento hidrológico y, en consecuencia, ecosistémico (Kandus y Minotti, 2019). De esta manera, el desafío para su caracterización consiste en identificar y delimitar los paisajes que la conforman, de manera de capturar su integralidad sin perder de vista la heterogeneidad espacial (Colter y Priego, 2004). En este sentido, la ecología de paisajes permite conceptualizar los humedales en un contexto más específico haciendo foco en la configuración espacial de los ecosistemas, en su conectividad y

su vinculación funcional en el contexto hidrogeomórfico circundante (Kandus y Minotti, 2019). Teniendo en cuenta que el área de estudio del presente trabajo es una cuenca típica de llanura en la que el agua es el principal agente de modelado del paisaje actual, el objetivo es identificar las distintas Unidades de Paisaje (UP) que la conforman a partir de variables cuya naturaleza nos permita predecir la ocurrencia de humedales en su seno.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Área de estudio:** El área de estudio, la cuenca del arroyo del Azul, se encuentra en la Ecorregión Pampa, una extensa planicie de 398966 km<sup>2</sup> considerada el ecosistema de praderas más importante de Argentina (Morello et al., 2012). Ubicada en la zona central de la provincia de Buenos Aires (Figura 1) dicha cuenca ocupa una superficie de 6237 km<sup>2</sup>, donde el 10% corresponde a un ambiente serrano perteneciente al Complejo Sierras Bonaerenses, y el resto a un ambiente llano incluido en el Complejo Pampa Deprimida. De acuerdo con los datos registrados en la estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, la precipitación media anual es de 951 mm (periodo 1992-2022), siendo marzo el mes con la máxima precipitación media mensual (125 mm), y junio el de la mínima (44 mm). En cuanto a la temperatura, la media anual es de 14,4 °C, siendo enero el mes más cálido (media máxima de 21,5 °C) y julio el mes más frío (media mínima de 7,5 °C). El clima de la región se clasifica como subhúmedo-húmedo, mesotérmico según la clasificación climática de Thornthwaite y Mather (1955). Desde el punto de vista hidrológico, por ser una cuenca de llanura, lo más notable del comportamiento del agua es la estrecha interacción que se establece entre los flujos superficiales y subterráneos, lo que genera la acumulación del agua dando lugar a la formación de humedales. Los excesos hídricos ocurren generalmente durante el otoño, el invierno y principios de la primavera (Chaneton et al., 2002), mientras que los períodos de déficit suceden durante el verano, asociados frecuentemente con las altas tasas de evaporación y evapotranspiración (Varni et al., 2014).

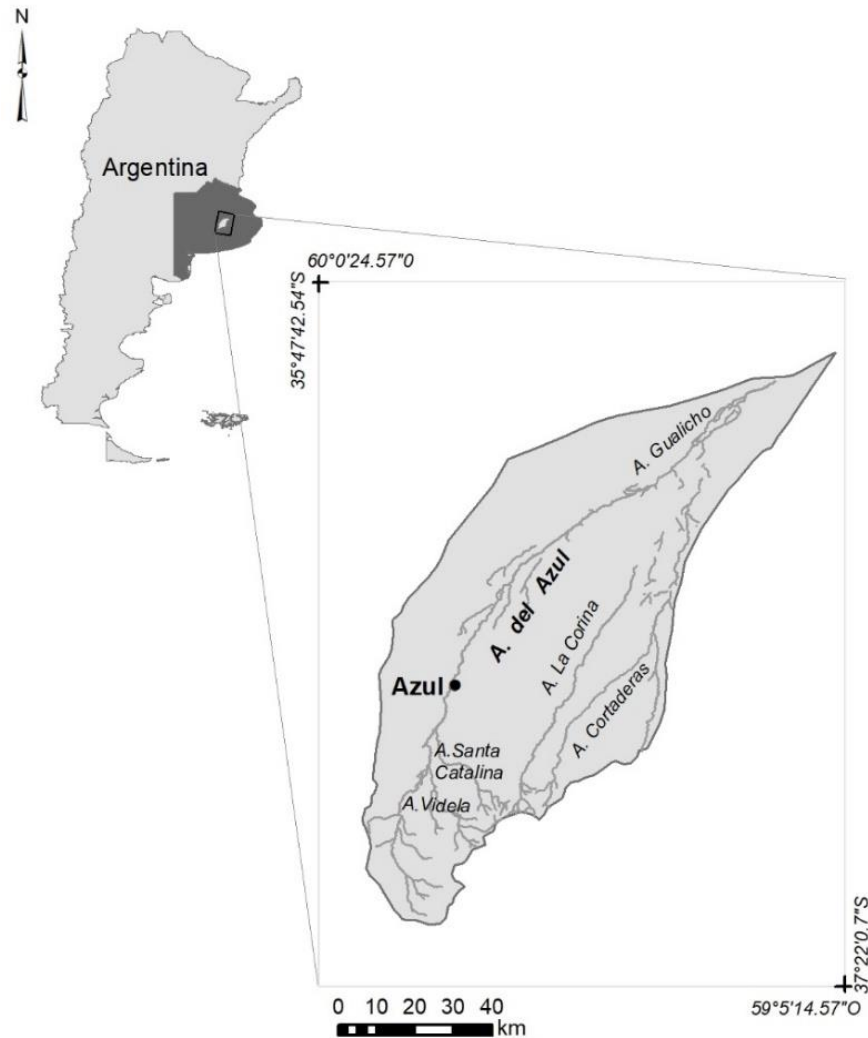


Figura 1. Ubicación relativa de la cuenca del arroyo del Azul y su red de drenaje.

Identificación y delimitación de Unidades de Paisaje: Según Mazzoni (2014) una UP se define como aquella combinación de elementos que genera, a determinada escala, una fisonomía particular y una organización morfológica diferenciada y diferenciable que le otorgan propiedades y aptitudes que le son propias. El suelo se considera una variable sintética al momento de identificar y delimitar a las UP, ya que las características edáficas son el resultado de un proceso altamente complejo que se desarrolla en la interfase atmósfera-biósfera-litósfera y continúa mientras el suelo evoluciona (Targulian y Goryachkin, 2004). En particular, la condición de drenaje del suelo influye directamente en la formación y persistencia de humedales, ya que una menor capacidad de drenaje propicia la retención de agua y la creación

de ecosistemas húmedos. Debido a que en el área de estudio no se cuenta con datos de condición de drenaje por cada unidad cartográfica, se recurrió al dato de capacidad de uso de las cartas de suelo (escala 1:50000) elaboradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1992). Las capacidades de uso están agrupadas en clases (I a VIII) que indican la intensidad de la condición limitante para el uso agronómico, y en subclases que hacen referencia a la naturaleza del factor limitante para dicho uso. En el área de estudio, las subclases presentes fueron 3: las relacionadas a suelos susceptibles a la erosión debido a sus características en cuanto a permeabilidad, cubierta vegetal y pendiente (e); aquellas con suelos poco profundos y baja capacidad de retención de humedad (s); y las dominadas por

suelos de drenaje deficiente, humedad excesiva, nivel freático alto y susceptibles a sufrir anegamientos frecuentes (w). Se estableció una relación entre dicha información y las condiciones de drenaje propuestas por Etchevehere (1998, Tabla 1). Los suelos considerados Bien drenados (Iles, IIIes, IVes, Vies, Ile y IIs) presentan condiciones óptimas de drenaje natural, es decir, retienen una cantidad óptima de agua después de las lluvias o el riego y, por otra parte, el exceso de agua se retira con facilidad, pero no con rapidez. Poseen algún horizonte de permeabilidad moderada, y están libres de moteados u otros síntomas de hidromorfismo. Los moteados son cambios de color difusos causados por variaciones en las condiciones químicas del suelo y la humedad, que origina una reducción y oxidación del hierro y manganeso expresándose en cambios de color en el perfil (Imbellone et al., 2010). Los suelos Moderadamente bien drenados (IIw, IIws y IIIws) son aquellos en los que el agua infiltra con cierta lentitud, lo cual los mantiene húmedos por pequeños pero significativos lapsos. Suelen tener algún horizonte de permeabilidad moderadamente lenta y/o un nivel freático relativamente somero. En los suelos Imperfectamente drenados (IVw, IVws y VIws) el agua se elimina algo lentamente, manteniéndose húmedos por períodos extendidos de tiempo. Estos suelos tienen por lo general algún horizonte de permeabilidad lenta y/o un nivel freático some-

ro. Los horizontes A suelen ser oscuros y espesos, con leves a moderados rasgos de hidromorfismo inmediatamente por debajo de los mismos. Por último, los suelos Muy pobremente drenados (VIIws) son aquellos en los cuales el agua se elimina tan lentamente que la capa freática permanece sobre o muy cerca de la superficie la mayor parte del tiempo. Estos suelos suelen ocupar depresiones, bajos y planos aluviales semipantanosos, como así también las charcas y lagunas temporarias.

Teniendo en cuenta las categorías de condición de drenaje se elaboró el mapa correspondiente que sirvió de base para la delimitación de las UP mediante la técnica de interpretación visual. Así, se digitalizaron sobre la pantalla (a escala 1:1.000.000) los límites de las mismas de acuerdo al patrón espacial expresado por las categorías de condición de drenaje. La técnica de interpretación visual es un proceso complejo que se utiliza en muchos campos de aplicación (cartografía urbana, usos del suelo, geomorfología) a fin de reconocer características y objetos en imágenes (CONAE, 2016), y en la cual es fundamental la experiencia y el entrenamiento de la persona que interpreta al momento de reconocer cambios teniendo en cuenta diferentes cuestiones tales como tono, color, textura y forma (Chuvieco, 2002; Tempfli et al., 2009).

Tabla 1. Relación entre las clases de Capacidad de uso y la Condición de drenaje del suelo.

Clase de Capacidad de uso	Condición de drenaje del suelo
Iles	Bien drenado
IIIes	
IVes	
Vies	
Ile	
IIs	
IIw	Moderadamente bien drenado
IIws	
IIIws	
IVw	Imperfectamente drenado
IVws	
VIws	
VIIws	Muy pobremente drenado

Descripción de las UP: Teniendo en cuenta el comportamiento regional de llanura de la cuenca bajo estudio, la estructura del paisaje de cada UP

fue descripta teniendo en cuenta aquellas variables consideradas artífices de las características edáficas que influyen directamente en la forma-

ción y persistencia de humedales y, por consiguiente, en el patrón que los mismos adquieren en el paisaje. Así, se consideraron las geoformas presentes, la pendiente regional, ciertos aspectos del comportamiento hídrico (superficial y subterráneo) y la preponderancia de las principales unidades de vegetación reconocidas. Se utilizó como base el estudio geomorfológico y caracterización geológico-estructural de la cuenca confeccionado por Zárate et al. (2010) a partir de información geológica producto de investigaciones previas (Tricart, 1973; Rabassa, 1973; Teruggi y Kilmurray, 1975; Fidalgo, 1983; Sala et al., 1987; Méndez Escobar et al., 1995), interpretación visual de imágenes Landsat y análisis de cartas topográficas.

A partir del mapa vectorial de las curvas de nivel (equidistancia de 2,5 m) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se calcularon las pendientes medias para cada UP según el criterio de Alvord (Villón, 2004), y luego se obtuvo el Modelo Digital del Terreno mediante la interpolación de las curvas.

**Hidrología:** El agua subterránea se caracterizó a partir del análisis de los registros semestrales del nivel freático (período 2013-2021) y de la conductividad eléctrica (período 2011-2021) obtenidos de 19 y 45 piezómetros someros (10 m de profundidad), respectivamente. En cuanto al agua superficial, se describieron los arroyos según su régimen (permanente o temporario), y las cubetas o lagunas temporarias en función de su tamaño, densidad y distancia entre ellas.

Para identificar las cubetas o lagunas temporarias se utilizaron tres imágenes Sentinel 2A/B obtenidas en agosto de 2019 procesadas al nivel L2A (Franjas HUV, HTV y HTU) a través de la plataforma web provista por el programa Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Se utilizaron las bandas que operan en el espectro visible (2, 3 y 4), en el infrarrojo cercano (banda 8), y en el infrarrojo de onda corta (banda 11), y se unieron las imágenes para obtener el mosaico del área de estudio mediante el software QGIS v3.16.15. (QGIS Development Team, 2021). Luego se llevó a cabo una clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest, utilizando la rutina TrainImagesClassifier perteneciente al Orfeo Toolbox, y luego se calculó la matriz de confusión junto con las métricas de evaluación de la clasificación. Como último paso de

la metodología, se extrajo la capa de cuerpos de agua del mosaico clasificado y, mediante el software Fragstats v.4.2.1. (McGarigal et al., 2002) se calcularon las métricas “Porcentaje de paisaje”, “Número de parches”, “Densidad de parches”, “Tamaño medio de parche” y “Distancia euclidiana del vecino más próximo” en cada UP.

La vegetación es un componente del paisaje de fácil percepción que expresa el efecto de las diferentes condiciones del medio físico del sistema y es indicadora de las características estructurales y funcionales del paisaje. Para describir la estructura del paisaje, las comunidades vegetales conforman un indicador mucho más adecuado que las especies individuales cuya distribución y abundancia está influida en mayor medida por procesos aleatorios (Batista et al., 2005). Para su análisis, se seleccionó una ventana de análisis (10 x 10 km) en cada UP teniendo en cuenta su adecuada representación del patrón espacial conformado por la condición de drenaje de los suelos y, al mismo tiempo, las posibilidades de acceso a los sitios para realizar el registro de especies vegetales de las coberturas discriminadas en la clasificación. En cada ventana, utilizando el software QGIS v3.16.15, se aplicó una clasificación no supervisada (algoritmo Isodata) utilizando como insumo imágenes Sentinel 2 (obtenidas en agosto de 2019) de la que se obtuvieron 7 clases: Pradera de mesófitas, Pradera húmeda de mesófitas, Pradera de hidrófitas, Cultivo, Suelo desnudo, Agua y Monte. Las denominaciones de las tres primeras clases se corresponden con las unidades de vegetación propuestas por Perelman et al., (2001) para los pastizales de la Pampa Deprimida, las cuales han sido analizadas en detalle en el área de estudio (Vercelli et al., 2013; Entraigas et al., 2017a; Entraigas et al., 2017b; Entraigas et al., 2019). Se propusieron transectas (5-8 km de extensión) orientadas de manera de contemplar la heterogeneidad paisajística de cada ventana de análisis, las que fueron recorridas a campo para registrar las especies indicadoras de cada cobertura (según Vercelli y Entraigas, 2021), y fotografiar los sitios a fin de analizar sus fisonomías.

## RESULTADOS

Se identificaron y delimitaron 5 UP en la cuenca del arroyo de Azul a partir del análisis e interpretación visual de la distribución espacial de los

suelos según su condición de drenaje (Figura 2). Las UP presentaron proporciones muy dispares entre ellas respecto a su condición de drenaje (Tabla 2). La UP1 se distingue por poseer un gran porcentaje de suelos Bien drenados (57.9%), los cuales no están representados en las demás UP. Los suelos más abundantes son los Argiudoles, caracterizados por el gran desarrollo de su perfil y con propiedades favorables para el desarrollo de la vegetación, razón por lo cual son destinados al uso agrícola, con rotaciones que incluyen a los cultivos de invierno (trigo, cebada cervecera y

ocasionalmente, alpiste) y de verano (soja, girasol y maíz). Por el contrario, en las proximidades de las áreas cumbreles de los cerros se reconoce la presencia de suelos someros debido a que la roca o el encostramiento calcáreo cercano a la superficie limitan la profundidad de exploración de raíces. Si bien los suelos Imperfectamente drenados y Muy pobremente drenados presentan en conjunto una ocupación considerable (35.5%), estos se encuentran restringidos a las inmediaciones de los arroyos.

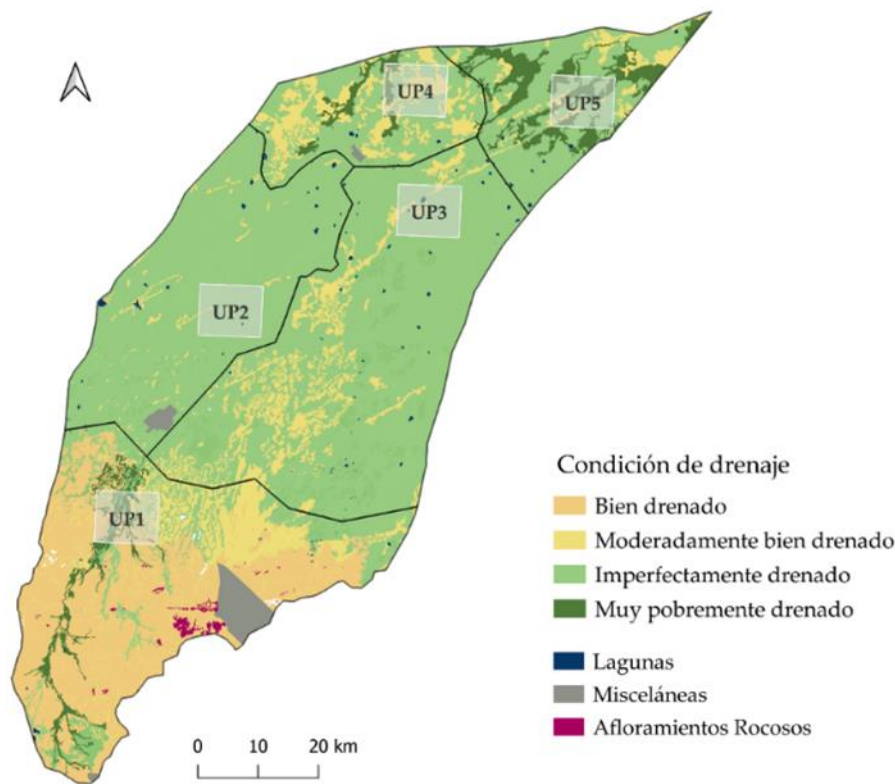


Figura 2. Unidades de paisaje delimitadas de acuerdo a la distribución espacial de los suelos según su condición de drenaje.

La UP2 y la UP3 representan la casi totalidad de la superficie con suelos Imperfectamente drenados (97.5 y 85.8%, respectivamente), aunque la UP3 cuenta con un área mayor de suelos Moderadamente bien drenados (14.2%). En el caso de la UP2, los Natrudoles son los suelos que predominan en más de la mitad de la superficie de la misma, mientras que en el área restante predominan los Natracualfes y Natracuoles y los Pa-

leudoles y Argiudoles se presentan en muy baja proporción. La presencia de estos suelos conduce a que esta área sea destinada principalmente al uso ganadero, aunque hay zonas en las que se implantan cultivos o pasturas para forraje. Por otro lado, en el caso de la UP3, se encuentran los grupos Natracualfes, Natracuoles y Paleudoles en una proporción equitativa, y los Argiudoles y Natrudoles se hallan en escasa cantidad. En esta

Unidad el uso del suelo es predominantemente ganadero hacia el norte, y ganadero/agrícola hacia el sur de la misma.

La UP4, presenta un 33% de su área con suelos Moderadamente bien drenados pero el resto corresponde a suelos con deficiencias más severas en su drenaje. En esta zona, la mayor parte de los suelos pertenecen a los grupos Natracualfes y Hapludoles. En menor medida se encuentran Natrudoles, Epiaquerts, Argiudoles y los Complejos Indiferenciados. Si bien esta área presenta un uso principalmente ganadero de las tierras, es posible encontrar mayor cantidad de superficie destinadas al uso agrícola respecto a las demás UP (a excepción de la UP1).

Por último, la UP5 se destaca por presentar la mayor superficie con suelos Muy pobremente

drenados (26%) con respecto a las demás UP. La mayor parte de la superficie la ocupan los Natracuales y los Complejos Indiferenciados. Luego, acompañan los Hapludoles, Natracualfes, Natrudoles, Epiaquerts y, en muy menor medida, los Argiudoles. En esta zona el uso de la tierra es predominantemente ganadero.

En cuanto a los resultados de la clasificación supervisada para los cuerpos de agua, la matriz de confusión mostró una buena clasificación en general, con un índice de precisión global de 0,89 y un índice kappa de 0,86, los cuales indican una concordancia tolerable entre las clasificaciones observadas y las esperadas. Por otro lado, los valores de precisión, recall y F-score fueron 0,99; 0,71 y 0,71, respectivamente.

Tabla 2. Representatividad areal en km<sup>2</sup> y % de las Condiciones de Drenaje en cada UP (Se excluyeron de los cálculos las lagunas, los afloramientos rocosos y las áreas misceláneas).

UP	Bien drenado		Moderadamente bien drenado		Imperfectamente drenado		Imperfectamente drenado	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
	UP1	990,7	57,9	297,6	17,4	310,2	18,1	113,6
UP2	1,0	0,1	29,9	2,4	1190,12	97,5	-	-
UP3	-	-	276,2	14,2	1667,7	85,8	-	-
UP4	-	-	189,4	32,8	343,7	59,6	43,7	7,6
UP5	-	-	70,1	11,0	400,3	63,0	165,0	26,0

De acuerdo a las características generales y el análisis detallado a nivel de las ventanas de análisis, se propone la siguiente síntesis de los paisajes presentes de la cuenca del Azul:

La UP1 se extiende por 1813 km<sup>2</sup>, con altitudes máximas de 379 y 359 msnm y las pendientes regionales son las más pronunciadas de la cuenca (3,5%), con algunos sectores en que alcanzan valores del 5%. En líneas generales, el paisaje se caracteriza por una matriz en damero debido a la parcelación agrícola, con valles, laderas y piedemontes utilizados para agricultura y, en menor medida, ganadería. En la matriz se encuentran parches de cubetas, cursos de agua, pastizales, montes y afloramientos rocosos, mientras que los arroyos, riberas, vías, banquinas y alambrados

constituyen corredores en este paisaje agrícola. A esta UP se la denominó Paisaje de matriz terrestre de cultivos con humedales de cabecera.

En cuanto al agua superficial, esta zona es origen de varios arroyos, incluido el arroyo del Azul, y sus tributarios, Santa Catalina y Videla, todos ellos de régimen permanente. Asimismo, se sitúan las nacientes de otros dos arroyos, La Corina y Cortaderas, los cuales se caracterizan por presentar un régimen semipermanente. Las cubetas cubren una superficie de 906,7 ha (0,5% de la superficie de la UP), presentan una baja densidad (0,3 cubetas/100 ha), son pequeñas (tamaño medio de 1,7 ha) y muy dispersas (579,2 m entre ellos). Con respecto al agua subterránea, los valores promedio de la profundidad del nivel freático



a partir de los registros de 4 piezómetros, oscilan entre un máximo de 3,10 m (febrero de 2017) y un mínimo de 0,58 m (agosto de 2014); mientras que la conductividad eléctrica promedio estimada a partir de los registros de 18 piezómetros es de 772  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Tal como se mencionaba anteriormente, en este paisaje (Figura 3a) se evidencia una matriz agrícola dominante (31,5% de cultivos y 51,4% de suelo desnudo), con praderas húmedas de mesófitas en los bordes de los arroyos, asociadas a cuerpos de agua. Las praderas de mesófitas se encuentran en áreas específicas como cimas de cerros, laderas y alrededor de los lotes cultivados. Los humedales de cabecera, aunque ocupan una mínima área (0,9%), presentan una dinámica particular ya que en períodos secos son incorporados a la actividad agrícola, mientras que en los períodos de excesos hídricos se colmatan y el exceso de agua se transporta por la pendiente alimentando a los arroyos (Ares y Entraigas, 2022). La transecta recorrida a campo atravesó en primera instancia al arroyo Santa Catalina, el cual presenta sus orillas parcialmente invadidas por ejemplares de *Salix fragilis* y, en otros sectores, remanentes de pastizal modificado (dominado por *Festuca arundinacea*, *Lolium multiflorum*, *Carduus acanthoides*, *Dipsacus fullonum*, entre otras especies). En los sitios con Praderas húmedas de mesófitas se encontraron especies tales como *Eleocharis bonariensis*, *Schoenoplectus pungens*, *Festuca arundinacea* y *Lotus tenuis*. Sin embargo, ciertos sectores, tales como bordes de canales y vías de escurrimiento temporales, son colonizados por totorales monoespecíficos de *Typha* sp. Por otro lado, en las Praderas de hidrófitas se reconocieron ejemplares de *Ricciocarpus natans*, *Ludwigia peploides*, *Schoenoplectus californicus* y *Ranunculus apiifolius*. Por último, en cuanto a los cultivos, se ha observado implantación de maíz y soja. Cabe destacar que, si bien no se detectan en la clasificación propuesta, en las veras de los cultivos suelen encontrarse pequeños remanentes de Praderas de mesófitas invadidos por especies consideradas malezas, tales como *Ammi majus*, *Rapistrum rugosum*, *Carduus acanthoides*, *Cirsium vulgare*, *Medicago lupulina*, entre otras.

La UP2 ocupa un área de 1241,5 km<sup>2</sup> y pertenece al Complejo Pampa Deprimida (al igual que las siguientes UP) por lo cual se caracteriza por un

relieve extremadamente llano, con alturas relativas que raramente pasan los 5 a 10 m y cuya pendiente media no supera el 1,6%. Este paisaje se reconoce por la presencia de una matriz terrestre casi continua de pastizales naturales la cual presenta parches de algunas pocas parcelas cultivadas emplazadas en los sectores más elevados del paisaje y escasos cuerpos de agua. La expresión de estas coberturas está condicionada por la característica de los suelos (la mayoría son imperfectamente drenados) lo que resulta en un paisaje a gran escala homogéneo con una fisonomía típica de pradera de llanura. A esta UP se la denominó Paisaje de matriz terrestre de pastizales naturales con escasas cubetas.

Con respecto al agua subterránea, los valores promedio de la profundidad del nivel freático a partir de los registros de 7 piezómetros, oscilan entre un máximo de 2,05 m (febrero de 2017) y un mínimo de 0,22 m (agosto de 2014); mientras que la conductividad eléctrica promedio estimada a partir de los registros de 18 piezómetros es de 865  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . En cuanto al agua superficial, se observa la presencia de la continuación del arroyo del Azul (de régimen permanente) y, en relación a los cuerpos de agua, el análisis de las métricas señala que las cubetas cubren una superficie de 2725,3 ha (2,1% de la superficie de la UP), presentan una baja densidad (1,0 cubetas/100 ha), son pequeñas (tamaño medio de 2,0 ha) y dispersas (323,6 m entre ellas).

La estructura del paisaje de la UP2 (Figura 3b) presenta una matriz de Pradera de mesófitas que ocupa más de la mitad del área total (53.9%) y a la cual le sigue en proporción la Pradera húmeda de mesófitas (30.5%). La primera incluye también manchones de Estepas de halófitas que, por la escala del trabajo, no se distinguen cartográficamente. Las Praderas húmedas de mesófitas ocupan principalmente sitios que funcionan como vías de escurrimiento preferenciales, mientras que las Praderas de hidrófitas (11%) se encuentran asociadas estrechamente a las cubetas. La transecta recorrida a campo atravesó, en primera instancia, al arroyo del Azul, el cual en los últimos años presenta un marcado aumento de la vegetación leñosa de sus orillas, encontrándose ejemplares de *Salix fragilis*, *Gleditsia triacanthos* y, en menor medida, *Celtis tala*. En los sitios con Pradera de mesófitas, se registraron especies tales como *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon*,



*Jarava plumosa*, *Piptochaetium* sp., *Bothriochloa laguroides*, *Paspalum quadrifarium*. Por otro lado, la Pradera húmeda de mesófitas se encuentra representada por ejemplares de *Eleocharis bonariensis*, *Mentha pulegium*, *Lotus tenuis*, *Leontodon taraxacoides*, *Lachnagrostis filiformis*, *Paspalum quadrifarium*, mientras que en los sitios con Pradera de hidrófitas es común encontrar especies tales como *Schoenoplectus californicus*, *Ricciocarpus natans*, *Lemna* sp., *Solanum glaucophyllum* y *Ludwigia peploides*.

La UP3 se encuentra en la porción oriental del sector de la cuenca media del arroyo del Azul y abarca un área de 1930 km<sup>2</sup>. Las pendientes medias rondan el 1,75% y se observa la presencia de cubetas de deflación, dunas y canales de drenaje. En líneas generales, el paisaje se caracteriza por una matriz formada por un mosaico de humedales conformada por Praderas húmedas de mesófitas y Praderas de mesófitas, en la cual se dispone una gran cantidad de pequeñas cubetas en cuyo interior y márgenes se desarrollan Praderas de hidrófitas. Los parches de cultivos, por su parte, se asientan sobre lomadas especialmente dispersas. A diferencia de la UP2 aquí el paisaje se encuentra dominado por numerosas cubetas y las comunidades vegetales típicas de los ambientes inundables son las protagonistas, por lo que la matriz se constituye como humedal. Cabe señalar que debido a que esta UP integra un ambiente marcadamente de transición entre el sector serrano y el llano, el paisaje presenta una cierta heterogeneidad interna expresada tanto en sus pendientes como en la densidad de los cuerpos de agua. A partir de la observación de la ventana de análisis (ubicada en el sector más tendido) a esta UP se la denominó Paisaje de matriz de humedal con predominancia de cubetas.

Con respecto al agua superficial, en esta UP se halla el arroyo del Azul y la continuación de los arroyos La Corina y Cortaderas. Las cubetas ocupan una superficie de 5092,4 ha (2,6% de la superficie de la UP), y presentan valores intermedios respecto a las demás UP en cuanto a densidad (1,5 cubetas/100 ha), tamaño (1,7 ha) y dispersión (261,5 m entre ellas). En cuanto al agua subterránea, los valores promedio de la profundidad del nivel freático a partir de los registros de 3 piezómetros, oscilan entre un máximo de 2,46 m (febrero de 2017) y un mínimo de 0,51 m (agosto de 2014) la conductividad eléctrica promedio esti-

mada a partir de los registros de 10 piezómetros es de 1093,2  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

La estructura del paisaje de la UP3 (Figura 3c) presenta porciones casi equitativas de Pradera húmeda de mesófitas y de Pradera de mesófitas (38,7% y 33,4%, respectivamente). Esta última, al igual que ocurre en la UP2, se encuentra interrumpida por manchones de Estepas de Halófitas. Las coberturas restantes presentan una disposición atomizada, conformando parches en el paisaje. En la transecta seleccionada en esta ventana, se puede observar en primera instancia, la Pradera de mesófitas combinada con la Estepa de halófitas donde se destacan ejemplares de *Distichlis spicata*, *Distichlis scoparia*, *Hordeum pusillum*, *Lolium multiflorum*, *Phyla nodiflora* y *Spergula ramosa*. En segunda instancia, respecto a la Pradera de hidrófitas, la misma está representada por ejemplares de *Schoenoplectus californicus*, *Bacopa monnieri*, *Eleocharis bonariensis*, *Alternanthera philoxeroides*, *Ranunculus apiifolius* y *Paspalum vaginatum*. Por último, la Pradera húmeda de mesófitas contiene especies tales como *Lolium multiflorum*, *Lachnagrostis filiformis*, *Lotus tenuis*, *Phalaris platensis*, *Mentha pulegium*, *Agalinis communis* y *Glyceria multiflora*.

La UP4 se encuentra localizada en la porción NO de la cuenca del arroyo del Azul y abarca una superficie de 581,6 km<sup>2</sup>. La pendiente media no supera el 1,1% y se observa la presencia tanto de cubetas de deflación como de canales de drenaje. En líneas generales, el paisaje posee una matriz terrestre mixta en la que se combinan los pastizales naturales con la superficie destinada al uso agrícola, en cuyo seno se disponen numerosas cubetas, aunque a diferencia de las restantes UP, sin arroyos que la surquen. La composición mixta de la matriz refleja la presencia de suelos Moderadamente bien drenados (sitios destinados a los cultivos) y de aquellos Imperfectamente drenados (sitios en los cuales se disponen los pastizales naturales). A esta UP se la denominó Paisaje de matriz terrestre mixta con abundantes cubetas.

Los valores promedio de la profundidad del nivel freático a partir de los registros de 2 piezómetros, oscilan entre un máximo de 3,41 m (febrero de 2017) y un mínimo de 0,41 m (agosto de 2014); mientras que la conductividad eléctrica promedio estimada a partir de los registros de 3 piezomé-

tros es de 1302,8  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Con respecto al agua superficial, en esta UP no se encuentran cursos de agua permanentes. Por otro lado, el análisis de las métricas de los cuerpos de agua señala que las cubetas ocupan una superficie de 2970,5 ha (5,1% de la superficie de la UP), presentan mayor densidad (2,3 cubetas/100 ha), tamaño (2,25 ha) y cercanía (227,1 m) respecto a las anteriores UP analizadas.

En la estructura del paisaje de la UP4 (Figura 3d) se observa una Pradera de mesófitas dominante (40,6 %) con parches de cultivo (29,7%) debido a la presencia de suelos de buena aptitud agrícola. Se trata entonces de un paisaje similar al de la UP2, aunque con mayor número y tamaño de cubetas, y sin la presencia de dunas ni cursos de agua permanentes. La transecta seleccionada en esta ventana atraviesa en primera instancia cultivos los cuales, en su mayoría, son destinados a forraje para el ganado (raigrás, maíz, sorgo). En segunda instancia, la Pradera de hidrófita se encuentra representada por ejemplares de *Schoenoplectus californicus*, *Ricciocarpus natans*, *Solanum glaucophyllum*, *Alternanthera paronychioides*, *Ludwigia peploides* y *Polygonum hydropiperoides*. Por último, la Pradera de mesófitas presenta abundantes ejemplares de *Festuca arundinacea*, *Lolium multiflorum*, *Vulpia* sp., *Bromus hordeaceus*, *Gaudinia fragilis*, *Trifolium repens* y *Plantago lanceolata*.

La UP5 se encuentra en el extremo norte de la cuenca del arroyo del Azul, abarcando una superficie de 637,3  $\text{km}^2$  donde se registran los valores más bajos de pendiente media (no mayores al 1%). Las geformas presentes son las cubetas de deflación, los canales de drenaje y las dunas. El rasgo más distintivo de este paisaje quizá sea la presencia de bañados, emplazados en suaves y extensas depresiones de muy escasa pendiente que conectan a los demás elementos del paisaje. La matriz de esta zona la integra la Pradera Húmeda de Mesófitas, mientras que los lotes cultivados se circunscriben a las dunas. A esta UP se la denominó Paisaje de matriz de humedal con predominancia de bañados.

En cuanto al agua superficial, se observa la presencia de la porción terminal del arroyo del Azul,

en la cual el mismo cambia su denominación a arroyo El Gualicho y desemboca en el Canal 11. En relación a los cuerpos de agua, el análisis de las métricas señala que los mismos ocupan una superficie de 6632,1 ha lo cual representa un 10,41% de la superficie de la UP y el mayor porcentaje respecto a las demás UP. Consecuentemente con ello, sucede de la misma manera con los valores de densidad (3,0 cubetas/100 ha) y tamaño medio (3,5 ha) e inversamente con la distancia entre cuerpos de agua (161,3 m). Con respecto al agua subterránea, los valores promedio de la profundidad del nivel freático a partir de los registros de 3 piezómetros, oscilan entre un máximo de 2,64 m (febrero de 2017) y un mínimo de 0,34 m (agosto de 2014); mientras que la conductividad eléctrica promedio estimada a partir de los registros de 3 piezómetros es de 1516  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

La estructura del paisaje de la UP5 (Figura 3e) se corresponde con un alto porcentaje de Pradera húmeda de mesófitas (46,7%) y una gran proporción ocupada por agua (13,1%). A diferencia de las demás UP, aquí el agua no solo ocupa las cubetas, sino que también se encuentra formando bañados, los cuales son áreas de suelo anegado sin contorno o perímetro definido (Dangavs, 2005). Los cultivos, por su parte, se encuentran restringidos al área de las dunas. La transecta seleccionada en esta ventana atraviesa en primera instancia la Pradera de hidrófitas, la cual se encuentra representada por especies tales como *Schoenoplectus californicus*, *Solanum glaucophyllum*, *Alternanthera philoxeroides*, *Malvella leprosa*, *Lachnagrostis filiformis* y *Xanthium strumarium*. En el siguiente punto de muestreo, se hallan ejemplares de *Cynodon dactylon*, *Lachnagrostis filiformis*, *Lolium multiflorum*, *Ambrosia tenuifolia*, *Mentha pulegium*, *Phyla nodiflora* y *Chaetotropis elongata* los cuales componen la Pradera húmeda de mesófitas. Por último, en los bañados se encuentran ejemplares de especies tales como *Cynodon dactylon*, *Distichlis scoparia*, *Distichlis spicata*, *Hordeum pusillum*, *Schoenoplectus pungens*, *Xanthium strumarium* y *Eleocharis bonariensis*.

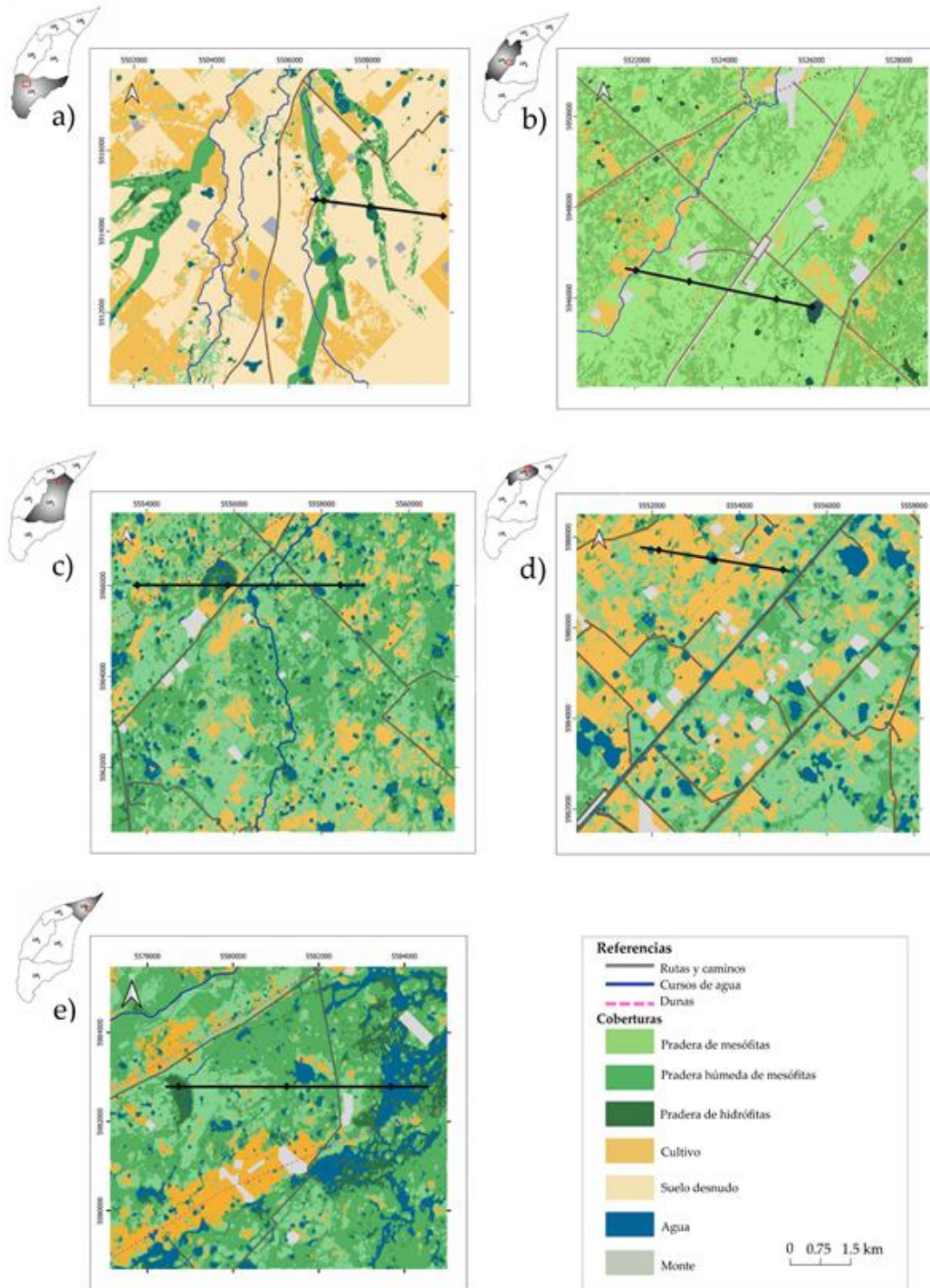


Figura 3. Ventanas de análisis del paisaje en las cinco UP delimitadas.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Tal como se mencionó en un principio, las cuencas son sistemas complejos, dinámicos y abiertos, pero como unidades de análisis, resultan sumamente heterogéneos. Por ello, distintos ambientes de una cuenca determinan la presencia de diversos tipos de humedales, cada uno con características hidrológicas específicas, lo que a su vez afecta su funcionamiento ecosistémico (Kandus y Minotti, 2019). Los humedales, como componentes vitales de las cuencas, representan nodos fundamentales en la red hidrológica y ecológica de sus paisajes. El enfoque ecohidrogeomórfico del paisaje recupera el aspecto funcional de los ecosistemas de humedal, pone énfasis en la estrecha relación entre el estado de los mismos y su entorno, y posiciona, entonces, al paisaje como unidad natural de gestión de los humedales (Kandus y Minotti, 2018; Kandus et al., 2019). Al mismo tiempo, permite conceptualizar los humedales en un contexto más amplio a través del análisis de su configuración espacial, conectividad, variabilidad temporal y vinculación funcional. En el presente trabajo, se identificaron 5 paisajes en la cuenca del arroyo del Azul, los cuales difirieron en cuanto al arreglo espacial del patrón de drenaje de los suelos, viéndose reflejado a su vez, en la presencia de las distintas comunidades vegetales y su disposición en el espacio (Figura 4).

La UP1, localizada en el ambiente serrano, se caracteriza por una matriz con apariencia de damero producto de su parcelación debido al uso agrícola. Inmersos en esa matriz se encuentran parches constituidos por cubetas asociadas a las nacientes de los principales cursos de agua, remanentes de pastizal natural, montes y afloramientos rocosos; mientras que los arroyos con sus humedales de cabecera, sus riberas, las veras de las rutas y caminos vecinales, las vías ferroviarias y los bordes de los alambrados constituyen corredores que surcan el paisaje agrícola. Las restantes UP identificadas se ubican en el sector llano, cuyo paisaje se caracteriza por su escasa pendiente, suelos con algún grado de deficiencia en su drenaje, y una matriz de pastizales naturales; condiciones que limitan el uso de las tierras casi con exclusividad a la actividad ganadera. Los pastizales naturales contienen las mismas cuatro comunidades vegetales que el ambiente serrano, aunque las Estepas de halófitas cobran una ma-

yor representatividad areal en la llanura. Esta comunidad se dispone como manchones en el seno de la Pradera de mesófitas, los cuales no pudieron ser distinguidos a la escala de trabajo seleccionada para su inclusión en el mapa de coberturas, aunque sí fueron identificados a campo. Las dunas, las lunettes y algunas pocas áreas con relieve positivo conforman las únicas áreas en las que se practica la agricultura. Las cubetas, los montes y los lotes con cultivos forrajeros se constituyen como parches, mientras que los corredores son de la misma naturaleza que en el ambiente serrano, con la adición de las dunas que surcan la matriz del paisaje. A medida que se arriba al extremo distal de la cuenca, se denota una mayor superficie del paisaje ocupada por cuerpos de agua y una mayor densidad de los mismos. En esta zona en particular, los suelos poseen las condiciones de drenaje más severas, favoreciendo así el emplazamiento de humedales. Ligado a esto, es posible observar cómo las praderas húmedas de mesófitas en las UP1, UP2 y UP4 se encuentran restringidas a parches y corredores y en las UP3 y UP5 pasan a formar parte de la matriz del paisaje reflejando así, las características edáficas subyacentes. En cuanto al análisis de la profundidad del nivel freático, este no mostró diferencias considerables entre las unidades de paisaje. Sin embargo, se halló una fecha de déficit y exceso hídrico coincidente en todas las unidades de paisaje (febrero de 2017 y agosto de 2014, respectivamente). Por otro lado, el aumento de la conductividad eléctrica en sentido SO-NE fue coincidente con los reportes de Zabala et al. (2016).

Teniendo en cuenta que el área de estudio seleccionada para el presente trabajo es una cuenca de llanura en la cual la escasa pendiente del terreno restringe el movimiento horizontal del agua favoreciendo su acumulación sobre la superficie, la discretización del paisaje a partir de las condiciones de drenaje de los suelos se constituye como una herramienta de gran utilidad para interpretar su funcionamiento hidrológico y, por consiguiente, predecir la presencia de humedales en el sistema. En este sentido, el reconocimiento de los distintos paisajes de la cuenca del arroyo del azul (y su consecuente delimitación en UP) es una tarea que lleva implícita la identificación de aquellos indicadores que se consideran artífices de la organización del paisaje. El informe final de la pro-

puesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales (Kandus y Minotti, 2018) así como también los ejercicios pilotos realizados previamente (Arzamendia et al., 2018; Izquierdo et al., 2018; Arzamendia et al., 2018b; Minotti y Kandus, 2017; Firpo Lacoste et al., 2018) e informes pos-

teriores (Kandus et al., 2019) son algunos ejemplos de desafío que representa el mapeo de los ecosistemas de humedal y en los cuales la interpretación visual ha sido una herramienta fundamental para el arribo de sus resultados.

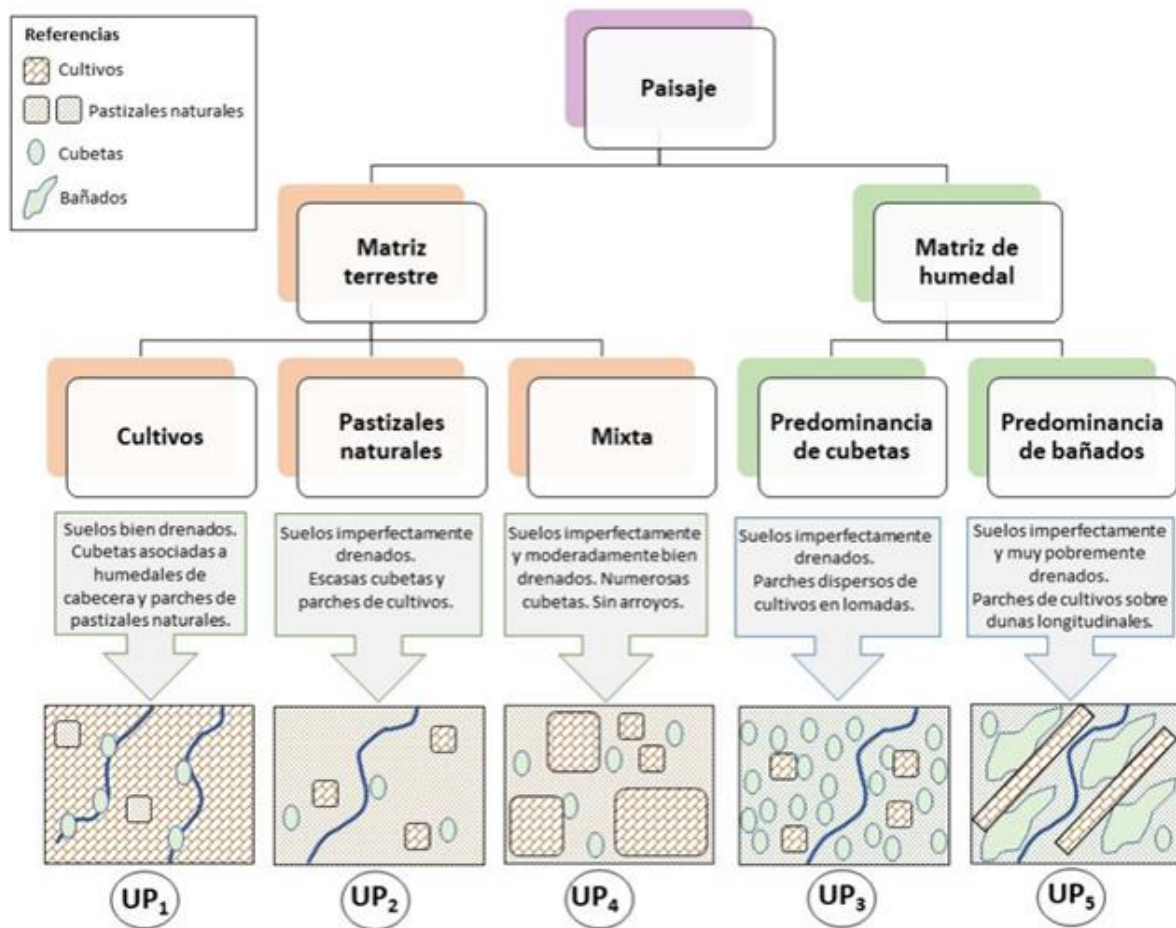


Figura 4. Esquema sintético de la estructura del paisaje de las diferentes UP identificadas en la cuenca del arroyo del Azul.

El enfoque ecohidrogeomórfico del paisaje destaca la importancia de los aspectos funcionales de los ecosistemas de humedales, destacando que el paisaje debe considerarse la unidad natural para la gestión de estos ecosistemas. De esta manera, las acciones de ordenamiento territorial, la potencialidad de usos y el diagnóstico ambiental se deberían focalizar sobre el paisaje en forma integrada (y no atendiendo a un ecosistema en particular) logrando una gestión integrada de los re-

ursos hídricos. Se considera que los análisis de esta naturaleza son imprescindibles para planificar el uso del territorio implementando medidas que permitan conservar los recursos naturales (suelo, agua, vegetación y fauna) al mismo tiempo que se optimice la producción destinando los ambientes según sus aptitudes.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Proyecto de Unidad Ejecutora N° 22920200100035CO. El contenido es parte del proyecto de investigación de Micaela Chindamo, tesista de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) y estudiante del Docto-

rado en Ciencias Aplicadas mención Ambiente y Salud (DCAAS, UNICEN, Argentina). Agradecemos los aportes de la Ing. Luisa Fajardo y de la Lic. Fernanda Dávila, como así también de los técnicos Enrique Queupán, Joaquín Rodríguez y Andrés Bentivegna.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ares, G. y Entraigas, I. (2022). Los efectos de la heterogeneidad espacial y temporal sobre la pérdida de suelo en una cuenca agrícola. *Ecosistemas*, 31(2), 2298-2298. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2298>
- Arzamendia, V., D. García, A. Giraudo, S. Gra-ciani, E. Mihura, C. Ramonell, L. Rodríguez y E. Veizaga, E. Bazán, C. Argüello y M. Bressan. (2018a). Inventario de Humedales en sitio piloto Subcuenca del A° Ya-guarí, Corrientes. Informe Final. Universidad Nacional del Litoral.
- Arzamendia, Y., Solis, N. Baldo, J.; De Paul, M., Carabajal, O., Rojo, V. y H. Lamas. (2018b). Sitio piloto provincia de Jujuy: Cuenca Endorreica Olaroz – Cauchari (Dptos. Rinconada y Susques) Relevamiento subcuenca Río Rosario, Nivel 3. Informe Técnico. Universidad Nacional de Jujuy. Convenio MAYS-UNJU. Jujuy, Argentina. 275 pp.
- Batista, W., Taboada M., Lavado R., Perelman S., y R. León. (2005). Asociación entre comunidades vegetales y suelos en el pastizal de la Pampa Deprimida. Pp. 113-129 en Oesterheld, M., Aguiar, M. R., Ghersa, C. M., y Paruelo, J. M (eds.) La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Bridgewater, P. y Kim R. (2021). The Ramsar convention on wetlands at 50. *Nature Ecology & Evolution*. 5(3):268-270. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01392-5>
- Brinson, M. (1993). A hydrogeomorphic classification for wetlands. Wetlands research program technical report WRP-DE-4. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Chaneton, E., Perelman S., Omancini M. y León, R. (2002). Grazing, environmental heterogeneity, and alien plant invasions in temperate grasslands. *Biological Invasions* 4: 7-24
- Chuvienco, E. (2002). Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia, Barcelona.
- Colter, H y Priego A. (2004). El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Iermapalapa. Pp. 63-74. Colter, H. (comp.) en El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D.F., México.
- CONAE. (2016). Guía de Interpretación Visual de Imágenes Satelitales. Programa Educativo 2Mp. Buenos Aires, CONAE, pp. 1-11. Disponible en [https://2mp.conae.gov.ar/descargas/Documentos/Guia\\_de\\_interpretacion\\_visual\\_de\\_imagenes\\_satelitales.pdf](https://2mp.conae.gov.ar/descargas/Documentos/Guia_de_interpretacion_visual_de_imagenes_satelitales.pdf)
- Dangavs, N. y Reynaldi J. (2008). Paleolimnología de la laguna Cerrillo del Medio, Monte, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 63(1): 29-42.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework—Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Entraigas, I., Chiramberro, S., de Dominicis, H., Vercelli, N., Bongiorno, F. y Ramaglio, J. (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.
- Entraigas, I., Vercelli, N. y Fajardo, L. (2019). Plant communities along preferential superficial water flow paths across a floodplain landscape. *Ecohydrology*. 12(6): e2124. <https://doi.org/10.1002/eco.2124>
- 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>
- Etchevehre, P. (1998). Normas de reconocimiento de suelos. Universidad Nacional Loma de Zamora. Buenos Aires, Argentina.
- Fidalgo, F. (1983). Algunas características de los sedimentos superficiales en la cuenca del Río Salado y en la Pampa Ondulada. Pp. 1045-1067 en M.C., Fuschini Mejia (ed.). Hidrología de las grandes llanuras. Actas del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Olavarría, Buenos Aires, Argentina.
- Firpo Lacoste, F. (2018) Inventario de Humedales del Chaco Semiárido (provincia de Salta). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Forman, R. y Godron, M. (1986). Landscape ecology. Primera edición. John Wiley & Sons. New York, New York, USA.
- INTA (1992). Cartas de Suelos de la República Argentina. Hojas: 3760- 4 (Velloso); 3760-5 (Las Flores); 3760-6 (Casalins); 3760-10 (Cachari); 3760-11 (Martín Colman); 3760-15 (Olavarría); 3760-16 (Azul); 3760-17 (Rauch); 3760-21 (16 de Julio); 3760-22 (Chillar) y 3760-23 (Tandil). Instituto de Suelos. Centro de Investigaciones en Recursos Naturales. INTA. Buenos Aires.
- Kandus, P. y Minotti, P. (2018). Propuesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín Buenos Aires, Argentina.
- Kandus, P. y Minotti, P. (2019). Conceptos y enfoques metodológicos para un inventario de humedales a escala nacional: el paisaje como organizador. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*. 9(1): 84-89.
- Kandus, P., Minotti, P., Morandeira, N. y Gayol, M. (2019). Inventario de Humedales de la Región del Complejo Fluvio-litoral del Bajo Paraná. Programa Corredor Azul. Fundación Humedales, Wetlands International y Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires, Argentina.
- Kandus, P., Quintana, R., Minotti, P., Oddi, J., Baigún, C., Trilla, G. y Ceballos, D. (2011). Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. Pp. 265-290 en P. Littera, Jobágyi, E.G. y J.M. Paruelo (eds.) Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Keddy, P. (2000). Wetland ecology: principles and conservation. Segunda edición. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Mazzoni, E. (2014). Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. *Revista de Geografía*. 16(2):51-8.
- McGarigal, K., Cushman, S., Neel, M. y Ene, E. (2002). Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Méndez E, R., Usunoff, E. y Weinzettel, P. (1995). Aportes al conocimiento del subsuelo de la cuenca del arroyo Azul (provincia de Buenos Aires). V Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales (La Pampa).
- Minotti P. y P. Kandus. (2017). Proyecto Piloto de Inventario de Humedales de los Partidos de Lujan, Pilar y Escobar. Informe Técnico. MAYDS. pp
- Mitsch, W. y Gosselink, J. (2000). Wetlands. Tercera edición. John Wiley & Sons. Hoboken, Nueva Jersey, USA.
- Morello J., Matteucci, S., Rodríguez, A. y Silva, M. (2012). Ecorregiones y complejos Ecosistémicos de Argentina. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires Argentina
- Murkin H., Van der Valk, A y Clark, W. (2000). Prairie wetland ecology: the contribution of the Marsh Ecology Research Program. Iowa



- State University Press.
- Nogué, J. (2010). El paisaje en la ordenación del territorio. La experiencia del Observatorio del Paisaje de Cataluña. *Estudios geográficos*. 71(269): 415-448. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201014>
- Perelman S., León, R. y Oesterheld, M. (2001). Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *Journal of Ecology*. 89(4): 562-577.
- Quantum GIS Development Team. (2021). Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.orgSoftware>.
- Quintana, R., Bó, R., Astrada, E. y Reeves, M. (2014). Lineamientos para una ganadería ambientalmente sustentable en el Delta del Paraná. Primera edición. Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales. Buenos Aires, Argentina.
- Rabassa, J. (1973). Geología superficial en la Hoja. Sierra de Tandil, provincia de Buenos Aires. *Anales LEMIT, Serie II-240*, 115-160
- Sala J., Krause, E. y Agugliano, R. (1987). Investigación hidrológica de la cuenca del arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires. Informe 37
- Semeniuk, V. y Semeniuk, C. (1997). A geomorphic approach to global classification for natural inland wetlands and rationalization of the system used by the Ramsar Convention—a discussion. *Wetlands Ecology and Management*. 5(2):145-158.
- Targulian, V. y Goryachkin, S. (2004). Soil memory: Types of record, carriers, hierarchy and diversity. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 21(1):1-8.
- Tempfli, K, Kerle, N., Huurneman, G., y Jansse, L. (2009). Principles of Remote Sensing. An introductory text book. Enschede, ITC. Disponible en [https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers\\_2009/general/principlesremotesensing.pdf](https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2009/general/principlesremotesensing.pdf)
- Teruggi, M y Kilmurray, J. (1975). Tandilia. Relatorio Geológico de la Provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino, 55-57.
- Thornthwaite, C. y Mather, J. (1955). The Water Balance. *Publications in Climatology*. VIII. 1:1-104. Drexel Institute of Climatology, Centerton, New Jersey.
- Tricart, J. (1973). Geomorfología de la Pampa Deprimida: base para los estudios edafológicos y agronómicos (Vol. 12, p. 202). Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación, INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Turner, M., Gardner, R. y O'Neill, R. (2001). *Landscape Ecology in theory and practice. Pattern and process*. Springer, New York, New York, USA.
- Varni M., Zemme, S., Weinzettel, P. y Dietrich, S. (2014). Relación entre recarga al acuífero freático y otros términos del balance hídrico en Azul, centro de la Provincia de Buenos Aires. II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Santa Fe. Argentina.
- Vercelli N., Entraigas, I., Migueltorena, M. y Argañaraz, J. (2013). Paisajes de llanura. Pp:57-71 en I. Entraigas y N. Vercelli (eds.). Los paisajes de la cuenca del arroyo del Azul. Editorial Martín. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- 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>
- Vilardy, S., Jaramillo, Ú., Flórez, C., Cortés-Duque, J., Estupiñán, L., Rodríguez, J., Acevedo, O., Samacá, W., Santos, A., Peláez, A. y Aponte, C. (2014). Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: Una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Villón, M. (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola, 2: 15-64.
- Winter, T. (2001). The concept of hydrologic landscapes. *Journal of the American Water Resources Association*. 37(2): 335-349.
- Winter, T. y Rosenberry, D. (1995). The interaction of ground water with prairie pothole wetlands in the Cottonwood Lake area, east-central North Dakota, 1979–1990.

Wetlands, 15:193-211.

Zabala, M., Manzano, M y Vives, L. (2016). Assessment of processes controlling the regional distribution of fluoride and arsenic in groundwater of the Pampeano Aquifer in the Del Azul Creek basin (Argentina). *Journal of Hydrology*, 541: 1067–1087.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.023>

Zárate, M., Mehl, A. y Castro, M. (2010). Geomorfología de la Cuenca del Arroyo del Azul. Informe Técnico, Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul, Buenos Aires, Argentina.