

# EVALUACIÓN DE LA RECARGA COMO VECTOR DE FLUJO PARA EL TRANSPORTE DE SOLUTOS, EN EL ÁREA INDUSTRIAL DE BAHÍA BLANCA (ARGENTINA)

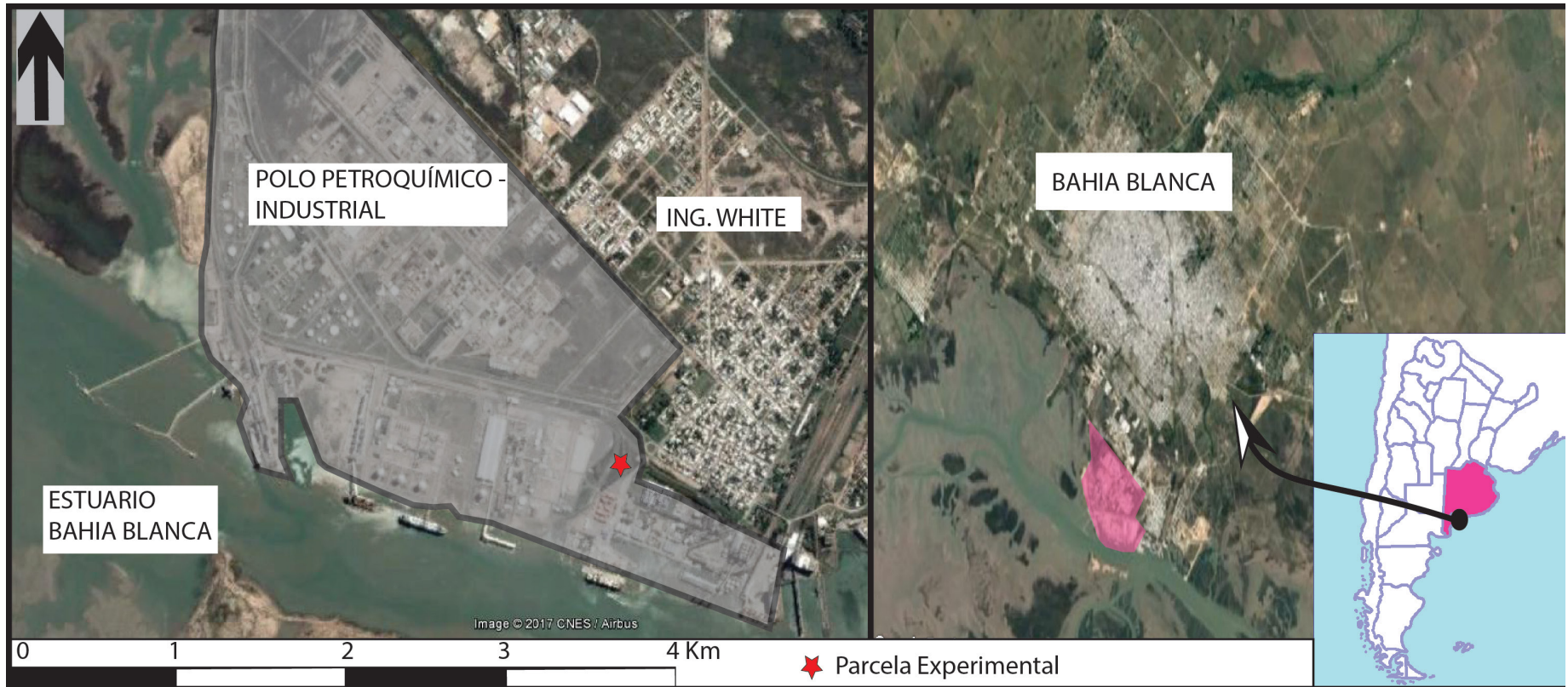
*Scherger Leonardo<sup>1,2\*</sup>, Zanello Victoria<sup>1,2</sup> y Lexow Claudio<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Centro de Geología Aplicada, Agua y Medio Ambiente (CGAMA). Comisión  
de Investigaciones Científicas*

*<sup>2</sup>Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), San Juan 670,  
B8000ICN, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina*

# Área de Estudio

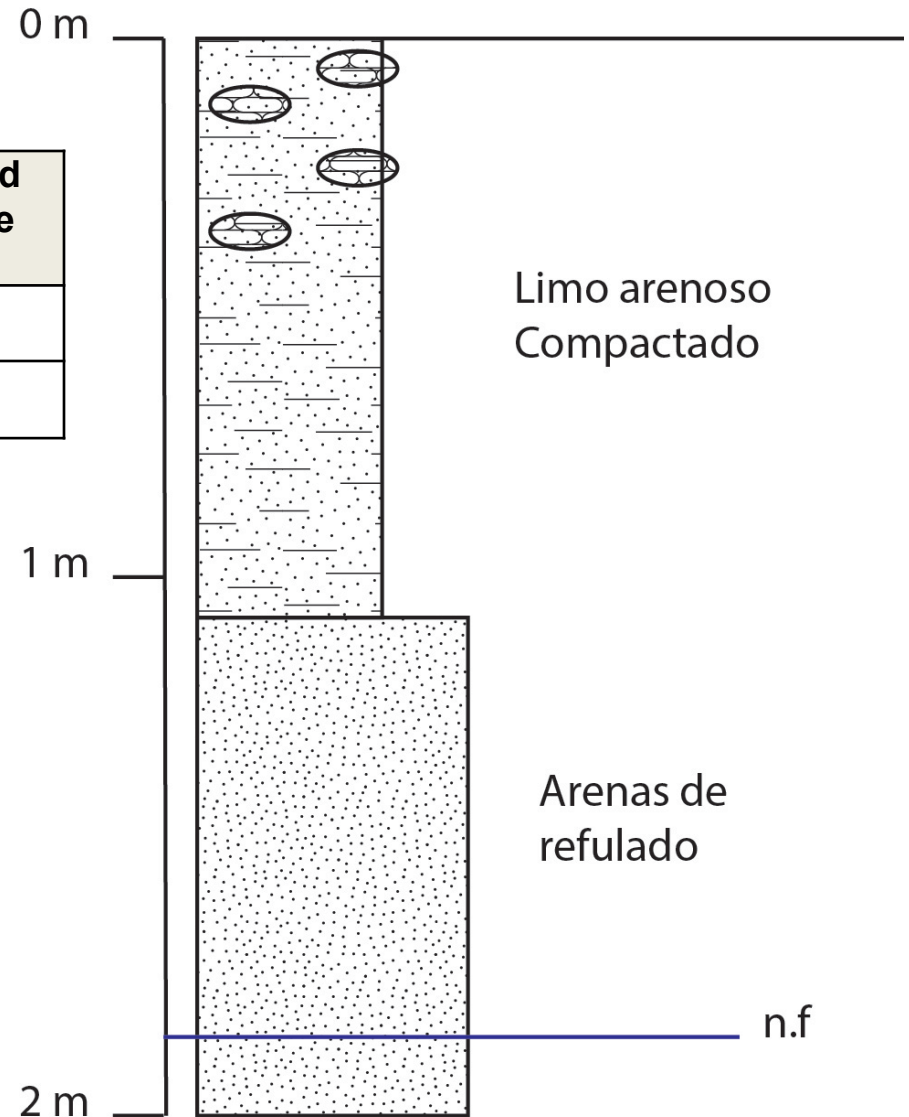
Polo petroquímico-industrial de la ciudad Bahía Blanca (Argentina).

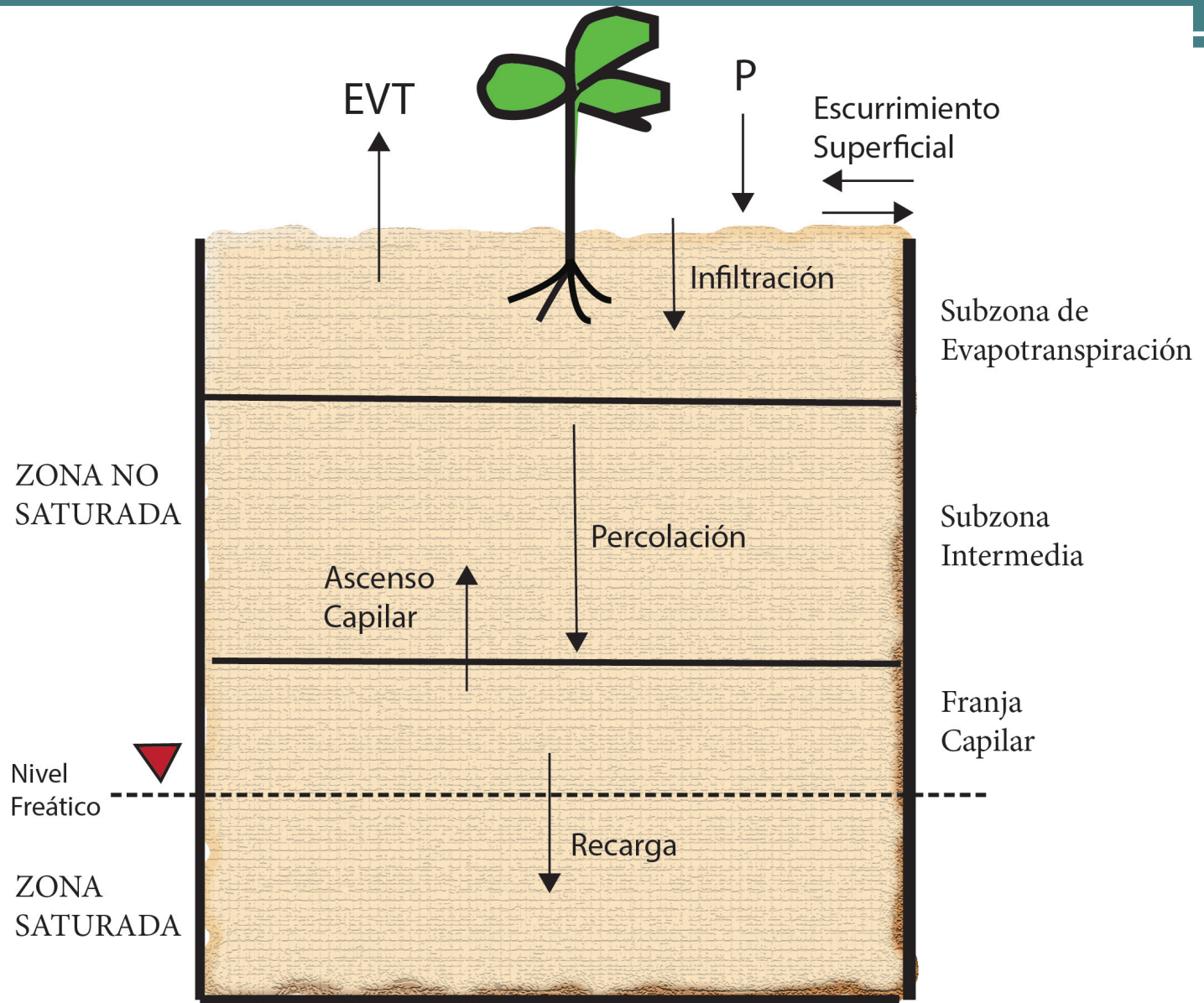


# Objetivos

- Analizar las variables hidrológicas del balance hídrico: Precipitaciones, EVTP, EVTR, Escurrimiento superficial y Recarga.
- Estimar la recarga a través del cálculo del excesos hídricos del suelo mediante los Software Balshort V3 y Hydrus 1D V4.17 .
- Calcular el tiempo de tránsito en la ZNS para solutos no reactivos.

Profundidad (cm)	% Arena	% Limo	% Arcilla	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
0-100	41	53	6	1.45
100 – 180	88	10	2	1.48





$$\Sigma \text{Entradas} - \Sigma \text{Salidas} = \Delta \text{ Almacenamiento}$$

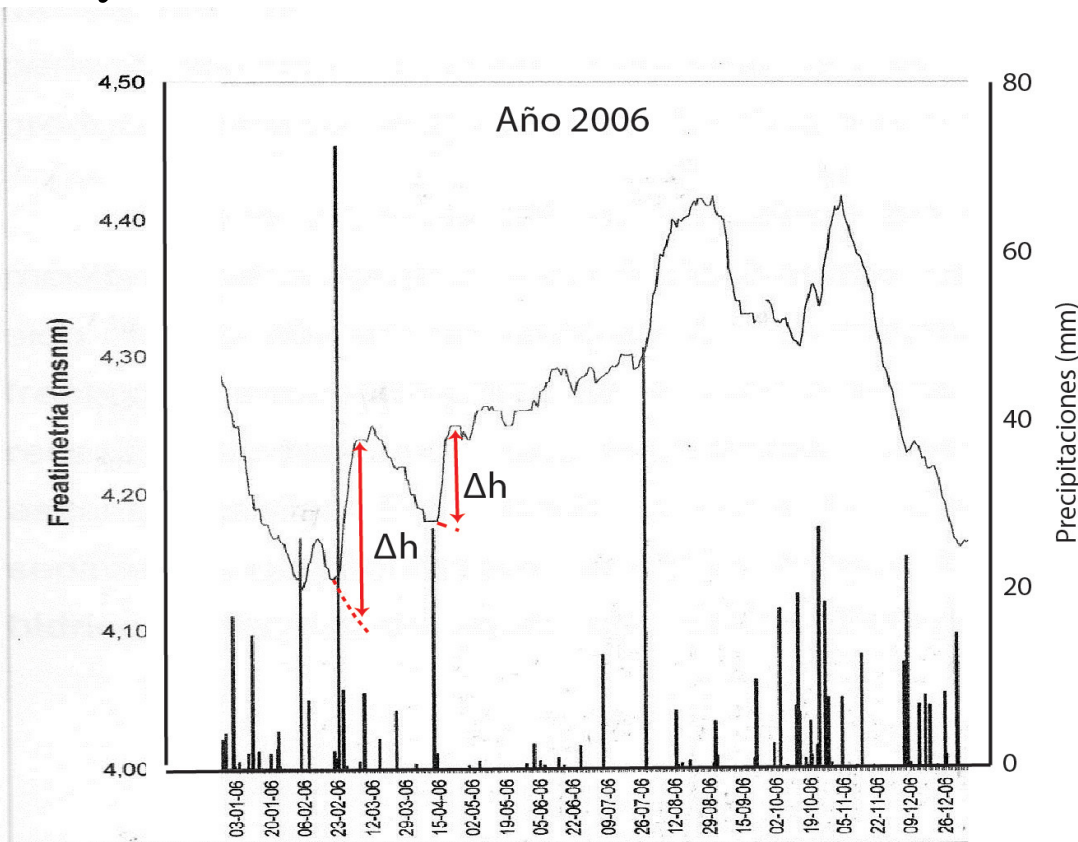
$$P + \text{Asc. Cap} - \text{EVT} - R = \Delta \text{ Almacenamiento}$$

# Materiales y Métodos

El cálculo del balance de agua en el suelo se realizó mediante :

- Balshort. V3: calcula de manera iterativa y en intervalos diarios, las reservas de agua, los excesos hídricos y la evapotranspiración real.
- Hydrus 1D: simula el flujo no saturado mediante la resolución de la ecuación de Richards, de acuerdo a condiciones iniciales y de borde pre-establecidas por el usuario.

El calculo de la recarga para el año 2006 mediante el análisis de freatigramas antecedentes según el método de las fluctuaciones del nivel freático permitió realizar la calibración de los software Balshort y Hydrus 1D.



Considerando un  
coeficiente de  
almacenamiento de 0,18

**Recarga Calculada  
97,2 mm (18 % P)**

$$R = S_y \times \sum(\Delta h_i / \Delta t_i)$$

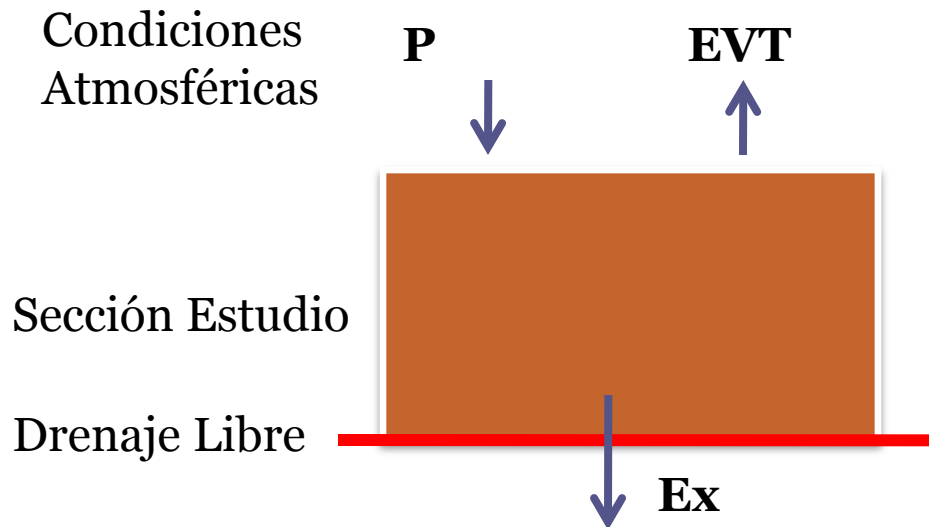
# Parámetros de Calibración

Parámetros			
Balshort		Hydrus 1D	
Reserva de agua útil (mm)	45		50.8
ETR/ETP	Penman-Grindley / textura limosa	Parámetros Hidráulicos	$\Theta_r = 0,0438$
Intercepción vegetal	Sin efecto		$\Theta_s = 0,387$
			$\alpha = 0,0059$
			$n = 1,6212$
			$K_s = 43,08$
		Extracción de agua por raíces	Fedes <i>et al.</i> 1978. Graminea de raíces somera
Variable	Resultados		
	WTS	Balshort	Hydrus 1D
P(mm)	-	539	
EVTP (mm)	-	1217	
EVTR(mm)	-	466.8	431.4
Ex (mm)	-	91.7	92.8
R (mm)	97.2		
R (%P)	18	17	17.2

# Modelo de Simulación Numérica

El modelo hidrodinámico utilizado es el de Van Genuchten – Mualem (Van Genuchten *et al.*, 1980; Mualem, 1976).

$$S_e = 1 + [(\alpha h)^n]^{-m}$$



Parámetros Hidráulicos	
$\theta_s$	0,387
$\theta_r$	0,04
$\alpha$	0,0059
$n$	1,62
$K_s$	43,08 cm/día

La EVTP de referencia se calculó según el método de Penman-Monteith modificado según la FAO N° 56 (1998).

Las condiciones iniciales fueron introducidas en términos de contenido de agua, considerando un contenido volumétrico medio de 0,2  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ .

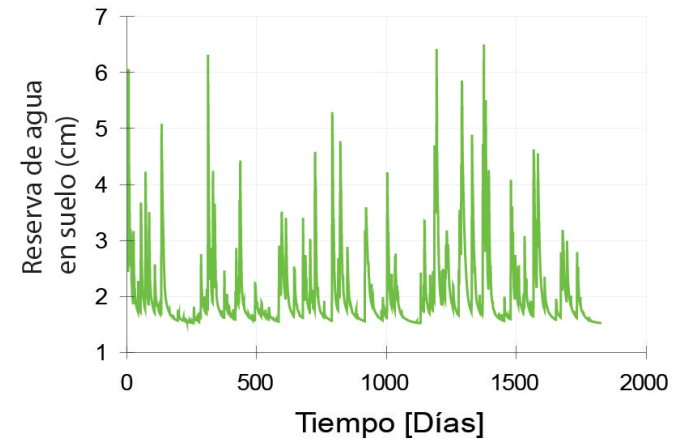
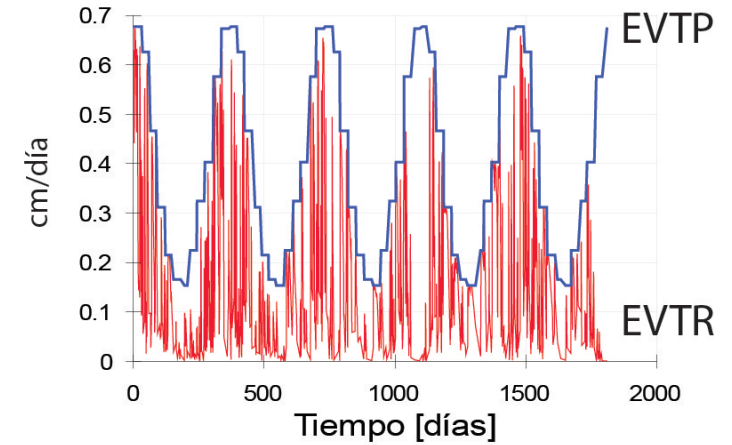
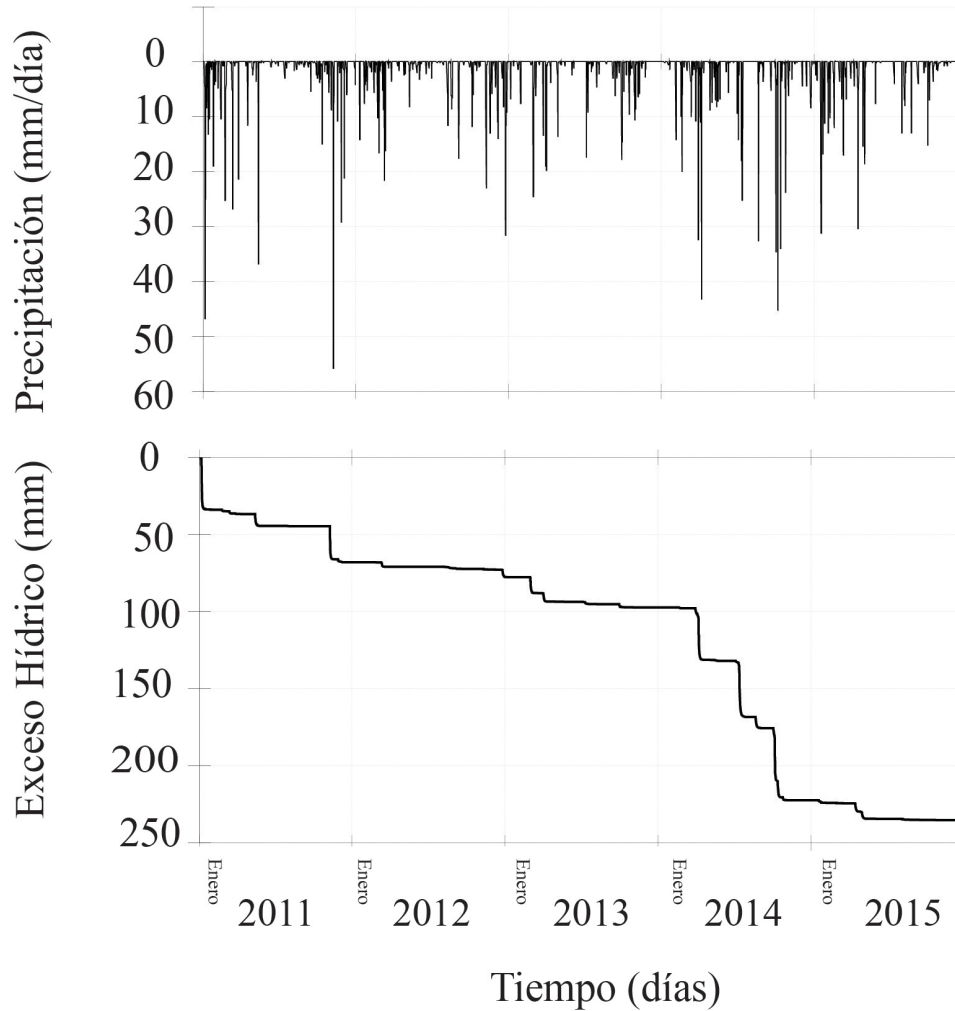
# Resultados

## Balance hidrológico del suelo – BALSHORT

Gran variabilidad de los excesos hídricos, donde el principal condicionante es la magnitud y distribución de los ingresos de agua en el perfil.

AÑO	P (mm)	EVTP (mm/año)	EVTR (mm/año)	Ex (mm)	R (%P)
	529	1460	491.5		13.9
2012	395		370.4	4.8	1.2
2013	319		332	7.8	2.5
	573		447.3		21.3
2015	353		352.1	6	1.7

# Modelo de simulación numérica – HYDRUS 1D



Aunque los valores adquiridos mediante ambas metodologías demuestran cierta variabilidad, las tendencias para las tasas de recarga son consistentes, evidenciando la existencia del proceso en grandes cuantías, sobre todo durante periodos pluviométricos lluviosos.

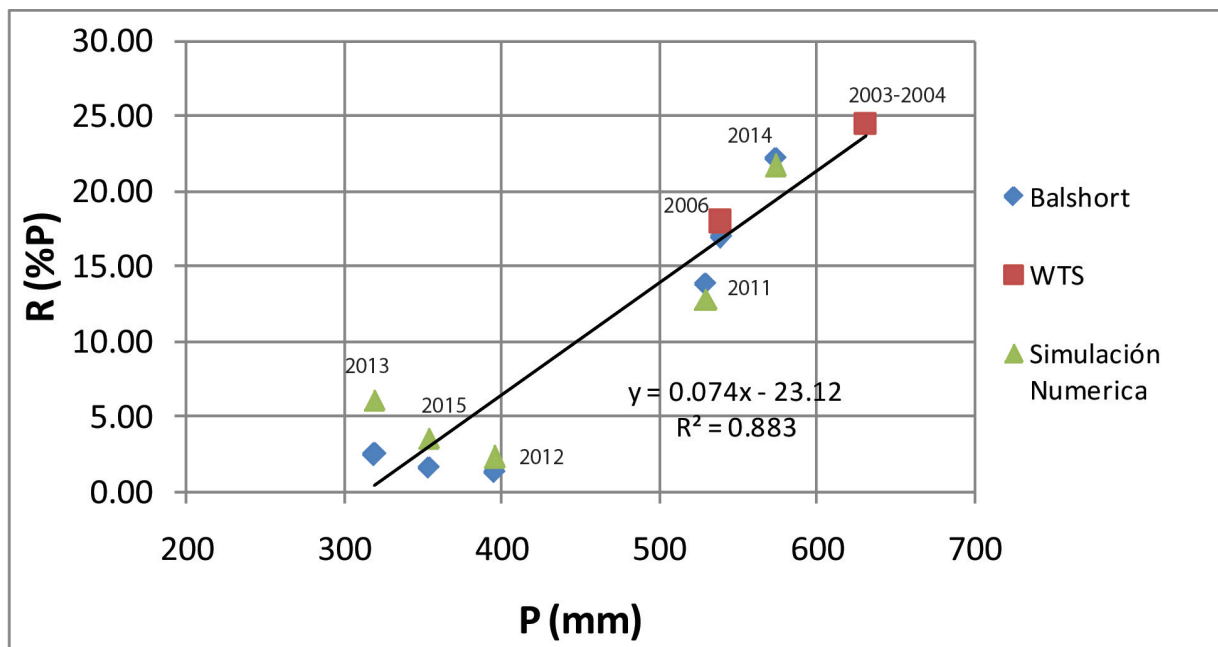
Serie 2011 – 2015 : Tabla de resultados para ambas metodologías

**Precipitación media= 433,8 mm/año**

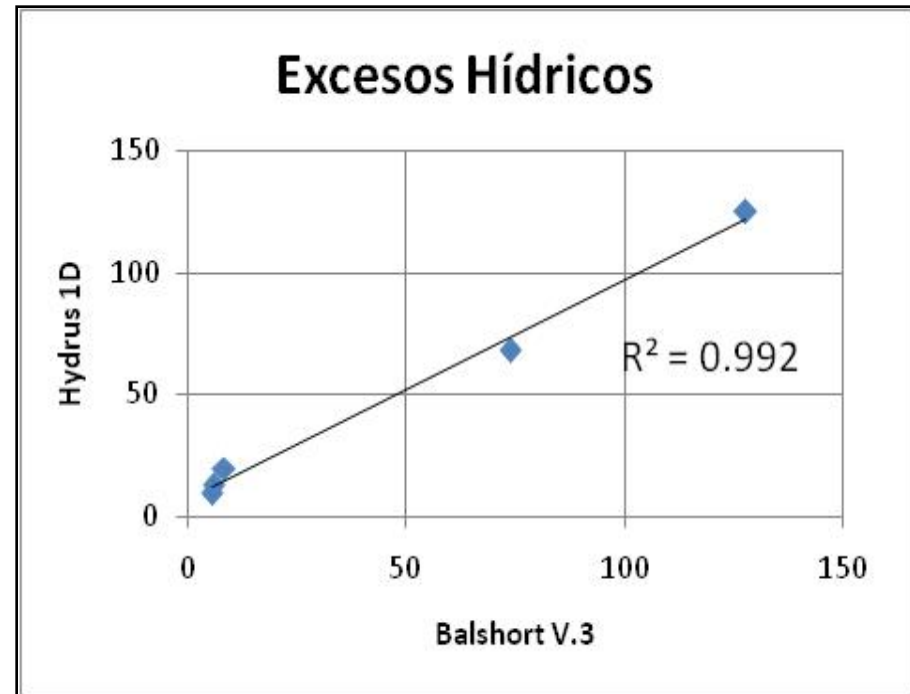
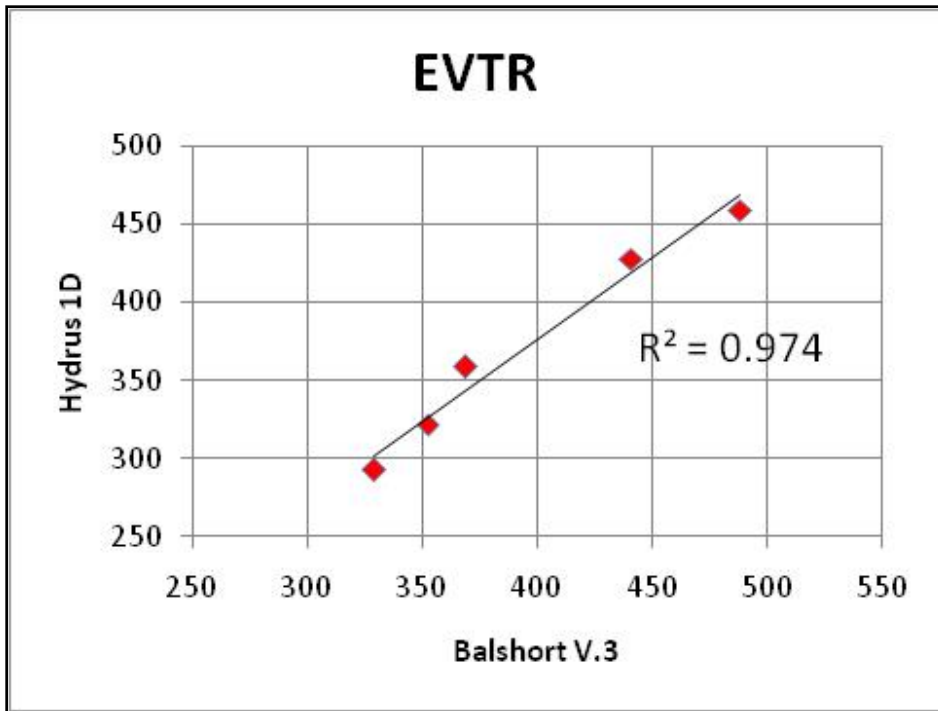
**EVTR media = 383,9 mm/año**

**Recarga media Anual= 44 mm/año**

Las tasas de recarga pueden superar el 20% de las precipitaciones pero únicamente en periodos húmedos. En presencia de años con una precipitación anual de entre 500 a 575 mm, próxima al módulo pluviométrico, los excesos se estiman entre un 12% y un 18% de las P. Bajo sequias prolongada, los excesos se tornan mínimos, siendo la mayor parte de la humedad del perfil consumida por la evapotranspiración.



# Validación de los Modelos



# Evaluación del tiempo de tránsito

$$\tau(R) = \theta \frac{H}{R}$$

Solutos  
No Reactivos

T : Tiempo de Transito (año)

R: Recarga media anual (mm/año)

$\Theta$ : contenido Volumétrico medio del suelo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

H: Espesor no saturado (mm)

CONSIDERANDO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO:

$\Theta$ : 0,25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

H: 180 cm

Siendo la R media calculada de **44 mm/año** (serie 2011-2015) se obtiene un tiempo de transito aproximado de **10,2 años**.

Considerando el escenario más drástico de una serie de años húmedos sucesivos (**R = 120 mm/año**), el tiempo de transito se reduce a solo **3,7 años**.

# Conclusiones

- La recarga es un proceso variable en el espacio y el tiempo, el cual debe ser analizado en particular para cada año hidrogeológico.
- El principal condicionante de la cuantía del exceso hídrico en el suelo es la magnitud y distribución de las precipitaciones.
- Las tasas de recarga en el área industrial se encuentran en el rango del 12% al 18% de las precipitaciones bajo condiciones medias, pudiendo superar el 20% de las precipitaciones durante años lluviosos.
- A partir de un excedente hídrico medio de 44 mm/año para la serie 2011-2015 se puede estimar un tiempo de transporte para solutos no reactivos de 10,2 años, tiempo que es drásticamente reducido dada la ocurrencia de ciclos hidrológicos lluviosos.
- La contaminación del acuífero libre costero representa un gran peligro para la vida del estuario de Bahía Blanca, destino final de todas las aguas de la zona, por lo que cada contaminante deberá ser analizado en particular.

¡MUCHAS GRACIAS  
POR SU TIEMPO!

