

### PLAN DE ACTIVIDADES PRESENTADO CON LA SOLICITUD DE BECA

#### 1. Denominación del trabajo:

**“Dinámica del agua y balances hídricos en diferentes unidades del paisaje de la pampa deprimida bonaerense”.**

#### 2. Definición del problema y estado actual del conocimiento sobre la cuestión

La cuenca del arroyo del Azul (6237 km<sup>2</sup>) se ubica en la zona central de la provincia de Buenos Aires y puede dividirse, desde el punto de vista morfológico, en un área de lomadas con pendientes de hasta un 5% al sur de la región y en un área llana, con pendientes del orden del 0,001 al norte. Es justamente la zona más deprimida de esta cuenca (unos 4.500 km<sup>2</sup>) la que corresponde a un sub-ambiente típico de llanura, con la peculiaridad de presentar a escasa profundidad una capa de acumulación de carbonato de calcio, de dureza y porosidad variables, conocida localmente como tosca. También el nivel freático en esta zona es muy somero.

Desde el punto de vista hidrológico, lo más notable del comportamiento del agua en cuencas tan deprimidas como la del Azul es la acumulación de la misma en forma de anegamientos temporarios o lagunas sobre la superficie, y la interacción entre aguas superficiales y subterráneas en posiciones bajas del relieve, cuerpos y cursos de agua. El agua antes de infiltrar se traslada en forma de manto o levemente canalizada, movilizadora por la suave pendiente local (Fuschini Mejía, 1994). En estos sistemas, entonces, no se tiene una superficie tributaria definida. Tampoco la cuenca baja del Azul cuenta con componentes lineales organizados y jerarquizados conformando su estructura de disipación, observándose una anarquía muy acentuada entre los diferentes niveles de disipación. Todo esto hace que los espacios que contienen estos procesos sean denominados Sistemas Hidrológicos No Típicos (Fertonani y Prendes, 1983).

En el área de estudio se han determinado los patrones de anegamiento a escala regional (Vázquez et al., 2003 y 2011 y Varni et al., 2005 y 2006), como así también se han caracterizado de manera general las áreas que cumplen la función de amortiguación en este sistema de escurrimiento (Entraigas et al., 2009). Sin embargo, falta avanzar aún en la comprensión de las interacciones del agua subterránea con las acumulaciones temporarias de agua superficial y cómo incide ello en las características hidroquímicas de las aguas subterráneas y superficiales. En ese sentido, los balances de agua a nivel del suelo en

distintas unidades del paisaje y generales a nivel de cuenca significarán un avance en la comprensión de la dinámica del agua en la llanura.

Este proyecto se desarrollará en paralelo con el denominado “Caracterización de la heterogeneidad del paisaje en la cuenca inferior del arroyo del Azul” por el cual la CIC otorgó una beca de estudio 2012 a Natalia Vercelli (con la dirección de la Dra. Ilda Entraigas), ya que se muestrearán en los mismos lugares porque la intención final, fuera ya del marco de este proyecto, es relacionar ambos tipos de datos.

### 3. Trabajo previo realizado referente a este proyecto

La cuenca del arroyo del Azul constituye el área de estudio de la gran mayoría de los proyectos de investigación que se han llevado y se llevan adelante en el Instituto de Hidrología de Llanuras. Dichos proyectos (“Avance metodológico en el tratamiento de los recursos hídricos en una cuenca de llanura” -1996/2000-; “Sistema de soporte para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la llanura bonaerense” -2001/2003-; “Sistema de soporte de decisiones para el manejo de extremos hídricos superficiales en área de llanuras” -2002/2004-; “Manejo de extremos hídricos superficiales en áreas de llanura” -2004-; “Desarrollo y aplicación de herramientas particulares para la gestión integrada de los recursos hídricos” -2004-; “Herramientas para la gestión sustentable de los recursos hídricos en una cuenca de llanura” -2005/2007-, “Planificación y gestión de los recursos hídricos en la cuenca del arroyo del Azul” -2005/2007-) han conformado, a partir de sus resultados, un marco conceptual muy rico acerca de la dinámica hídrica de la cuenca.

En cuanto a la relación entre aguas subterráneas y cuerpos de agua someros en la llanura bonaerense se ha trabajado en el análisis de la dinámica y modelación de los intercambios de agua entre estos ambientes mediante el registro continuo de los niveles subterráneos y de una laguna. Resultado de ello son los trabajos de Varni y Rivas (1999), Varni y Rivas (2000), Varni y Rivas (2001) y Varni et al. (2003). También se han estudiado los anegamientos en la llanura (su extensión y frecuencia) a través del uso de imágenes satelitales. Esto ha resultado en los siguientes trabajos: Vásquez et al. (2003), Varni et al. (2005) y Varni et al. (2006).

Las variaciones (temporal y espacial) de niveles freáticos someros ha sido extensamente estudiada en numerosos trabajos, tales como Varni (2002), Usunoff y Varni (2003), Varni (2005), Comas y Varni (2009) y Varni y Weinzettel (2009).

El análisis y desarrollo de propuestas metodológicas para la delimitación de regiones homogéneas en llanuras mediante el uso de imágenes satelitales también ha sido abordado por el equipo de trabajo. Valen como ejemplo los trabajos de Entraigas et al. (1994), Entraigas et al. (1995), Entraigas et al. (1996), Varni et al. (2000), Entraigas et al. (2000).

Finalmente, se cuenta con un estudio geomorfológico detallado del área de estudio (Zárate y Mehl, 2010), lo que constituye una base fundamental para la definición de las unidades del paisaje y para la comprensión de muchos de los procesos que tienen lugar en la cuenca y que serán objeto de estudio en este proyecto.

#### 4. Objetivos

##### **Objetivo General:**

Describir la dinámica temporal y espacial de las variables hidrológicas, así como la interacción entre aguas superficiales y subterráneas en diferentes unidades del paisaje en la llanura bonaerense, tomando como área operativa la cuenca baja del arroyo del Azul

##### **Objetivos Particulares:**

1. Relevar los tipos de suelo y registrar las variaciones del nivel freático en distintas unidades del paisaje (y a su posición relativa dentro de éstas), su contenido salino y analizar su dinámica temporal respecto a las lluvias.
2. Realizar balances de agua a nivel del suelo para determinar evapotranspiración real, variación de humedad en el suelo y recarga al acuífero, en las distintas unidades de paisaje.
3. Analizar el intercambio de agua del arroyo del Azul con el medio subterráneo.

#### 5. Métodos y técnicas a emplear

El análisis areal de menor detalle se llevará a cabo en la zona más deprimida de la cuenca del arroyo del Azul (4.500 km<sup>2</sup>), mientras que los estudios de mayor detalle se realizarán a partir de muestreos sobre una transecta de 20 km transversal (a la altura de la estación Shaw, a ambos lados de la ruta nacional 3). En esta transecta se pretende describir y entender la naturaleza de la dinámica del agua en las diferentes unidades del paisaje. La elección del estudio en transectas implicar recortar el objeto de investigación, y se debe a que simplifica el trabajo en grandes áreas, y linealiza la definición de gradientes topográficos y de aguas. Ya en las conclusiones del Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras (1983) se recomendaba el estudio en transectas.

Se proponen además al menos seis muestreos al año. Esta repetitividad ayudará a evaluar las diferencias producidas entre períodos secos y húmedos. Las observaciones de las variables correspondientes al suelo y agua se realizarán en los mismos lugares. En varias posiciones de las distintas unidades de paisaje se medirán variables edáficas e hidrológicas. La información de posición, tiempo y los valores de las variables registradas constituirán una base de datos cuyo análisis permitirá establecer las relaciones entre ellas. No debe olvidarse que se trabajará en conjunto con la becaria CIC Natalia Verceli, quien relevará en los mismos puntos variables florísticas.

Las posiciones de los puntos de medición y muestreo se determinarán mediante GPS. Para nivelar la totalidad del perfil y de los puntos de muestreo se tienen dos opciones a definir o a utilizar en forma combinada: GPS diferencial o nivelación óptica. Una nivelación de calidad es clave en este proyecto, dados los exiguos desniveles que presenta la zona a estudiar.

La información de suelos a obtener exigirá la realización de muestreos disturbados (caracterización físicoquímica de rutina) y no disturbado (determinación de densidad aparente para el cálculo de porosidad total). Ya se han realizado muestreos detallados de suelo en cada unidad de paisaje definida para la transecta con la realización de calicatas. Se registrarán además variables morfológicas (horizontes presentes, expresión de los mismos, rasgos hidromórficos detectados, color del suelo, presencia de tosca y profundidad de ocurrencia de la misma, textura y estructura). Estas observaciones siguen los lineamientos establecidos en el Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1993).

- *Aguas subterráneas*

Para obtener la medición del nivel freático existen piezómetros someros entubados en PVC de 1,5 pulgadas abiertos en el fondo y ranurados en los 50 cm inferiores. Se utilizarán sondas freáticas para determinar el nivel. Eventualmente, de contar con fondos, en algunos lugares que se convengan estratégicamente se instalarán freatógrafos para un registro continuo de los niveles. Periódicamente se tomarán muestras de agua para la determinación de los iones mayoritarios en aguas subterráneas (dos veces al año), pero al menos bimestralmente se determinarán la conductividad eléctrica y el nivel freático. Estas operaciones ya se vienen realizando con periodicidad poco menos que mensual desde inicios de 2012. De todas maneras, debe aclararse que la frecuencia no es regular, sino que se ajusta a la ocurrencia o no de precipitaciones, buscando situaciones contrastantes.

Las muestras de agua subterránea se analizarán en laboratorio, determinándose el contenido de los iones mayoritarios:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{Na}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , además del residuo seco, la conductividad eléctrica específica y el pH según APHA, AWWA, WPCF (1992).

La humedad del perfil de suelo se obtendrá a partir del muestreo de suelo mediante barreno, la aislación de la muestra para su transporte al laboratorio, el pesado de la misma con el contenido de agua tal cual como fue extraída y con la muestra seca. La muestra se seca a 110 grados centígrados hasta obtener peso constante. Se determinará también la densidad aparente para pasar de contenido de agua en peso a contenido volumétrico (Gardner, 1986). Todas estas operaciones permitirán seguir la evolución temporal de humedad en suelos y niveles de agua superficial y subterránea, lo cual posibilitará calibrar los balances de agua en cada lugar.

- *Balances de agua*

Los balances se realizarán en los puntos de control del punto anterior.

La precipitación se asignará de acuerdo a polígonos de Thiessen aplicada a la red de medición de precipitación diaria del IHLLA (constituida desde hace años con datos de establecimientos rurales confiables).

La evapotranspiración de referencia (menos variable espacialmente) se calculará diariamente con datos de la estación Azul del SMN y utilizando la metodología propuesta por Allen et al. (1998).

La capacidad de almacenamiento del suelo se calculará a partir de datos texturales y de materia orgánica de los distintos horizontes del suelo, y teniendo en cuenta sus respectivos espesores, por medio de funciones de pedotransferencia (utilizando varias y analizando los resultados y su razonabilidad además de dónde fueron calculadas estas funciones) (Damiano y Taboada, 2000; Saxton y Rawls, 2006). De existir fondos se determinarán las constantes hídricas enviándolas a laboratorio (INTA Castelar o Balcarce).

Para la realización de los balances se utilizará el programa Visual Balan (Samper et al., 1999).

▪ *Análisis del intercambio de agua del A° del Azul con el medio subterráneo*

Se propone el método de separación de hidrogramas (Linsley et al., 1977) en sus componentes superficial y subterráneo (caudal básico) o bien la utilización de un método de separación automático o filtro digital (Rodríguez et al. 2000). El IHLLA tiene cuatro estaciones de registro limnigráfico de las cuales en este caso se utilizarán dos que son las que se encuentran en el área llana. En todas las estaciones se cuenta con curvas de gastos para la conversión de niveles a caudales. La determinación de esta transferencia de agua es importante para el cierre del balance de masas de agua del área de estudio.

## 6. Cronograma de trabajo

Actividad / Semestre	1	2	3	4
<b>Objetivo 1</b>				
Revisión bibliográfica	X			
Muestras de suelos	X	X	X	
Registros de nivel freático y arroyos	X	X	X	X
Análisis de suelos		X	X	X
<b>Objetivo 2</b>				
Cálculo ETR		X		X
Cálculo capacidad almacenamiento		X	X	
Balances			X	X
<b>Objetivo 3</b>				
Análisis registros limnigráficos		X	X	X
Análisis de los registros-balance de agua regional			X	X
<b>Informe Final</b>				X

## 7. Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, 300 pp
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. Métodos normalizados. Para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid, España
- Comas, R. y Varni, M. 2009. Análisis de variaciones del nivel freático en una red de piezómetros en la cuenca del arroyo del Azul. En: Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los Recursos Hídricos, Tomo I, Mariño, E. y Schulz, C.J. (Editores), ISBN 978-987-1082-36-7, Ed. Amerindia Nexo Di Napoli, Santa Rosa, pp. 269-278.
- Entraigas, I., M. Gandini, E. Usunoff y M. Varni. 1994. Identificación de áreas homogéneas con aplicaciones en hidrología, 2do. Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea (Santiago, Chile). Actas del II Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Santiago, Chile, Vol. 2, pp. 367-377.
- Entraigas, I., M. Gandini, E. Usunoff y M. Varni, 1995. Delimitación de regiones homogéneas. 1. Aspectos metodológicos de la regionalización, XVII Reunión Argentina de Ecología, Mar del Plata. Resumen en Actas XVII Reunión Argentina de Ecología, Mar del Plata, Argentina, pp. 221.
- Entraigas, I., M. Gandini, M. Varni y E. Usunoff. 1996. Regionalización de la cuenca del arroyo del Azul en base a variables naturales, Primera Jornada de Desarrollo Regional en la Cuenca del Río Salado (Chacabuco). Sin publicar.
- Entraigas, I., Rivas, R., Varni, M., Usunoff, E. y Gandini, M. 2000. Regionalización ecológica del partido de Salliqueló (Buenos Aires, Argentina), IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, 6-10 Noviembre 2000. Publicado en Actas del IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, publicado en CD.
- Entraigas, I., Varni, M. y Migueltorena, V. 2009. Caracterización general de las áreas de amortiguación en la cuenca del arroyo del Azul (Buenos Aires, Argentina). 9º Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (Mar del Plata). Formato digital.
- Damiano, F. y Taboada, M.A. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. Ciencia del Suelo 18 (2), pp. 77-88.
- Gardner, W.H. 1986. Water content. En: Methods of Soil Analysis. Part 1-Physical and mineralogical methods. 2<sup>nd</sup>. Edition. Klute, A. (Ed.). Soil Science Society of America, 1188 p.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A., Paulus, J.L. 1977. Hidrología para ingenieros. Segunda edición. Ed. Mc Graw-Hill Latinoamérica, S.A. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, L.B., Vionnet, C.A., Parkin, G. y Younger, P. 2000. Aplicación de un método automático para la separación de los componentes del hidrograma. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Tomo II. Córdoba, Argentina, pp. 279-286.
- Samper, J., Huguet, Ll., Ares, J. y García-Vera, M.A. 1999. Programa Visual Balan V.1.0. Código interactivo para la realización de balances hidrológicos. Universidad de la Coruña, España, 124 p.
- Saxton, K. y Rawls, W.J. 2006. Soil water characteristics estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, pp. 1569-1578.

- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- Usunoff, E. y M. Varni, 1993. Estimación de la oscilación de niveles freáticos en un sector de la ciudad de Azul (Provincia de Buenos Aires) a partir de un balance hídrico simplificado, XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza, Octubre 1993, Publicado en Actas del XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Tomo VI, Asociación Geológica Argentina, pp. 249-254.
- Varni, M. y R. Rivas. 1999. Relación entre aguas superficiales y subterráneas en un cuerpo de agua en la llanura bonaerense, VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Santa Rosa, 1-3 Diciembre 1999. Publicado en Actas VII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, pp. 337-344.
- Varni, M. y R. Rivas. 2000. Análisis de la relación entre un cuerpo de agua superficial y las aguas subterráneas en la llanura pampeana, Argentina, 1st. Join World Congress on Groundwater, Fortaleza, Brasil, 31 Julio-4 Agosto 2000. Publicado en Actas 1st. Join World Congress on Groundwater, en CD, paper 219, pp. 1-13.
- Varni, M., R. Rivas e I. Entraigas. 2000. Caracterización hidrogeológica y regionalización ecológica de una zona arenosa ondulada del oeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina: caso del partido de Salliqueló, 1st. Join World Congress on Groundwater, Fortaleza, Brasil, 31 Julio-4 Agosto 2000. Publicado en Actas 1st. Join World Congress on Groundwater, en CD, paper 217, pp. 1-18.
- Varni, M. y R. Rivas. 2001. Relación entre aguas superficiales y subterráneas en un cuerpo de agua en la llanura pampeana, Argentina, en: Las Caras del Agua Subterránea (Medina y Carrera, editores), Tomo II, Ed. Universidad Politécnica de Cataluña, ISBN: 84-7840-428-7, pp. 701-706.
- Varni, M. 2002. Determinación de la recarga mediante el método de fluctuación de nivel freático: aplicación en el centro de la Provincia de Buenos Aires. Groundwater and Human Development, E. Bocanegra, D. Martínez y H. Massone (Eds.), Ed. International Association of Hydrogeologists, ISBN 987-544-063-9, pp. 1525-1531.
- Varni, M., Rivas, R y Entraigas, I. 2003. Interacción de un cuerpo de agua superficial con el agua subterránea en la llanura pampeana, Argentina. Información Tecnológica, Ed. Centro de Información Tecnológica, ISSN 0716-8756, Vol. 14, No. 6, pp 97-104.
- Varni, M. Evaluación de la recarga al acuífero freático en Azul, Prov. de Buenos Aires, usando registros de nivel freático, XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza, 2005. Publicado en Actas XX Congreso Nacional del Agua, ISBN 987-22143-0-1, en CD.
- Varni, M, Gandini, M, Entraigas, I y Vásquez, P. 2005. Propuesta y comparación de metodologías para la determinación y mapeo de áreas anegadas mediante el uso de imágenes Landsat. XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza, 2005. Publicado en Actas XX Congreso Nacional del Agua, ISBN 987-22143-0-1, en CD.
- Varni, M., Entraigas, I. y Gandini, M. 2006. Propuesta de dos metodologías para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, Ed. Geofocus, ISSN 1578-5157, No. 6, pp. 33-46.
- Varni, M. y Weinzettel, P. 2009. Análisis de registros freáticos en la cuenca del arroyo del Azul. En: Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los Recursos

- Hídricos, Tomo I, Mariño, E. y Schulz, C.J. (Editores), ISBN 978-987-1082-36-7, Ed. Amerindia Nexa Di Napoli, Santa Rosa, pp. 299-308.
- Vázquez, P., Entraigas, L., Varni, M., Gandini, M. y Usunoff, E. 2003. Identificación de áreas de frecuencia de anegamiento en la cuenca del arroyo del Azul mediante el uso de imágenes LANDSAT. Revista de Teledetección, Ed. Asociación Española de Teledetección, ISSN 1133-0953, Vol. 19, pp. 43-49.
- Zárate, M. y Mehl A. 2010. Geomorfología de la cuenca del Azul. Informe técnico y mapa temático. 100 p.

#### **8. Vinculación del plan de trabajo con otros proyectos de investigación en ejecución en el mismo lugar de trabajo**

En el IHLLA se desarrolla a partir de inicios de 2012 el Proyecto “Análisis de la interacción suelo-agua-vegetación en unidades del paisaje sometidas a diferentes usos en un sector de la pampa deprimida bonaerense”, acreditado ante la Secretaría de Ciencia, Arte y Tecnología de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Este proyecto está dirigido por la Dra. Ilda Entraigas y codirigido por el Dr. Marcelo Varni. En el marco de este proyecto se desarrolla la beca de Estudio CIC de Natalia Vercelli “Caracterización de la heterogeneidad del paisaje en la cuenca inferior del arroyo del Azul”, dirigida por la Dra. Entraigas.

El plan de trabajo que se está presentando pretende integrarse en este proyecto, ya que la medición de las variables hidrológicas y edáficas que se harán en la transecta, se efectuarán en los mismos lugares en los que se muestreará vegetación por parte de la becaria Vercelli.