

Flujo de agua subterránea en la Plana de Valencia

¿Hacia una representación bajo condiciones de densidad variable?

Eduardo Cassiraga

Grupo de Hidrogeología
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Universidad Politécnica de Valencia

I Jornada de la Comisión Científica de la Junta Rectora del P.N. de l'Albufera,
València, 28 de enero de 2022



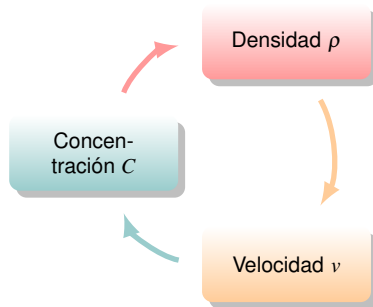
Aguas subterráneas y salinidad

- ▶ En **acuíferos costeros** la salinidad del agua se supone determinada por el fenómeno de **intrusión marina** aunque no siempre esa es la causa.
- ▶ **Concentración por evaporación de la deposición salina atmosférica** a causa de aridez climática.
- ▶ **Evaporación de aguas continentales** en situaciones áridas, incluso hasta formar salmueras muy densas que pueden infiltrarse en el terreno.
- ▶ Efecto del **rociado marino en franjas costeras** con vientos fuertes de procedencia marina.
- ▶ **Disolución de sales evaporitas contenidas en los sedimentos.**
- ▶ Efecto de **contaminación urbana o industrial**, o de **fugas en el transporte por tubería de aguas salobres o saladas**, o a causa de su uso, o por infiltración de salmueras residuales de plantas de desalinización.

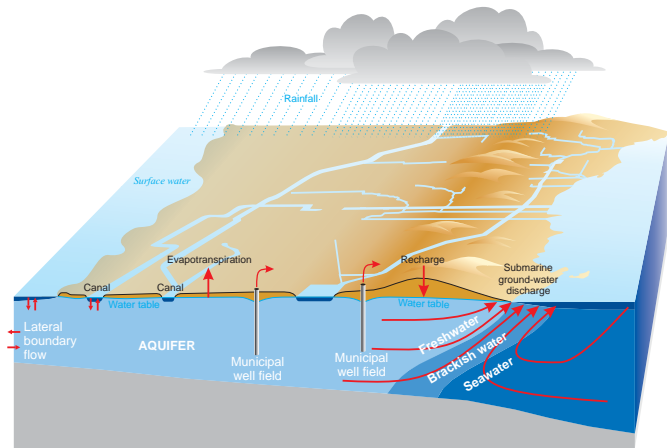
(Custodio, 2013)

Efectos de la salinidad sobre el agua del acuífero

- ▶ Si la **concentración de sales** varía espacialmente, la **densidad del agua** que las contiene también lo hace.
- ▶ Si la **densidad del agua** cambia esto afecta a su **velocidad** y por tanto a su **movimiento**.
- ▶ ¿Esto podría estar ocurriendo en el **acuífero de la Plana de Valencia**?
- ▶ Si es así, se debería considerar que los procesos de flujo de agua subterránea y transporte de masa están sujetos a condiciones de **densidad variable**.

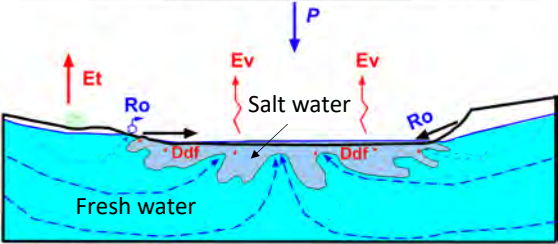


Intrusión marina



(modificado de Langevin, 2001)

Salinización del lago



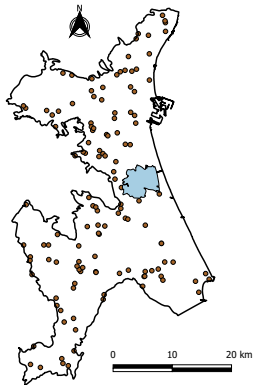
(modificado de Sanz et al., 2022)

¿Qué deberíamos hacer?

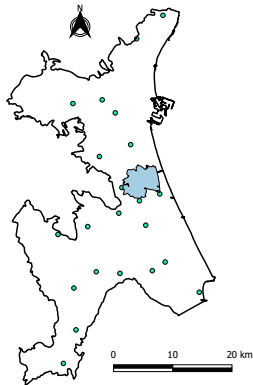
- ▶ Caracterizar el **potencial hidráulico** de la masa de agua:
 - ▶ Red de **piezómetros**.
- ▶ Caracterizar la **salinidad de la masa de agua**:
 - ▶ Medidas directas en muestras de agua, **contenido de cloruros**.
 - ▶ Medidas indirectas a partir de **una estimación en función de la conductividad eléctrica**.
- ▶ Delinear la **posición de la interfaz agua dulce-agua salada**:
 - ▶ Analíticamente con la **fórmula de Ghyben-Herzberg**.
 - ▶ Reconocimientos **geofísicos de superficie**: métodos eléctricos y electromagnéticos.
 - ▶ Registros **geofísicos en sondeos**: registro de la conductividad eléctrica.

¿De qué disponemos?

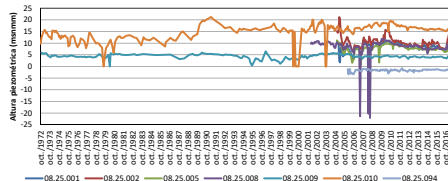
► Todos (128):



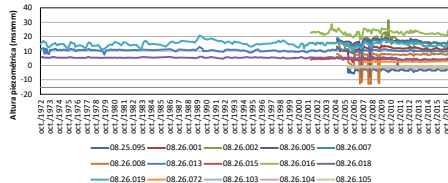
► Operativos (22):



Piezómetros operativos en la Plana Norte



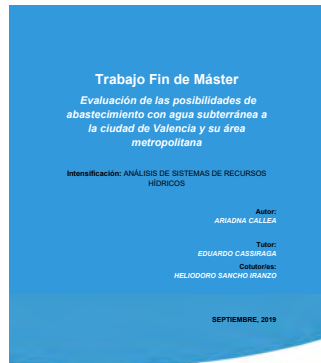
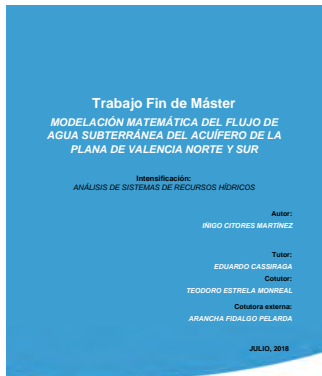
Piezómetros operativos en la Plana Sur



Y de todo el apoyo de la OPH...

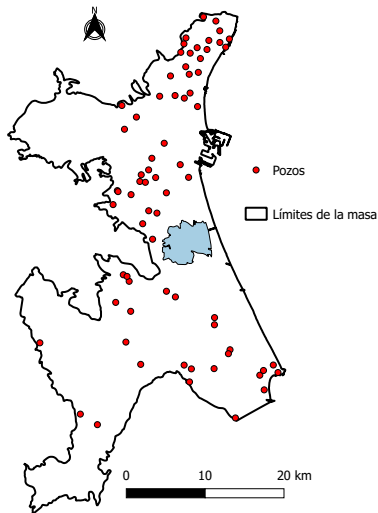
¿De qué disponemos?

- ▶ Modelo de flujo de agua subterránea en medio poroso saturado bajo condiciones de densidad uniforme de la Plana de Valencia (Citores-Martínez, Í. 2018, Callea, A. 2019).



¿De qué disponemos?

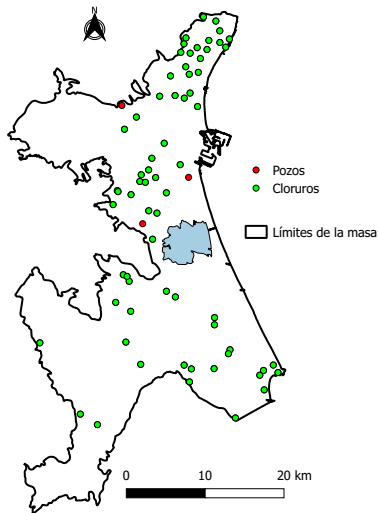
► Red de intrusión de la CHJ:



- Alcalinidad total
- Bicarbonatos
- Cloruros
- Conductividad
- Nitratos
- Oxígeno disuelto
- pH
- Profundidad
- Sulfatos
- Temperatura del agua

¿De qué disponemos?

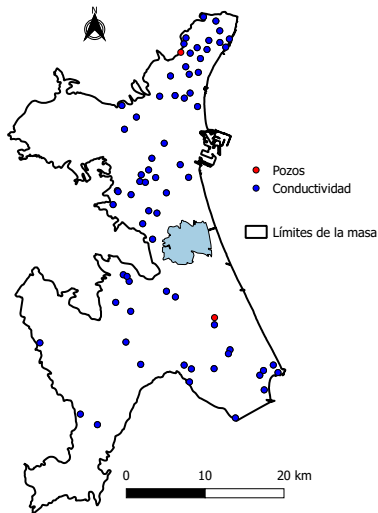
► Red de intrusión de la CHJ:



- Alcalinidad total
- Bicarbonatos
- **Cloruros**
- Conductividad
- Nitratos
- Oxígeno disuelto
- pH
- Profundidad
- Sulfatos
- Temperatura del agua

¿De qué disponemos?

► Red de intrusión de la CHJ:



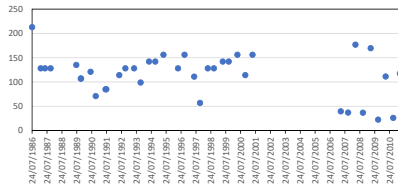
- Alcalinidad total
- Bicarbonatos
- Cloruros
- **Conductividad**
- Nitratos
- Oxígeno disuelto
- pH
- Profundidad
- Sulfatos
- Temperatura del agua

Cloruros

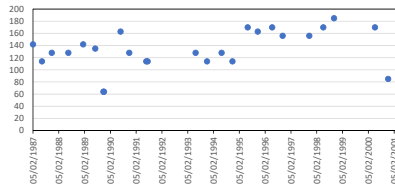
Código	Rango temporal	Profundidad	Código	Rango temporal	Profundidad
08.22.027	1 (1989) y 6 (1995)		08.25.061	1986 a 2001	55 m
08.25.009	1987 a 2013	2.62 a 60 m	08.25.062	1986 a 2013	8.91 a 12.42 m
08.25.013	1989 a 2013	100 a 120 m	08.25.063	1986 a 2001	85 a 93 m
08.25.016	1982 a 1995		08.25.064	1986 a 2009	
08.25.018	6 (1995)		08.25.066	1987 a 1998	
08.25.019	1985 a 1995		08.25.082	1982 a 2013	6.43 m
08.25.020	6 (1995)		08.25.083	1982 a 1997	
08.25.022	5 (1995)		08.25.092	6 (1995)	
08.25.026	1987 a 2001	17 a 23 m	08.25.093	6 (1995)	
08.25.027	1 (1989) y 6 (1995)		08.26.018	1986 a 2013	2.73 a 4.1 m
08.25.029	5 (1995)		08.26.019	6 (1995)	
08.25.030	1982 a 2020	0.77 a 40 m	08.26.021	1987 a 2012	27.9 a 394 m
08.25.033	6 (1995)		08.26.022	1982 a 1995	
08.25.034	1982 a 2001	46 a 51 m	08.26.025	6 (1995)	
08.25.036	1982 a 2013	1.55 a 26 m	08.26.028	6 (1995)	
08.25.040	1983 a 2013	11.5 a 12.13 m	08.26.033	1982 a 2001	56 a 88 m
08.25.043	6 (1995)		08.26.035	6 (1995)	
08.25.046	1986 a 2001	39 a 41 m	08.26.036	1982 a 2001	
08.25.047	1982 a 2001	120 m	08.26.037	1982 a 2013	1.78 a 90 m
08.25.048	1982 a 2001		08.26.039	1983 a 1995	
08.25.050	1982 a 2001	60 m	08.26.040	1982 a 2001	117 a 142 m
08.25.051	1982 a 2013	33 m	08.26.041	1987 a 2000	41 a 42 m
08.25.052	6 (1995)	325 m	08.26.042	1982 a 1996	
08.25.053	1985 a 2013		08.26.047	3 (1995)	
08.25.054	1986 a 2013		08.26.059	1 (1995)	
08.25.055	1985 a 2001		08.26.061	1982 a 2013	
08.25.056	1985 a 2001		08.26.062	1987 a 2013	2.6 a 2.94 m
08.25.057	1982 a 2001		08.26.063	1982 a 2020	12.75 a 1.94 m
08.25.058	1982 a 1995		08.26.070	1982 a 2013	1.3 a 2.1 m
08.25.059	1982 a 2001		08.27.043	1986 a 2001	
08.25.060	1986 a 2013	3.81 a 40 m	08.27.044	1982 a 2001	

Cloruros en mg/l (Plana Sur)

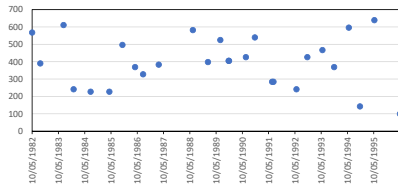
08.26.018



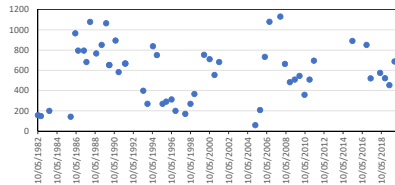
08.26.041



08.26.042

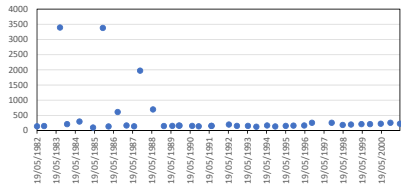


08.26.063

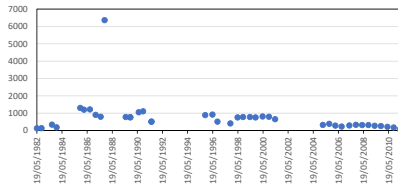


Cloruros en mg/l (Plana Norte)

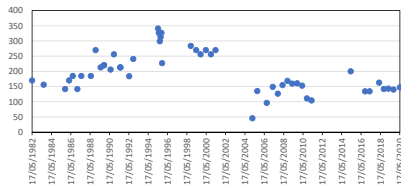
08.25.050



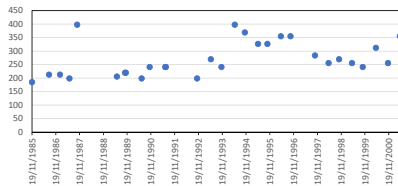
08.25.051



08.25.030

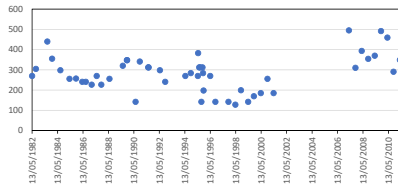


08.25.055

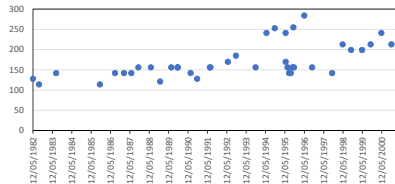


Cloruros en mg/l (Parque)

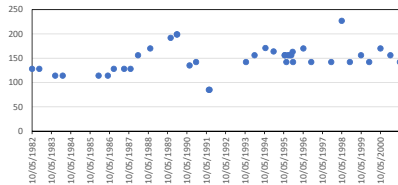
08.25.036



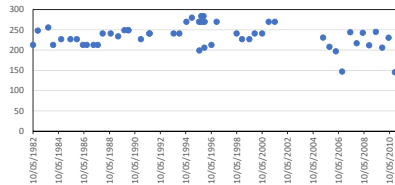
08.25.034



08.26.036



08.26.037

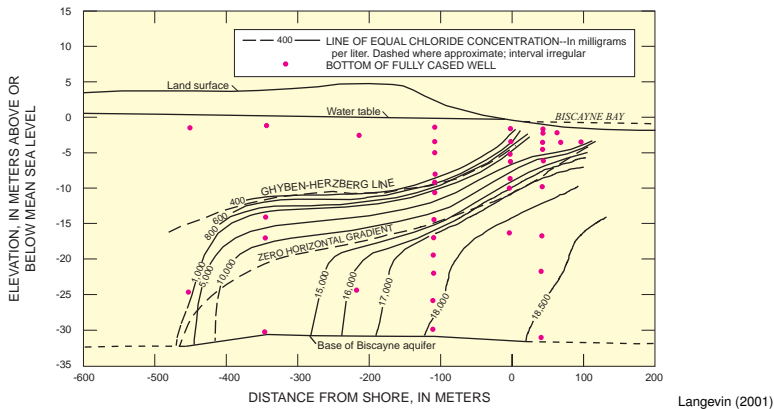


¿Qué proponemos?

- ▶ Interpretar lo medido:
 - ▶ ¿Qué es lo que se ha medido?
 - ▶ ¿Cómo se ha medido?
 - ▶ ¿Cuáles son las características constructivas de los pozos?
- ▶ Programar lo que se debería medir:
 - ▶ ¿Se sigue midiendo en la red de intrusión de la CHJ?
 - ▶ Recuperar puntos de medición.
 - ▶ Intentar medir en algunos transectos.
- ▶ Con una adecuada caracterización de la salinidad se estaría en condiciones de plantear la **construcción de modelos numéricos del sistema bajo condiciones de densidad variable.**

Para modelos en 2D

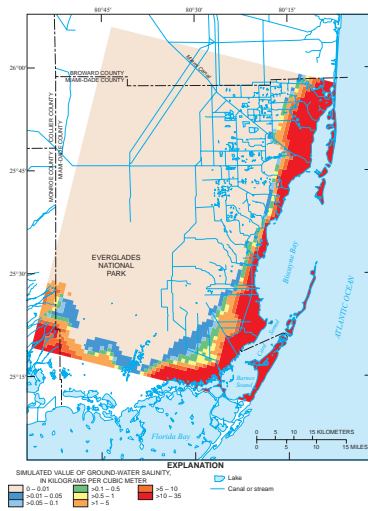
- ▶ Perfiles transversales correspondientes a secciones verticales del acuífero:



- ▶ Podrían plantearse en régimen estacionario con unas pocas medidas a lo largo de un año.

Para modelos en 3D

- ▶ Mapas con la concentración de cloruros a determinadas profundidades:



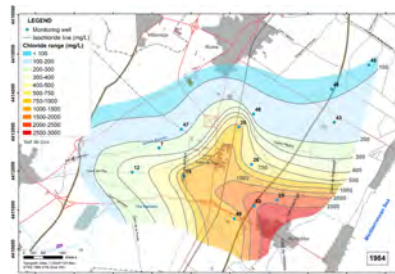
Langevin (2001)

Para modelos en 3D

- ▶ Mapas con la distribución de cloruros para determinados años:



Spatial distribution of chloride concentrations in June 1972



Spatial distribution of chloride concentrations in June 1984

García-Menéndez et al. (2016)

Efectos del cambio climático en la intrusión marina

- ▶ Cambios de **la recarga**:
 - ▶ Se traduce en una **variación de la descarga de agua dulce al mar** y por tanto de la **posición de la interfaz** y de la **zona de mezcla**.
 - ▶ En la Plana de Valencia son más importantes **los retornos de riego** que la recarga por infiltración del exceso de precipitación.
- ▶ Cambios en **el nivel del mar**:
 - ▶ Zonas litorales con fuerte pendiente donde la línea de costa no sufre modificaciones grandes: efectos moderados.
 - ▶ En **litorales tendidos** el avance tierra adentro de la línea de costa es notable, y por lo tanto el de la interfaz entre el agua dulce y el agua salada.

Observaciones finales

- ▶ El conocimiento del comportamiento de los acuíferos costeros a través de modelación numérica no está limitada por la disponibilidad de **códigos de cálculo** adecuados.
- ▶ El problema está en la **falta de datos del potencial hidráulico y la salinidad en profundidad**, para formular correctamente el modelo conceptual del acuífero y para parametrizar el medio.
- ▶ Es necesaria una **caracterización hidrogeológica vertical de detalle** para explicar las características de la zona de mezcla y del flujo y transporte de salinidad.
- ▶ El estudio y adecuada caracterización de la salinidad permitiría el diseño y construcción de modelos que podrían ayudar a la **predicción del comportamiento del sistema ante escenarios de cambio climático**.

Bibliografía



Langevin, C.D.

Simulation of ground-water discharge to Biscayne Bay, Southeastern Florida.

USGS Water-Resources Investigations Report 00-4251. USGS, 2001.



Custodio, Emilio.

La complejidad de la intrusión marina en los acuíferos costeros en la práctica hidrogeológica.

Temas actuales en hidrología subterránea, González, N., Kruse, E., Trovatto, M.M. y Laurencena, P. (eds.), Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EduLP), 47 N.º 380, La Plata B1900AJP, Buenos Aires, Argentina, 2013.



García-Menéndez, Olga, Morell, Ignacio, Ballesteros, Bruno J. , Renau-Pruñonosa, Arianna, Renau-Llorens, Alejandra y Esteller, M^a Vicenta.

Spatial characterization of the seawater upconing process in a coastal Mediterranean aquifer (Plana de Castellón, Spain): evolution and controls.

Environmental Earth Sciences, 75:728, DOI 10.1007/s12665-016-5531-7, 2016.



Citores-Martínez, Íñigo.

Modelación matemática del flujo de agua subterránea del acuífero de la Plana de Valencia Norte y Sur.

Trabajo de fin de máster, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, 2018.



Callea, Ariadna.

Evaluación de las posibilidades de abastecimiento con agua subterránea a la ciudad de Valencia y su área metropolitana.

Trabajo de fin de máster, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, 2019.



Sanz, D., Valiente, N., Dountcheva I., Muñoz-Martín A., Cassiraga E. and Gómez-Alday, J.J.

Geometry of the modelled saltwater-freshwater-interface under variable-density-driven flow (Pétrola Lake, SE Spain).

Aceptado para publicar en Hydrogeology Journal, 2022.