MAESTRÍA EN HIDROGEOLOGÍA Y
RECURSOS HÍDRICOS - VERSIÓN II

Tesis de Maestría (en proceso):

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL SISTEMA ACUÍFERO PURAPURANI (EL ALTO)

Ing. Etzar Gómez
Mayo de 2012

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

AGENCIA CATALANA DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO

AGENCIA CATALANA DEL AGUA

EMPRESA PÚBLICA Y SOCIAL DE AGUA Y SANEAMIENTO

Canadian International Development Agency | Agence Canadienne de Développement International

Resumen

La composición química de las aguas en el sistema acuífero Purapurani es el resultado de la combinación de las características químicas propias del agua proveniente de la recarga de lluvia y de procesos de deglaciación que al ingresar al subsuelo reacciona con el medio geológico.

El contenido de especies iónicas en la mayoría de las muestras no exceden los máximos permisibles, a excepción del Nitrato que denota contaminación antropogénica, por lo que la calidad del agua como potable tiene restricciones en un área poblada de alto índice de crecimiento y demanda.

La hidroquímica, que es el aspecto más importante de la investigación, tiene como principal propósito de trazar el origen y la historia del agua.

Esquema de la presentación

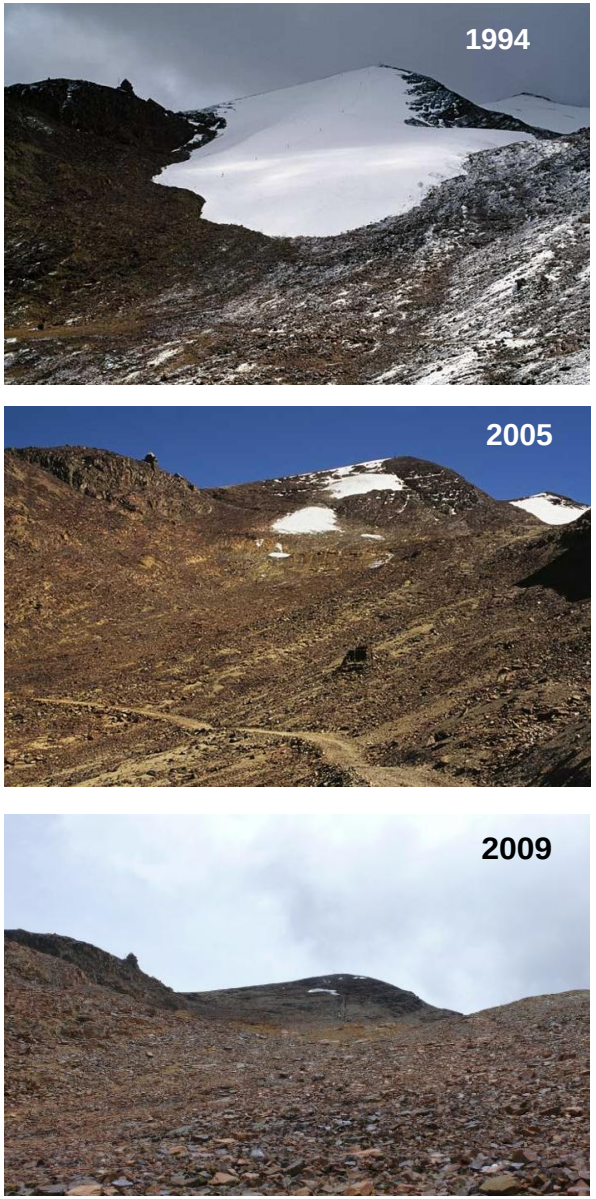
- Problemática
- Objetivo
- Antecedentes
- Régimen hidrológico
- Metodología
- Resultados preliminares
- Hipótesis
- Evolución temporal y espacial
- Nitratos
- Isótopos
- Conclusiones preliminares
- Actividades pendientes

Problemática

- Cambio climático → Disminución de las fuentes superficiales de agua.
- Crecimiento poblacional → Perforación indiscriminada de pozos.
- Gestión de los recursos hídricos superficiales y subterráneos → Plan de Manejo Acuífero Purapurani.

Objetivos

- Determinar la evolución hidroquímica del agua en el sistema acuífero Purapurani.
- Identificar las zonas de recarga y descarga, direcciones de flujo locales y regionales.
- Conocer la edad del agua subterránea somera y profunda y evaluar los efectos de mezcla entre ellas.
- Describir el comportamiento del nitrato como contaminante de origen antropogénico.



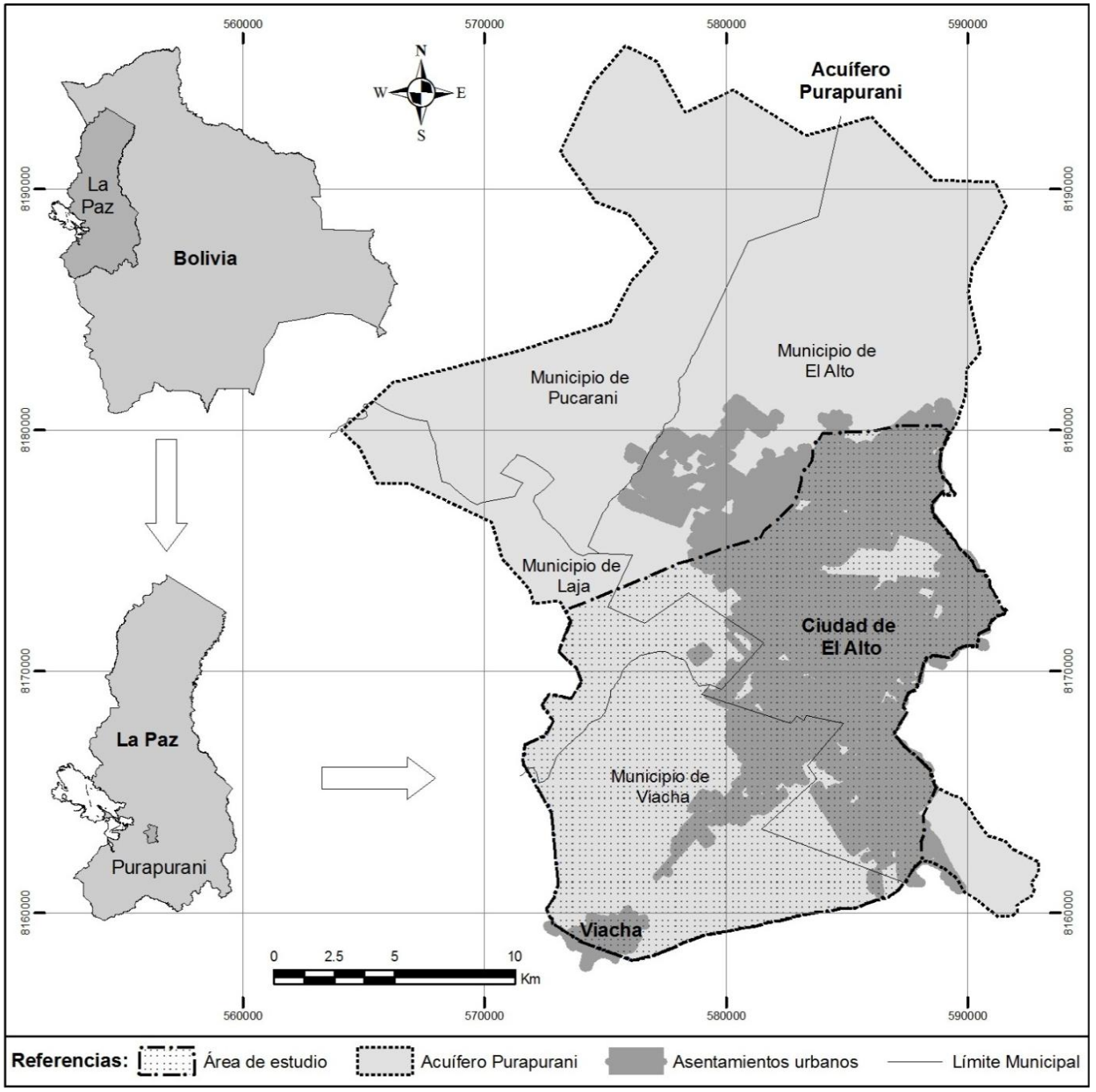
Fotografías retroceso nevados Chacaltaya. Fuente: IHH-UMSA. 2009.

Antecedentes

Sup. Ac. Purapurani: 600 Km^2

Sup. Área de estudio 270 Km^2

Altitud: 4000 msnm

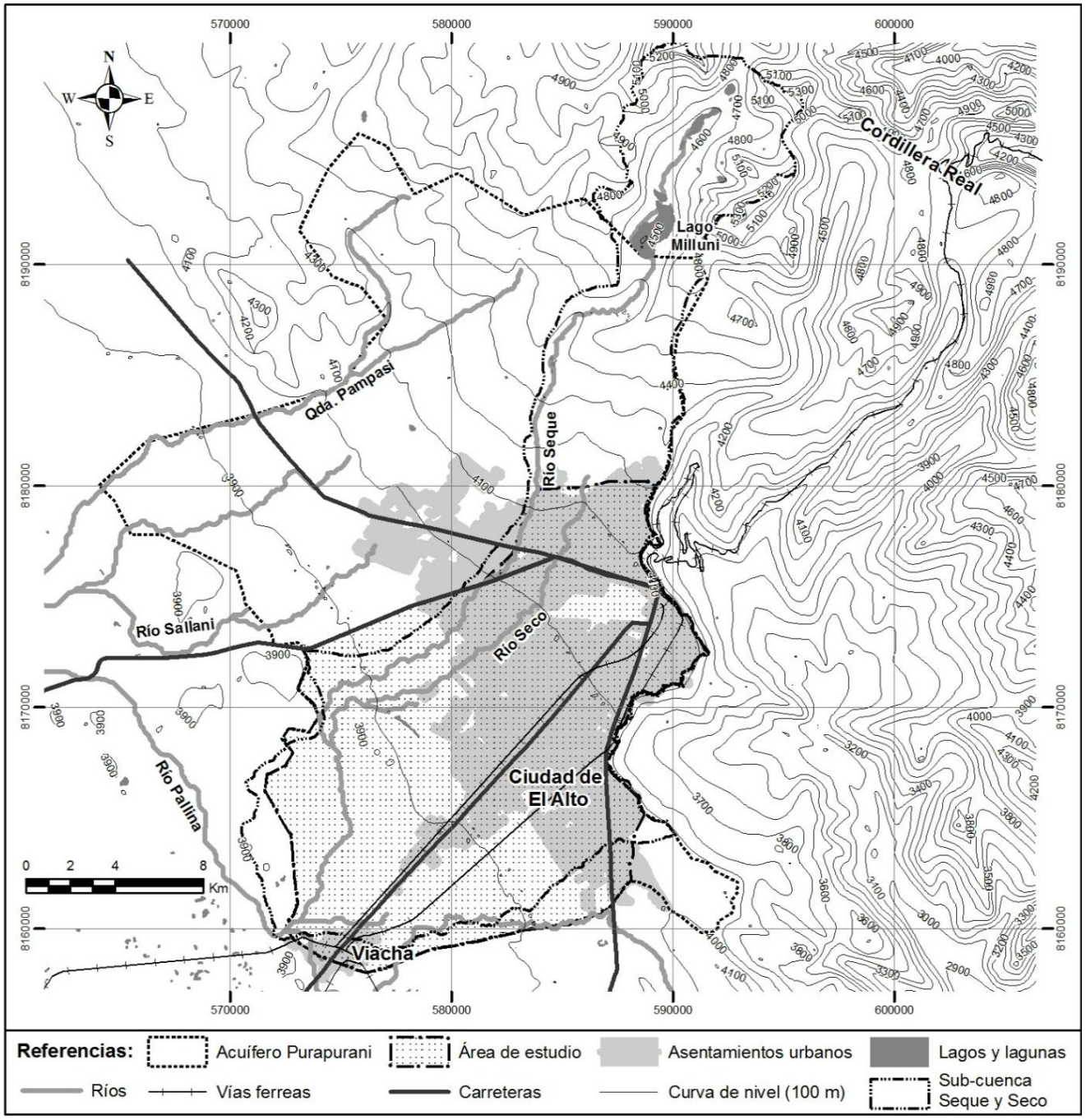


Fuente: Proyecto Cuenca Katari. 2010.

Antecedentes

Sup. Ac. Purapurani:
600 Km^2
Sup. Área de estudio
270 Km^2
Altitud: 4000 msnm

Población: 1,147,579 hab. (2012)
Actividades: Industria, comercio y servicios > Agricultura y ganadería
Fábricas: El Alto 9,900. Viacha 50 (2010)



Fuente: Proyecto Cuenca Katari. 2010.

Antecedentes

Sup. Ac. Purapurani: 600 Km^2

Sup. Área de estudio 270 Km^2

Altitud: 4000 msnm

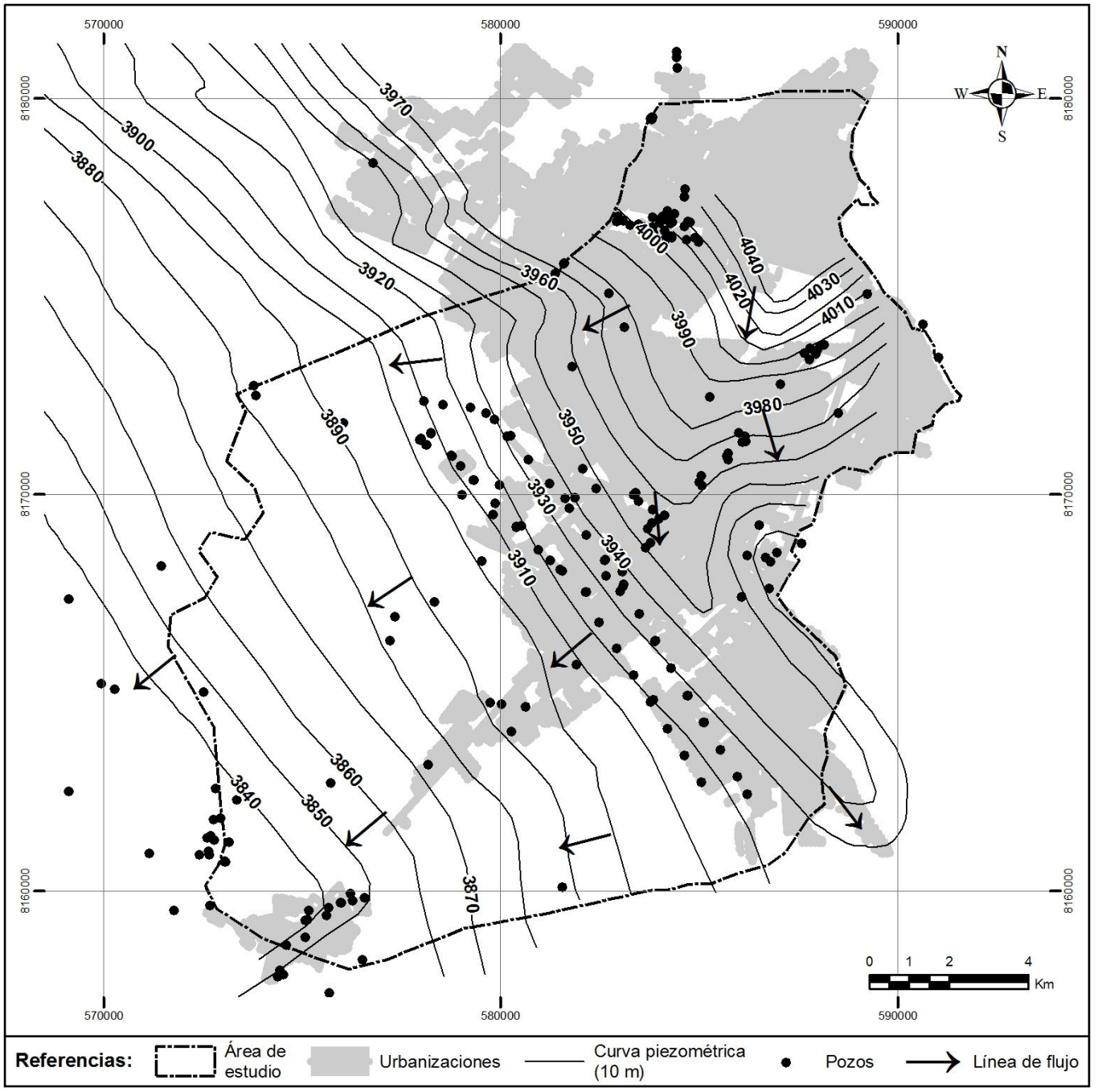
Población: 1,147,579 hab. (2012)

Actividades: Industria, comercio y servicios > Agricultura y ganadería

Fábricas: El Alto 9,900. Viacha 50 (2010)

N° de pozos: ?

Caudales extraídos del acuífero: ?



Fuente: Proyecto Cuenca Katari – JICA. 1987.

Marco geológico

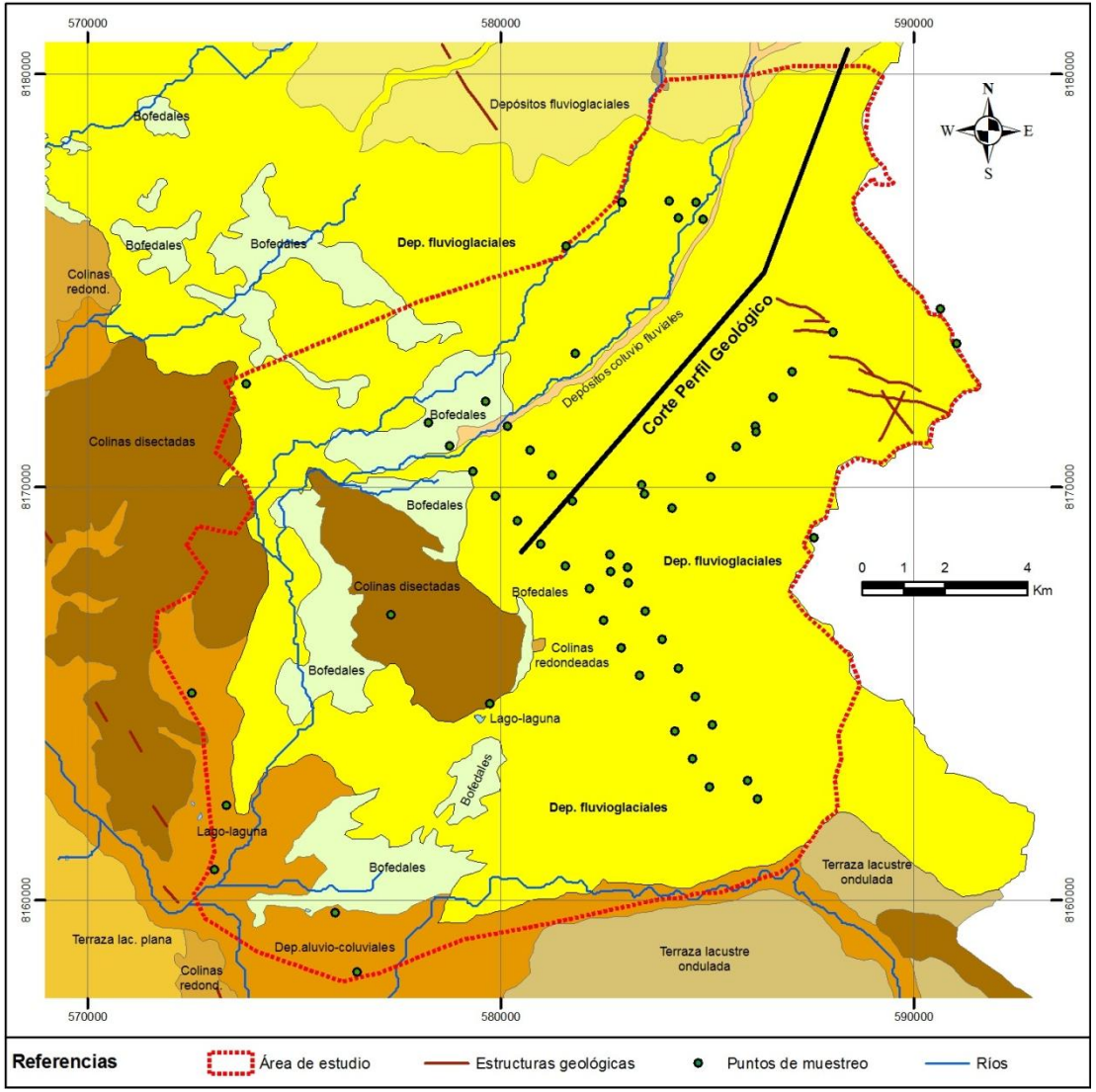
Cuaternario: Fm Calvario y Purapurani (origen fluvioglacial, fluviolacustre; arcilla, limo, arena y gravas; lentes de tobas)

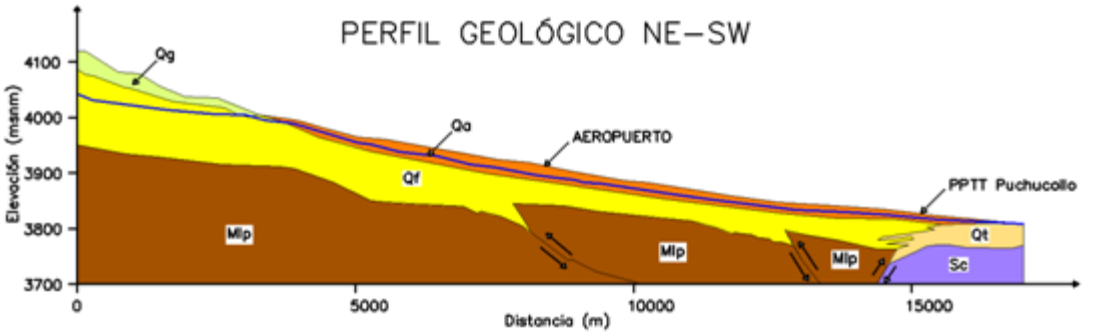
Terciario: Fm Umala y La Paz (alternancia de arcilla, limo, limo arcilloso; ceniza volcánica)

Paleozoico: Fm Catavi (areniscas cuarcíticas y lutitas)

Espesor del acuífero: 80 ~ 100 m.

Emplazado en sedimentos areno gravosos intercalados con areno arcillosos (composición granítica, cuarcítica y lutítica), en una secuencia caótica y de alta variabilidad lateral y vertical. → Sistema Acuífero.





Régimen hidrológico

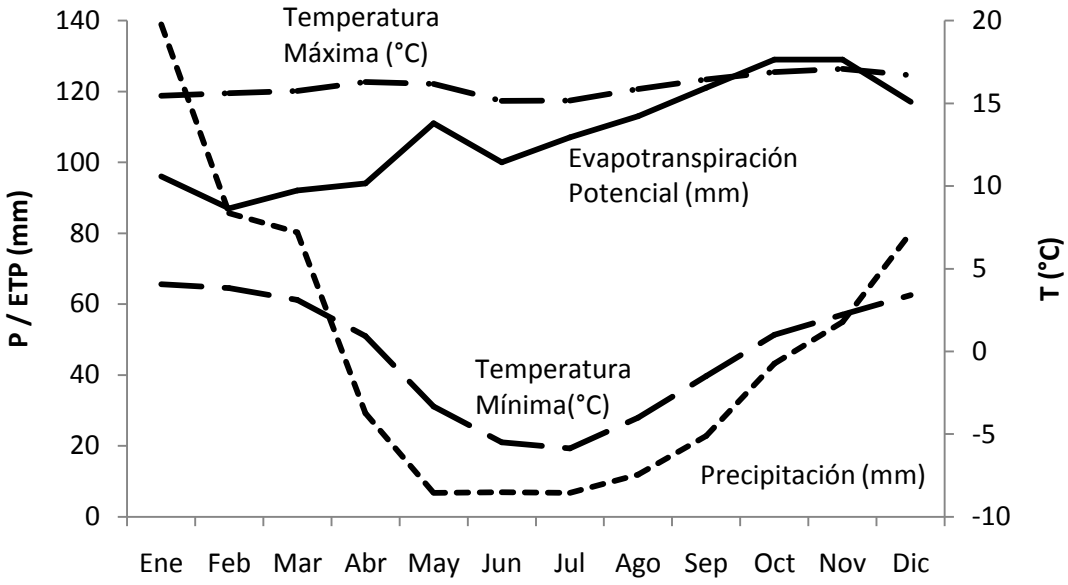
Clima semiárido

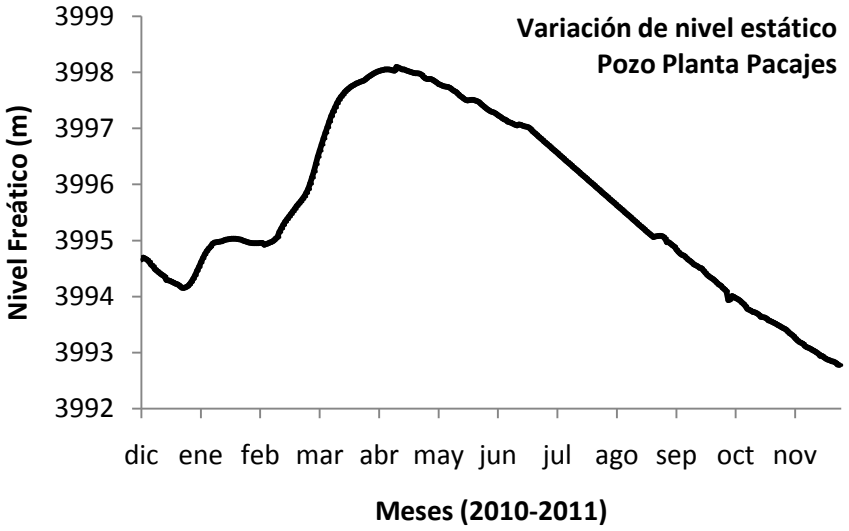
Diferencia marcada entre época lluviosa y época seca

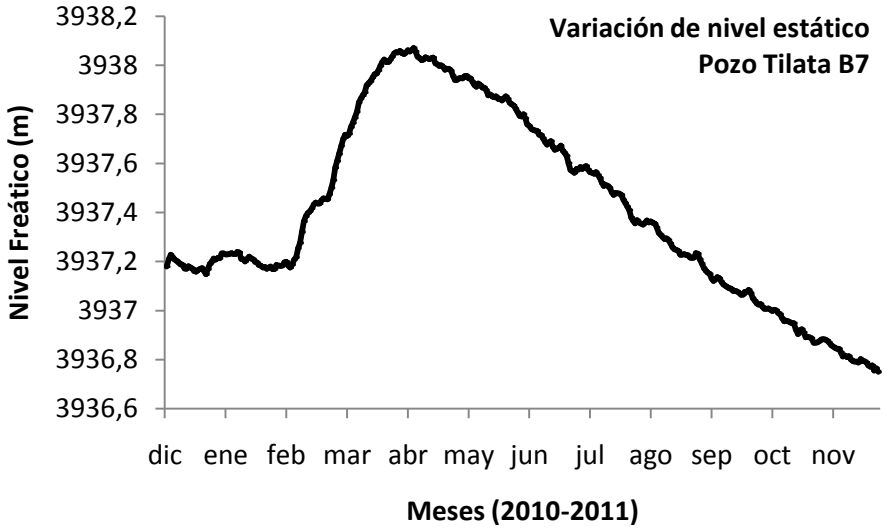
Precipitación anual: 567 mm

ETP promedio anual: 1297 mm

Recarga del acuífero: Lluvia e infiltración de fuentes superficiales → red de agua







Metodología

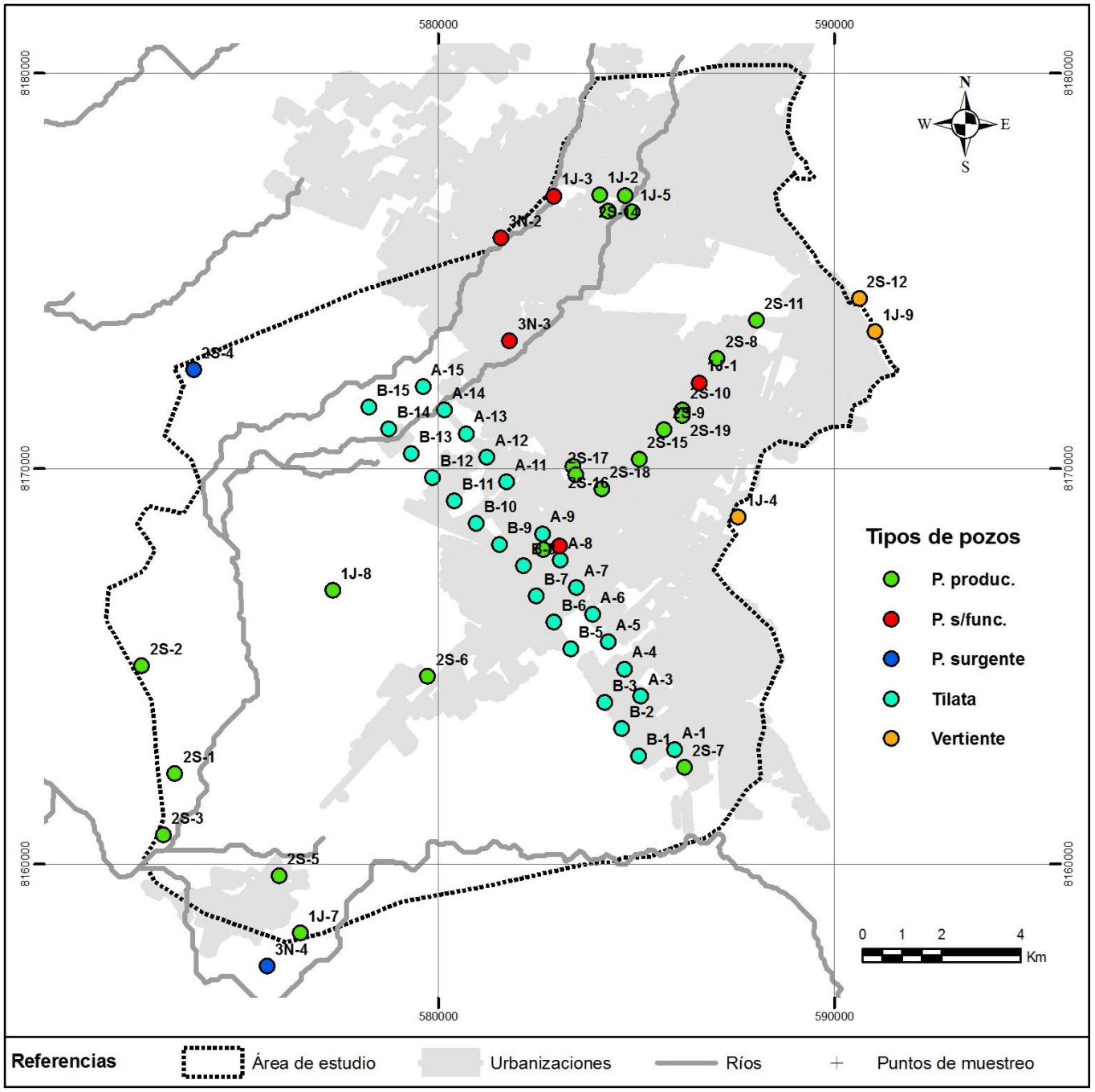
Recopilación de información geológica, hidroquímica, procesamiento de imágenes satelitales.

Censo y relevamiento de pozos y vertientes.

Determinación de parámetros in situ (pH, CE, TDS).

Análisis de iones mayoritarios (Ca, Mg, K, Na, HCO_3, Cl, F, SO_4, NO_3).

Análisis isotópicos; Deuterio/Oxígeno-18 (orígenes y efectos de mezcla) y Tritio (edad de las aguas).



Resultados preliminares - (61 muestras)

Parámetros (mg/L)	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	NO_3	F	TDS
Máximo	48.10	31.59	78.89	16.00	134.81	4.80	88.97	112.99	60.50	1.14	427.00
Mínimo	0.20	0.12	6.21	1.17	6.10	4.80	1.42	4.80	0.00	0.05	49.00
Promedio	13.11	6.30	17.27	4.89	38.02	4.80	16.55	23.96	18.51	0.29	138.89
Desv. Est.	10.07	5.69	12.02	3.35	28.97		16.51	22.23	15.63	0.23	81.51
N.B. 512							250	400	45	0.6-1.5	1000

Parámetros	pH	Eh (mV)	CE (µS /cm)	T (°C)	IS calcita	IS arag.	IS dolom.	IS yeso	IS anhidr.	δ^2H (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)
Máximo	8.74	623.00	673.00	20.94	-0.41	-0.56	-0.79	-1.69	-1.94	-103.1	-13.45
Mínimo	6.01	185.17	79.00	11.79	-3.42	-3.57	-7.19	-4.75	-5.00	-130.1	-17.68
Promedio	6.95	337.59	223.64	14.28	-2.09	-2.24	-4.33	-2.93	-3.18	-119.0	-16.08
Desv. Est.	0.48	105.56	129.47	1.55	0.63	0.63	1.27	0.58	0.58	5.89	0.79
N.B. 512	6.5-9		1500								

Resultado preliminares

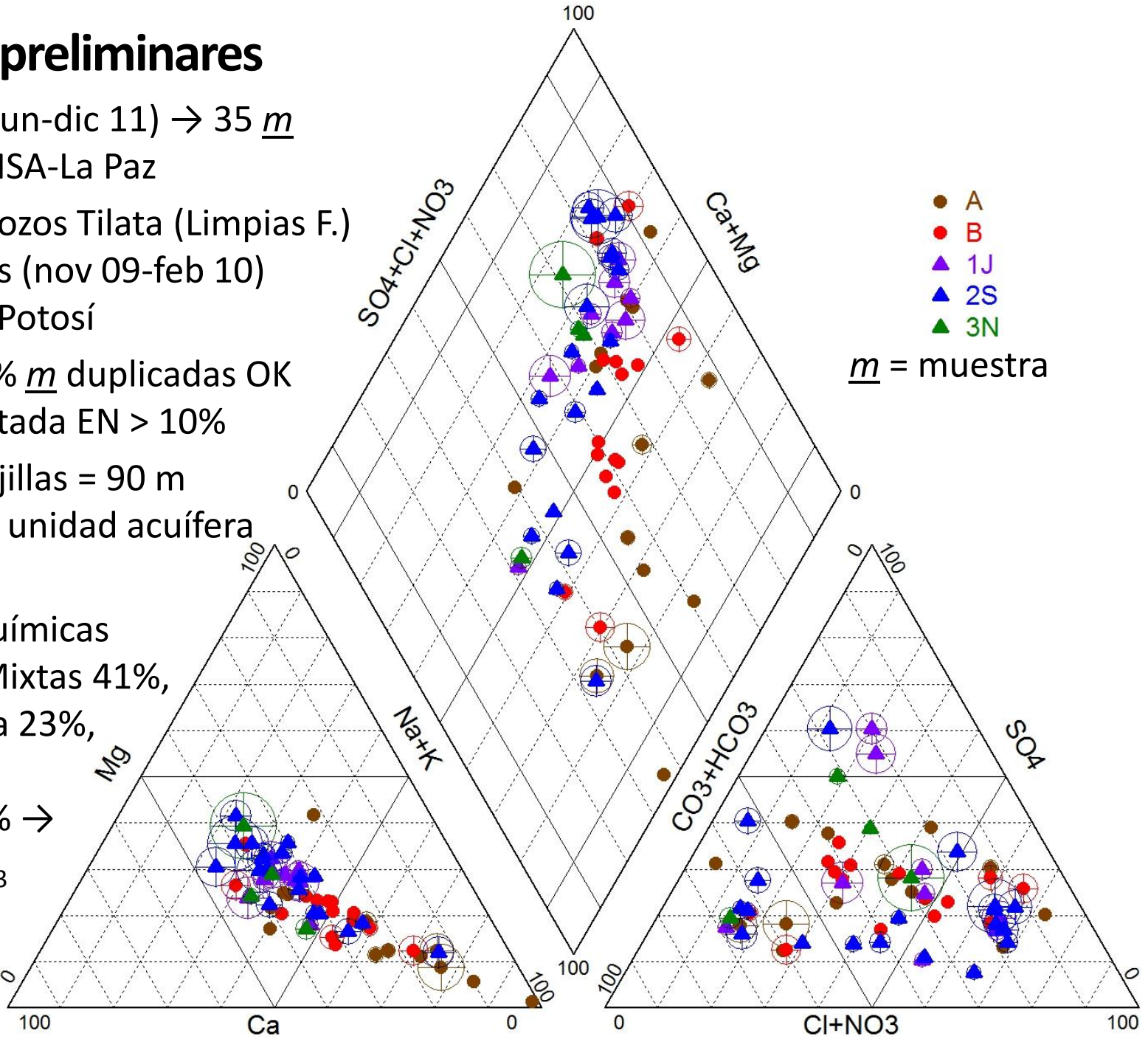
3 campañas (jun-dic 11) → 35 *m*
→ Lab. IIS-UMSA-La Paz

Datos de 27 pozos Tilata (Limpias F.)
→ 3 campañas (nov 09-feb 10)
→ Lab. CIMA-Potosí

Control → 10% *m* duplicadas OK
→ 1 *m* descartada EN > 10%

Prof. prom. rejillas = 90 m (50-120 m) → unidad acuífera no definida

Facies hidroquímicas dominantes Mixtas 41%, Bicarbonatada 23%, Sulfatada 5%, Clorurada 31% → influencia NO_3 bajos TDS → $R^2(Cl\text{-}NO_3)$ = 0.53



Hipótesis

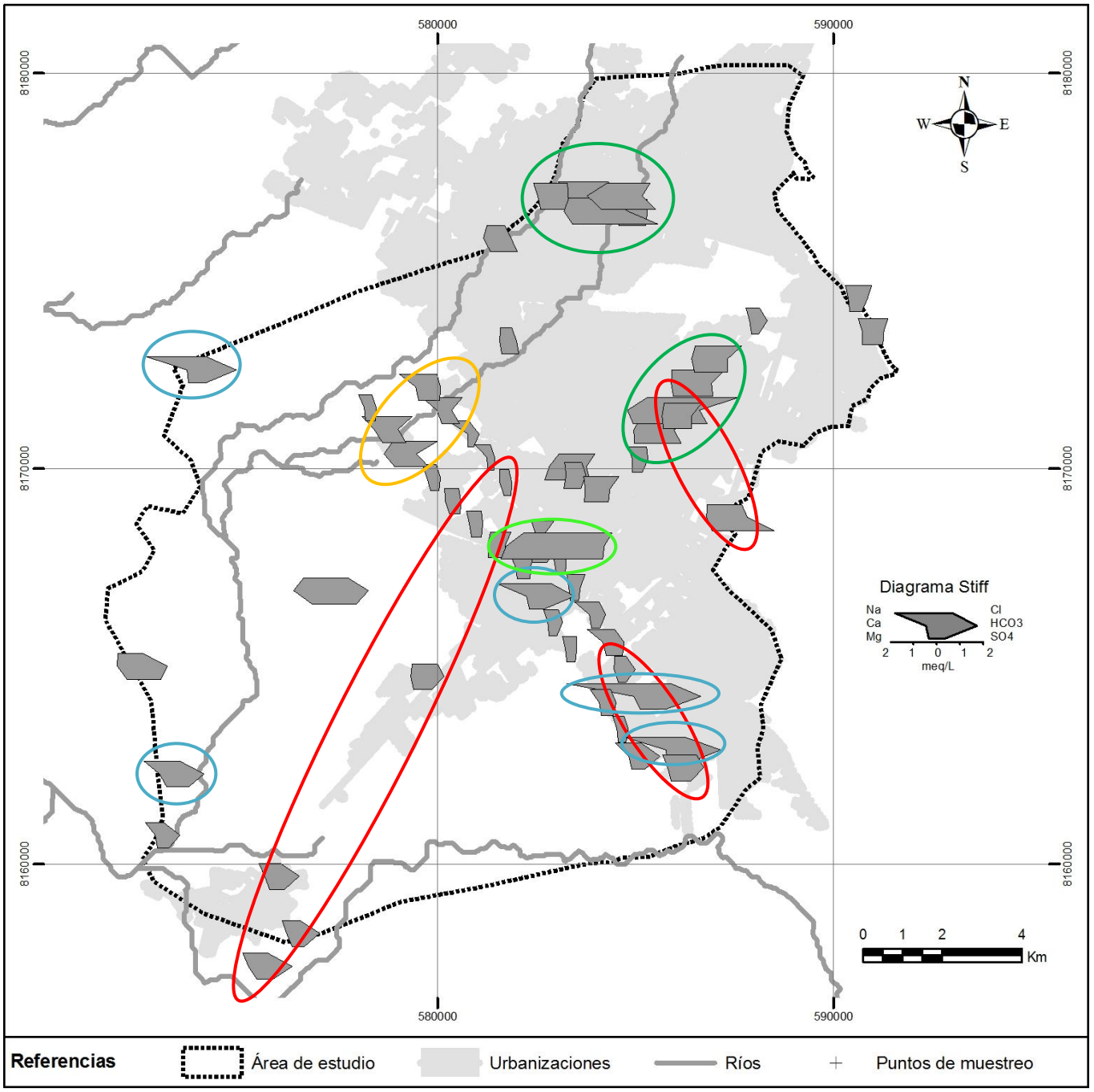
La mayoría de las muestras cumplen la NB 512, el contenido de TDS según IS sugiere disolución potencial de carbonatos, sulfatos y haloideos, contenidos de Na sugieren intercambio iónico (1).

Aguas agresivas por efluentes industriales ? (>TDS) (2).

Efecto del río Seco, contaminación? (3).

Pozo de mayor TDS, efecto de purga? (4).

Relación de evolución en línea de flujo? (5).



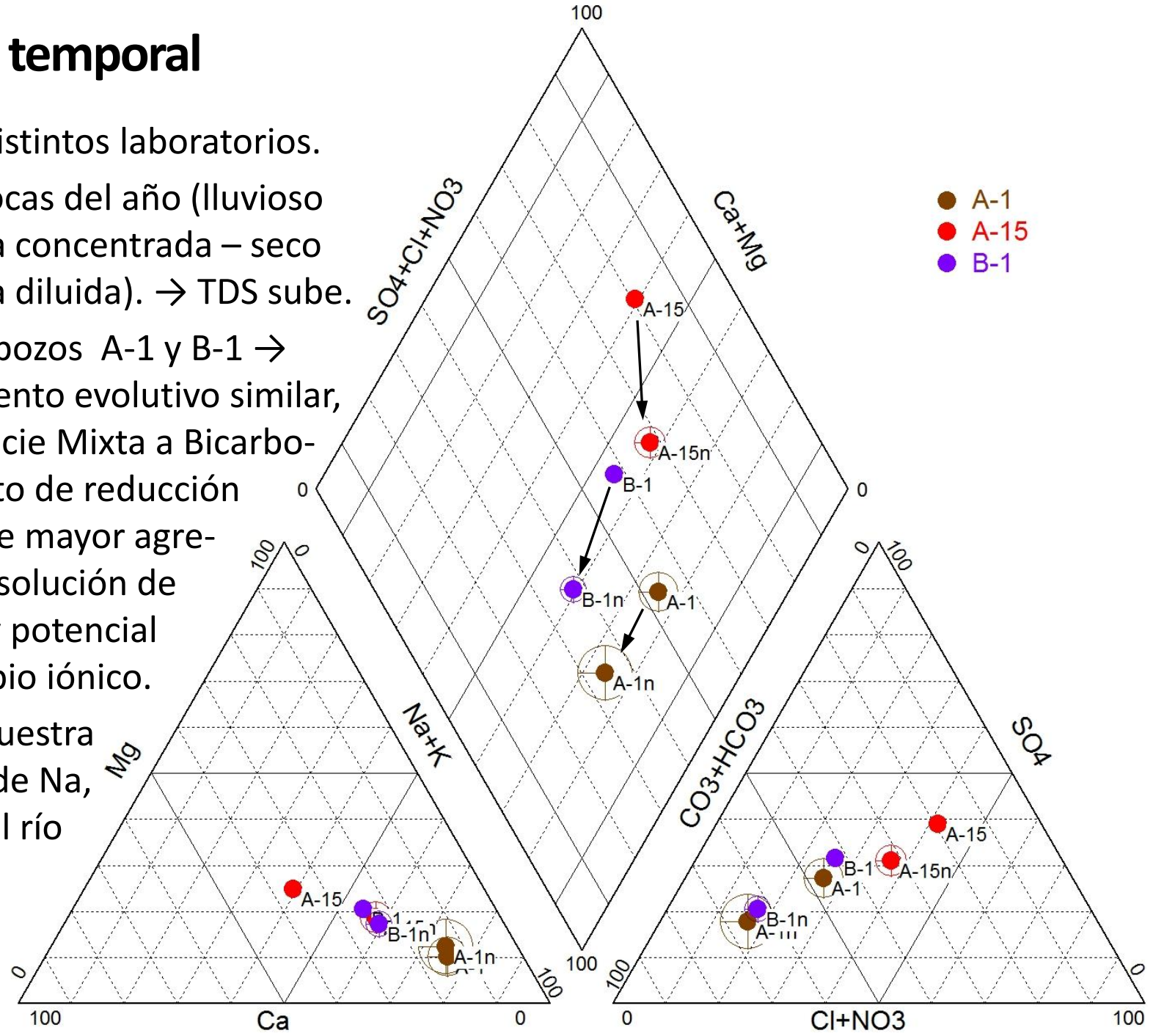
Evolución temporal

Análisis en distintos laboratorios.

Distintas épocas del año (lluvioso 2009 → agua concentrada – seco 2011 → agua diluida). → TDS sube.

Cercanía de pozos A-1 y B-1 → comportamiento evolutivo similar, cambio de facie Mixta a Bicarbonatada, efecto de reducción de pH sugiere mayor agresividad en disolución de carbonatos y potencial de intercambio iónico.

Pozo A-15 muestra incremento de Na, influencia del río Seco?



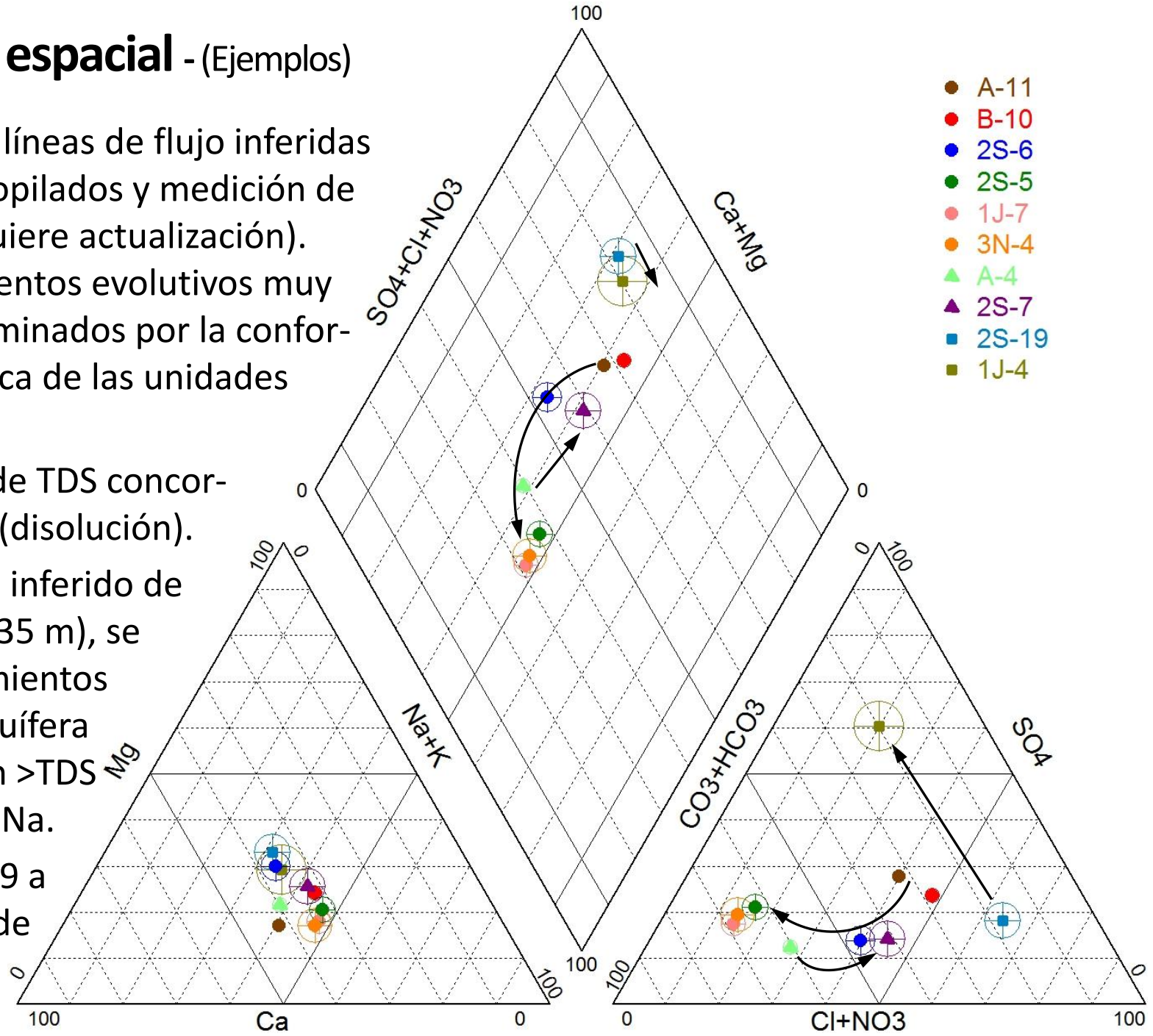
Evolución espacial - (Ejemplos)

Gradientes y líneas de flujo inferidas de datos recopilados y medición de niveles (requiere actualización). Comportamientos evolutivos muy distintos, dominados por la conformación caótica de las unidades acuíferas.

Incremento de TDS concordante con IS (disolución).

Flujo somero inferido de A-4 a 2S-7 (~35 m), se asume aislamientos de unidad acuífera profunda con >TDS y facie HCO_3-Na.

Flujo de 2S-19 a 1J-4 cambia de Cl a SO_4.

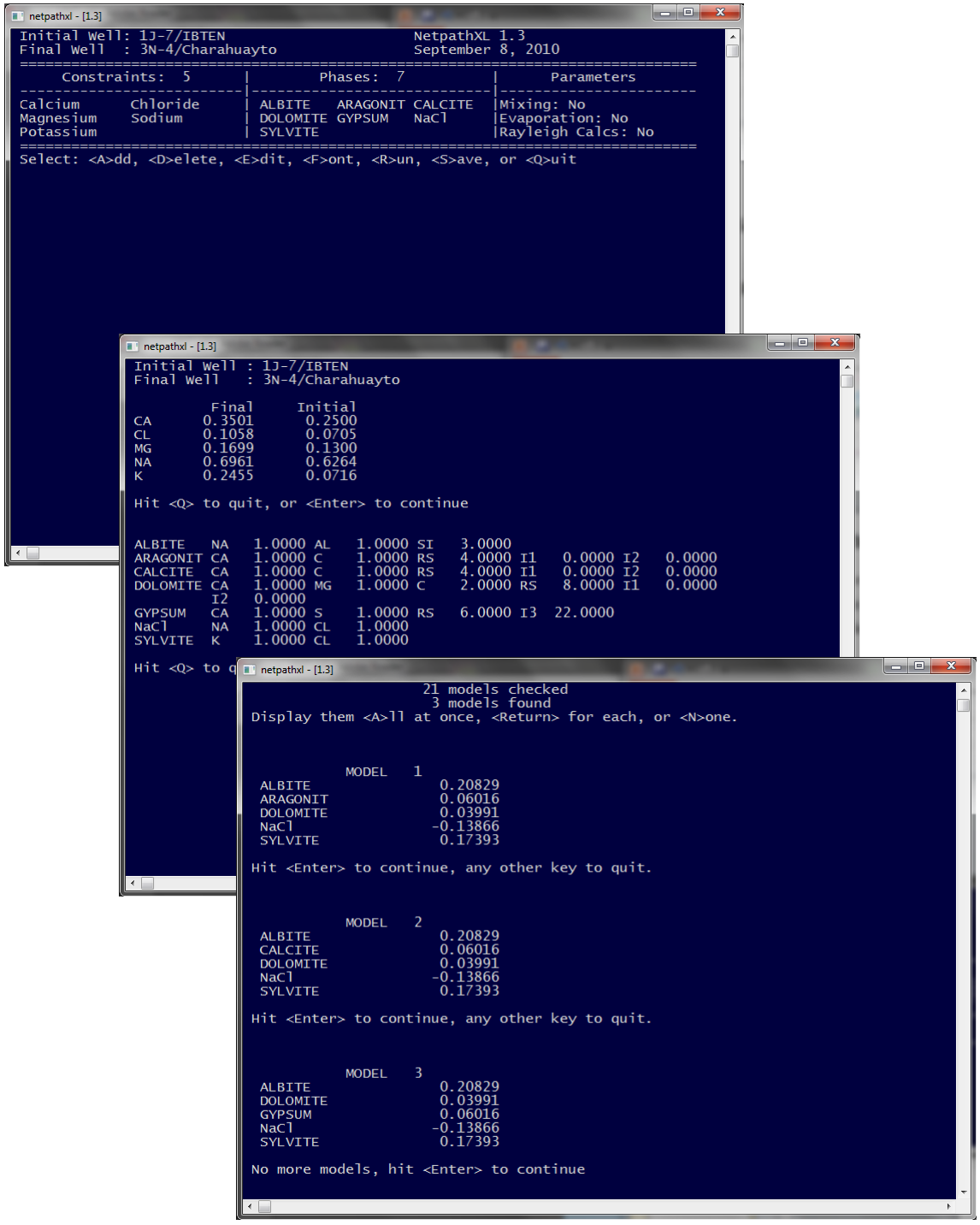


Evolución espacial

Ensayo de comprobación de evolución de flujos con modelación inversa (NETPATH, PHREEQC, etc.), requiere nociones detalladas de la geología local.

Ejemplo: flujo entre 1J-7 y 3N-4 (Dist. = 1.1 Km), se asume disolución de carbonatos y sulfatos, además de haloideos (inferido por incremento de K). Resultado 3 modelos de valores similares, selección fácil.

Para modelación inversa de flujos de tránsito lento (mayor distancia) se involucran silicatos → Aumento de modelos posibles → Requiere de especies adicionales (Al, Fe) → selección complicada.



Nitratos

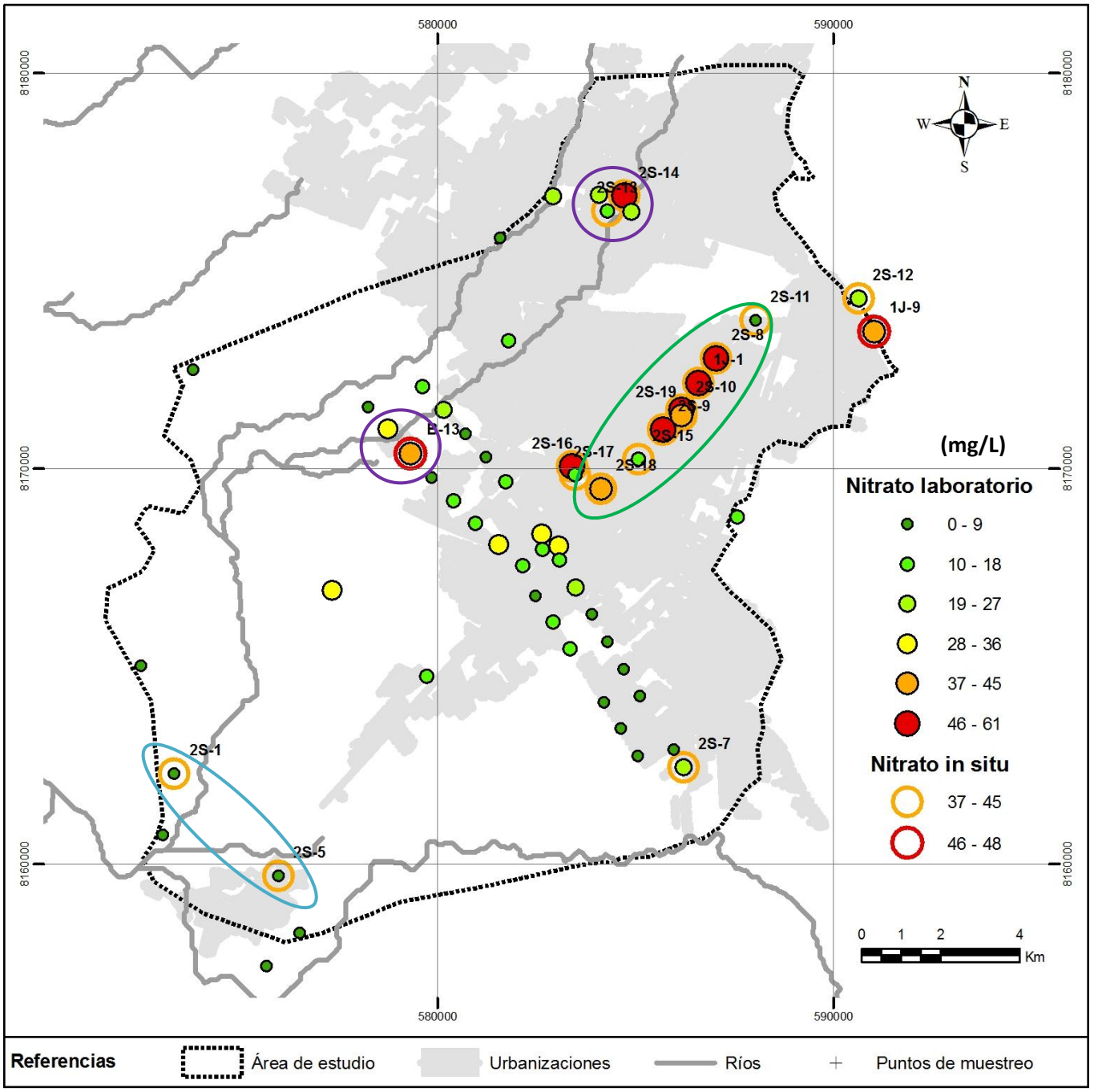
Indicio de contaminación antropogénica (desechos domésticos, industriales y fertilizantes).

Diferencia entre mediciones de laboratorio / in situ ①.

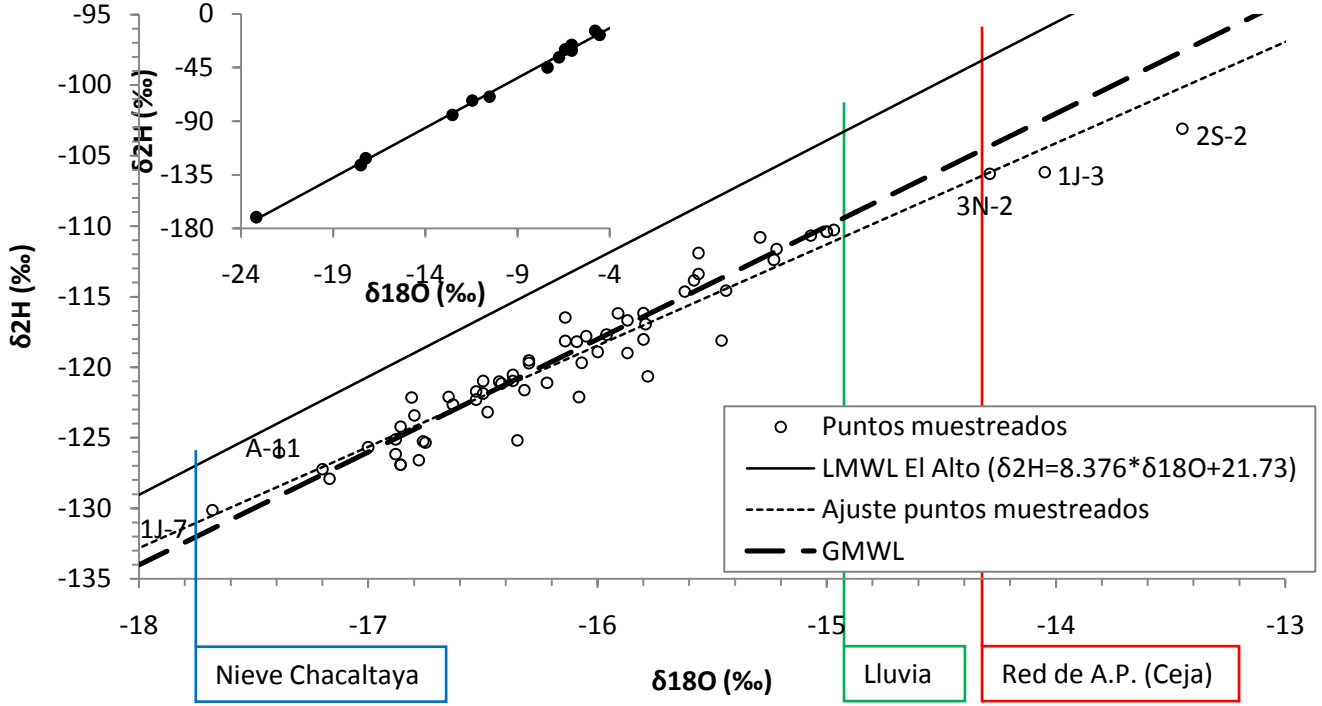
Infiltración de desechos domésticos e industriales? ②.

Contaminación del río Seco infiltrado en pozos? ③.

Infiltración de fugas en redes de alcantarillado (Limpias F. 2010)?



Isótopos



Deuterio y Oxígeno-18 se utilizan para determinar origen de las aguas en el sistema acuífero → 2 fuentes: Infiltración por lluvia (agua joven y somera) y recarga proveniente de procesos de deglaciación (agua antigua y profunda).

La mayoría de las muestras se encuentran entre las 2 fuentes descritas, existen otras que hacen suponer procesos de enriquecimiento isotópico por evaporación .

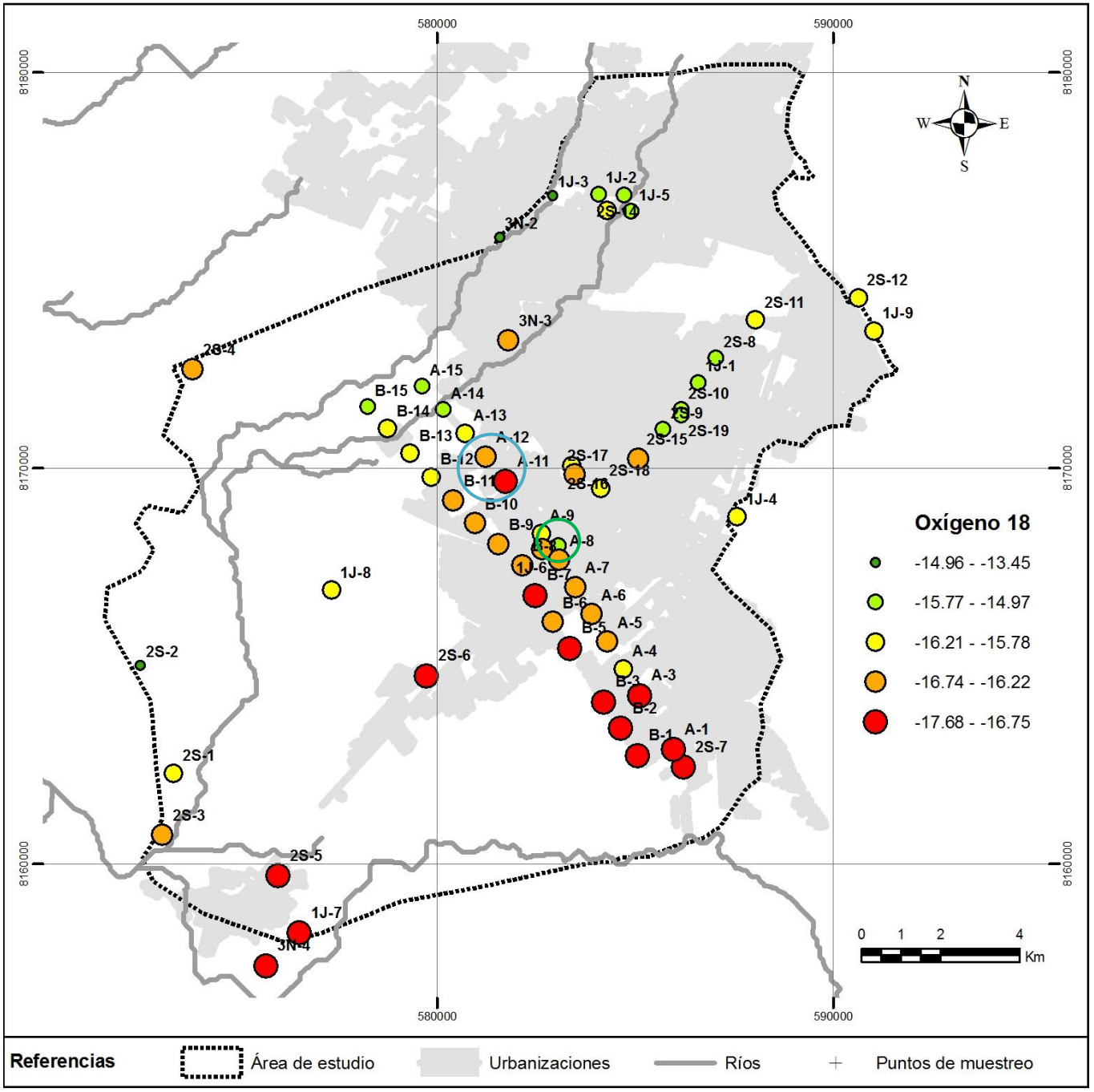
La mayoría de las muestras se alinean con GMWL. Se nota un pequeño desplazamiento de LMWL posiblemente originado en los datos ponderados de series discontinuas (estación El Alto).

Isótopos

Firmas isotópicas enriquecidas al norte y empobrecidas al sur hacen suponer un modelo de flujo pistón, con algunas anomalías: posible dato errado en A-11 misma unidad acuífera que A-12 ①.

El pozo de mayor TDS no corresponde a una firma isotópica empobrecida como se esperaría ②.

Se espera confirmar la hipótesis de diferencias de edades de aguas con Tritio.



Conclusiones preliminares

- Los bajos contenidos de TDS no permiten tener nociones claras de procesos dominantes de interacción del agua con el medio geológico.
- Los procesos de continuo levantamiento y erosión en sus diversas fases orogénicas fueron determinantes para la conformación de diversas unidades acuíferas de pequeña extensión que repercuten en diversas facies hidroquímicas dominantes.
- Los pozos donde se detectaron concentraciones elevadas de nitrato corres-ponden a las primeras urbanizaciones en El Alto, relacionado con infiltraciones de desechos domésticos e industriales.
- Las firmas isotópicas de la mayoría de las muestras denotan mezcla de aguas.

Actividades pendientes

- Programar la última campaña de muestreo para confirmar aspectos de aparente anomalía.
- Identificar pozos representativos para diferenciación temporal.
- Identificar los mejores puntos de muestreo para análisis de Tritio (limitación económica).
- Profundizar en la modelación inversa respaldada en información geológica.
- Conseguir tutor.





- GRACIAS POR SU ATENCIÓN -

