



Modelo conceptual de la interacción río-acuífero mediante un análisis hidroquímico-isotópico, en la subcuenca baja del río Daule, Guayas-Ecuador

Autora:

Ing. Lady Bravo-Montero.

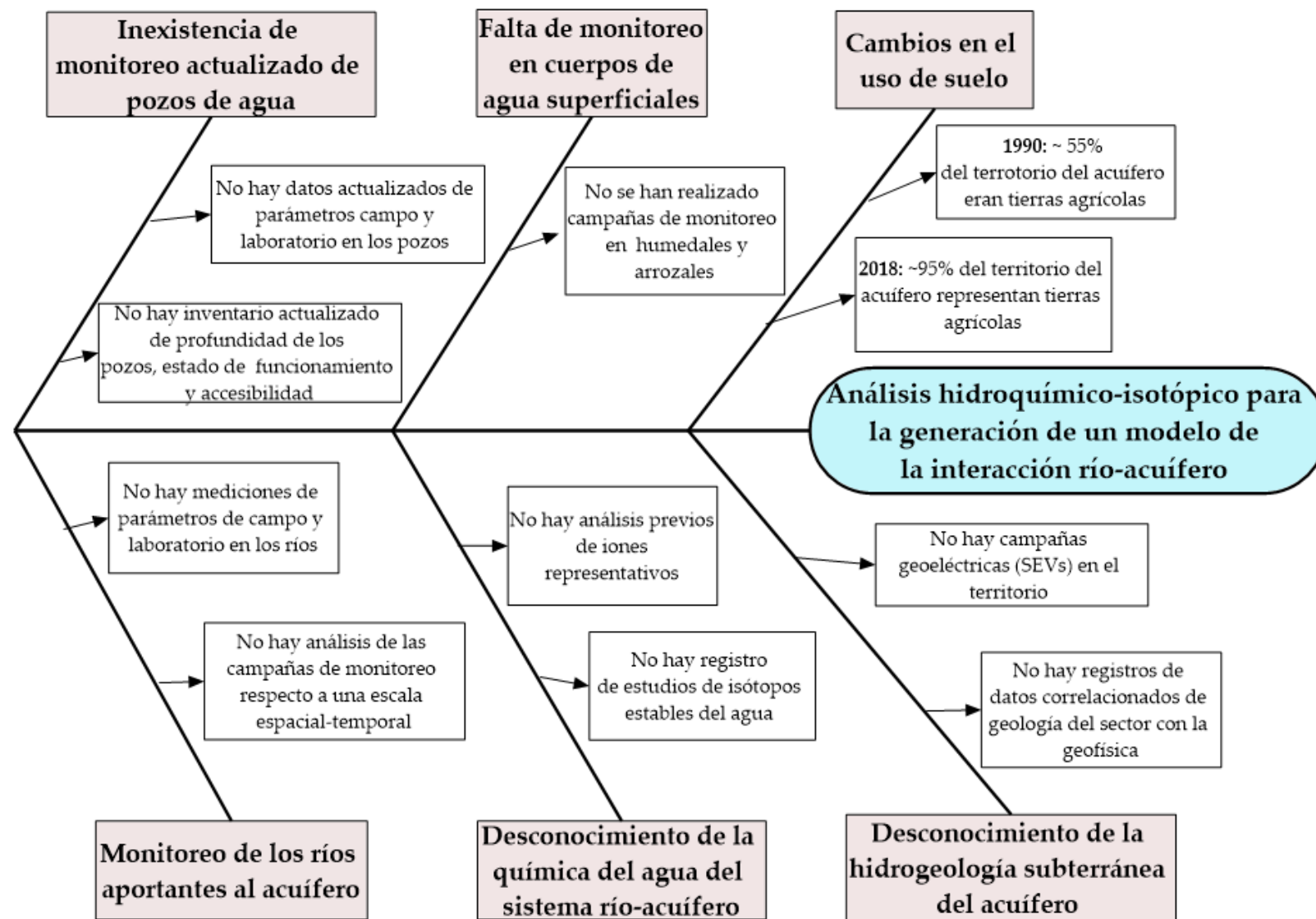
Tutor:

Ing. Paúl Carrión-Mero. PhD.

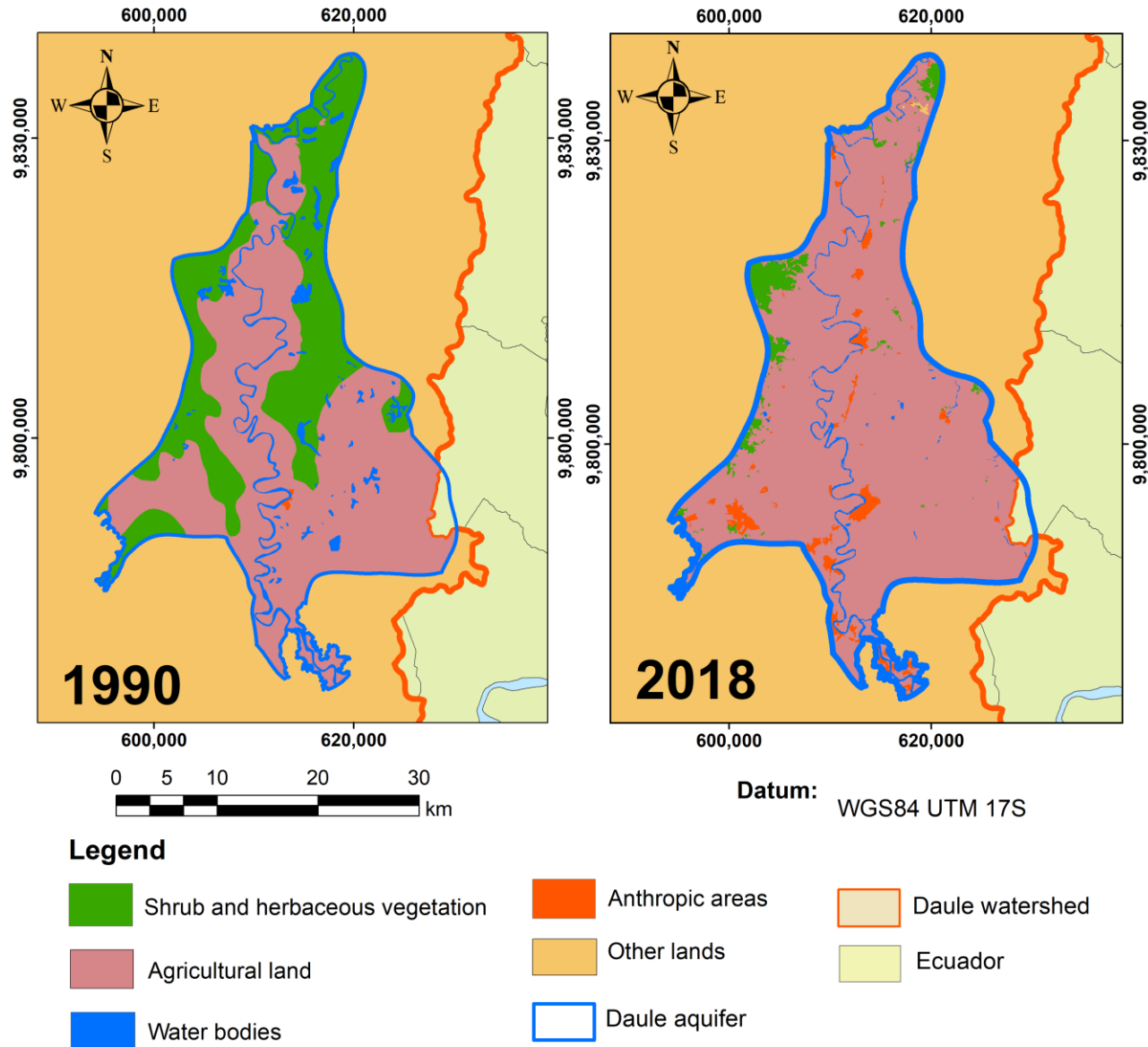
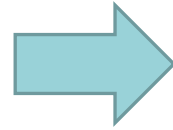
Cotutor:

Ing. Luis Domínguez, PhD.

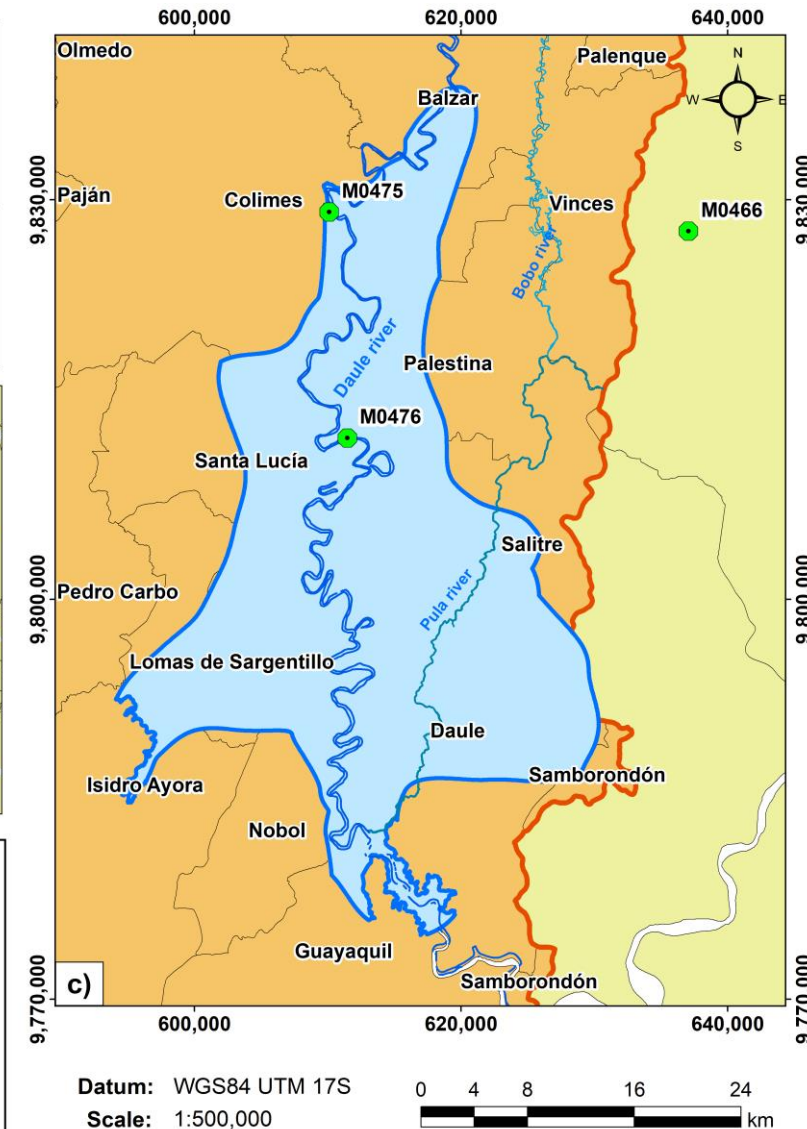
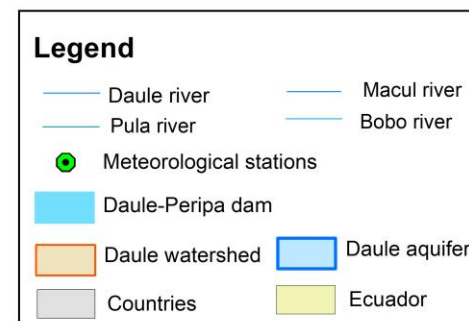




Cambios en el Uso de Suelo



Zona de Estudio



Beneficiarios

Guayas, Manabí, Santa Elena, Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas (~4 millones de personas).



6 CLEAN WATER AND SANITATION



Impactos

1. Cambio climático
2. Cambios de uso de suelo
3. Inadecuadas prácticas agrícolas y de riego
4. Crecimiento de la frontera urbana

Consecuencias

1. Inundaciones y variaciones en parámetros hidrológicos.
2. Erosión y presencia de especies invasivas (lechuguines)
3. Contaminación del agua (N, P)
4. Descargas a la ciudad (alcantarillado).

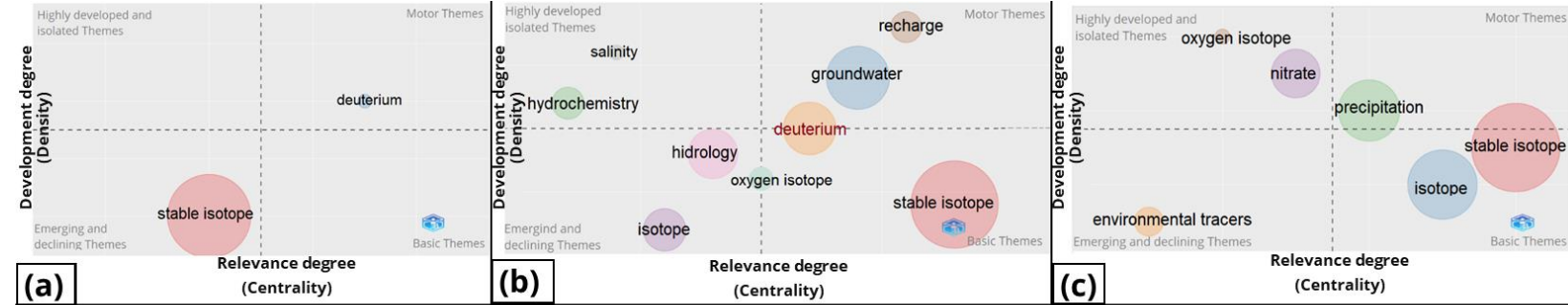
Propuesta de solución

El modelo conceptual de la interacción río-acuífero de Daule contribuye a una gestión integral del agua.

Objetivo General

Generar un modelo conceptual de la **interacción río-acuífero** en la **subcuenca baja del río Daule**, mediante una **caracterización hidroquímica-isotópica** y medición de **niveles en una red de pozos**, para la configuración espacial del flujo en el sector.

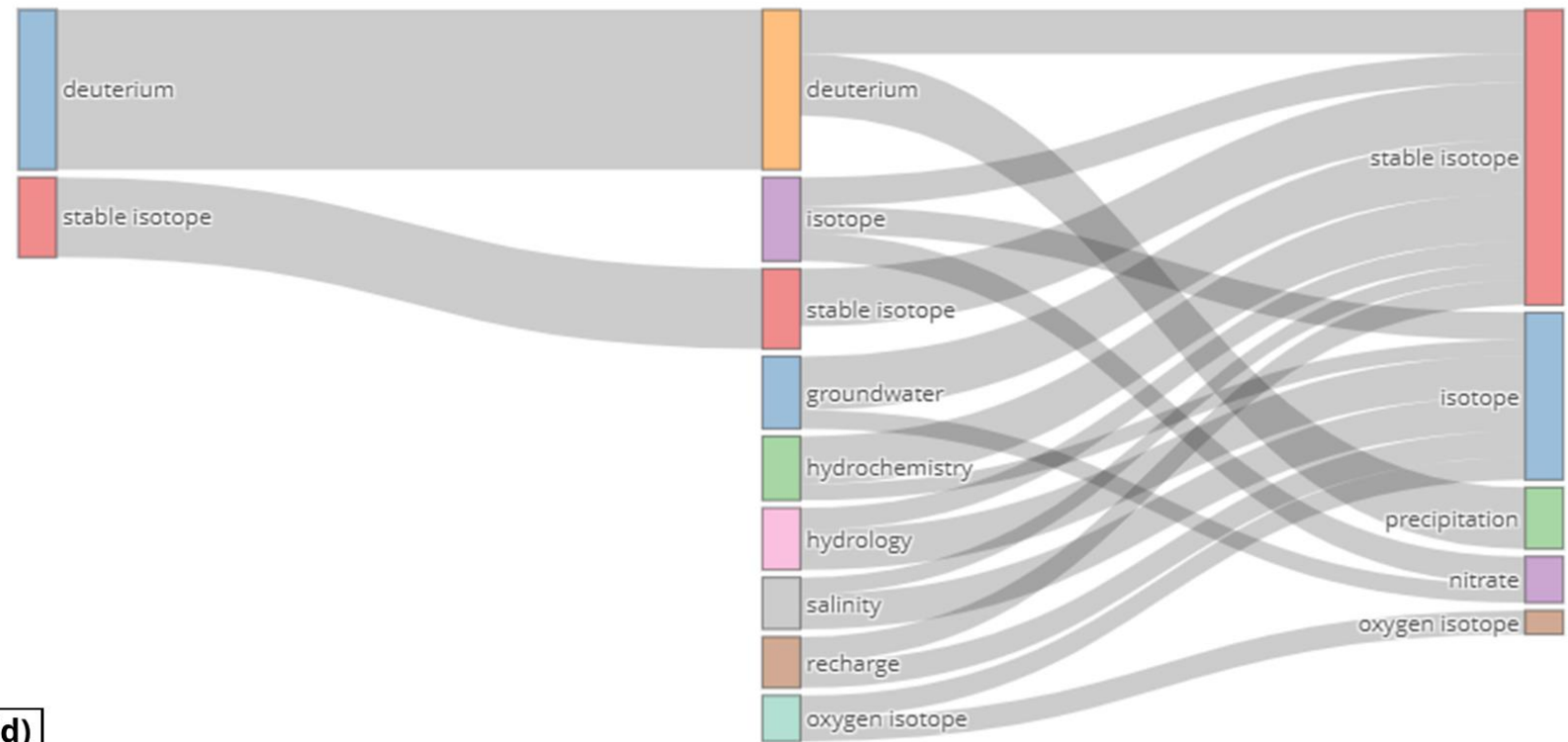




Period I:
1969 – 1990

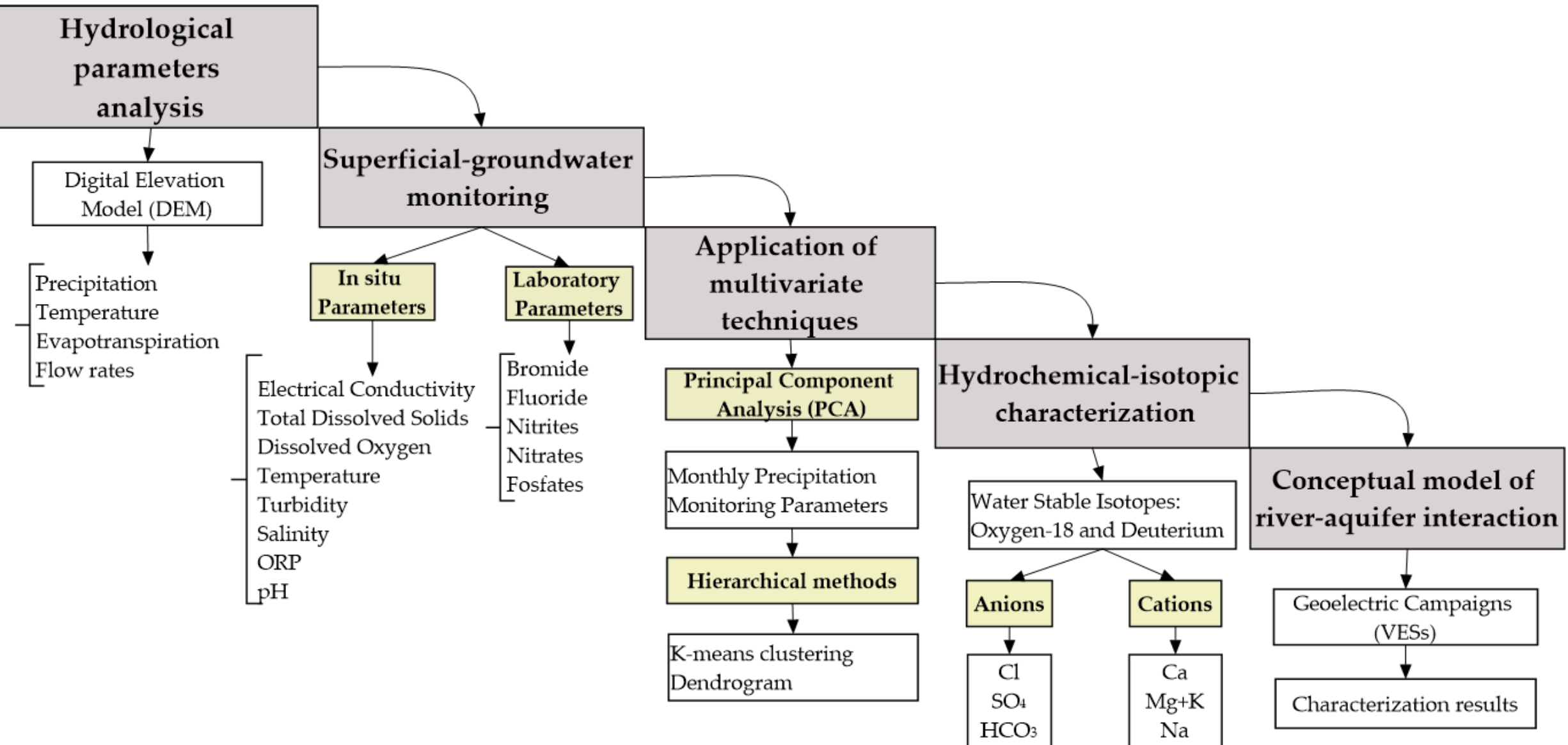
Period II:
1991 – 2005

Period III:
2006 – 2021

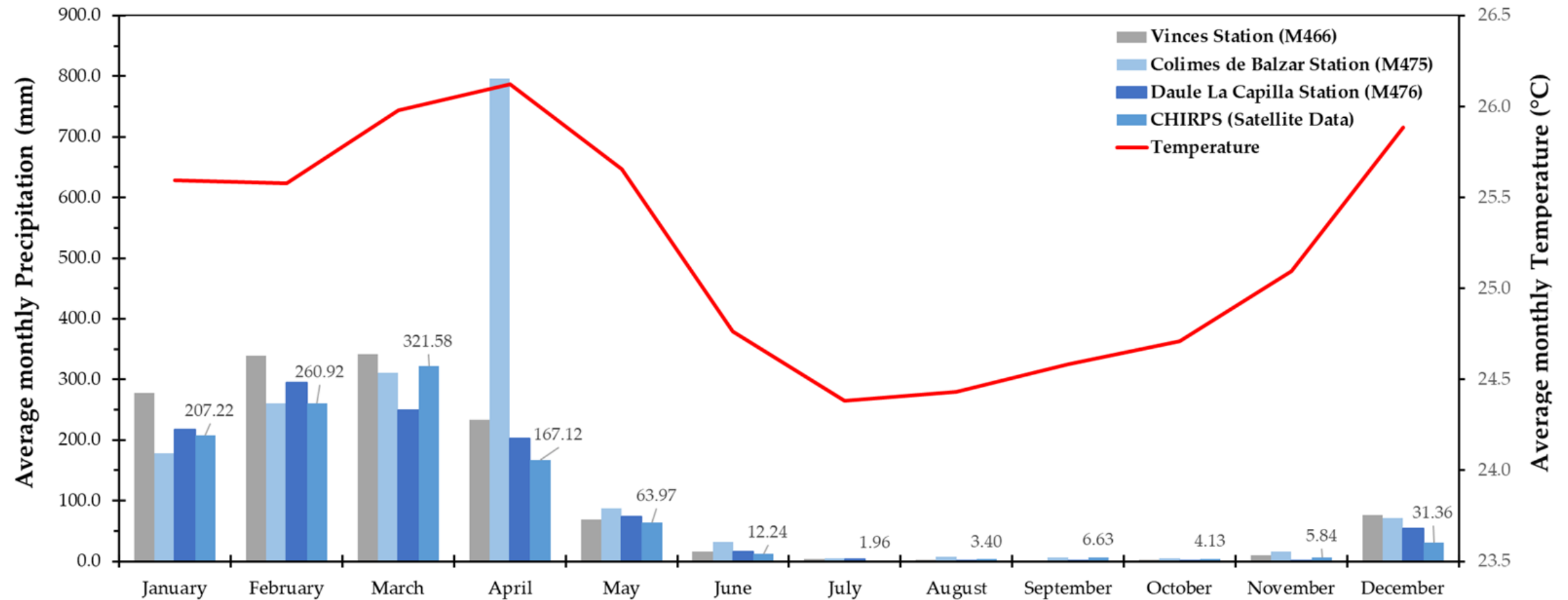


Evolución en la investigación sobre aguas subterráneas e isótopos estables en publicaciones científicas

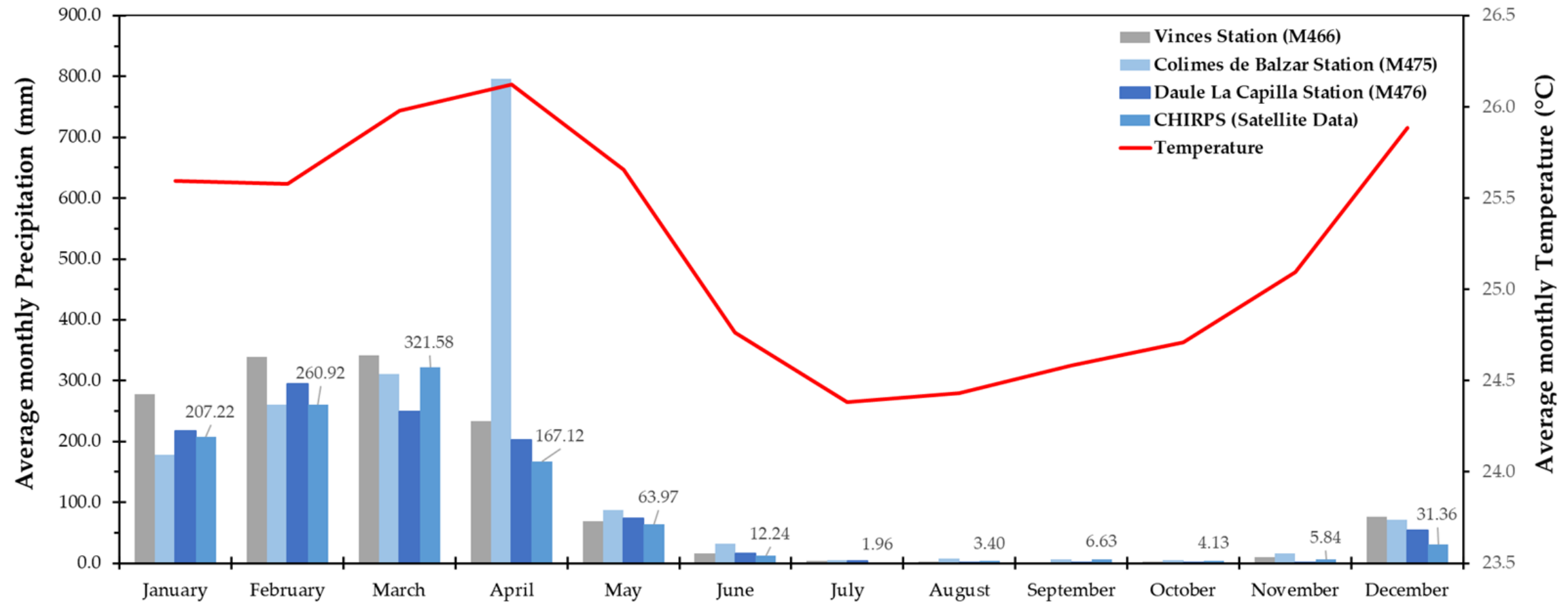
(Carrión-Mero et al. 2022)



Fase I: Análisis de Parámetros Hidrológicos

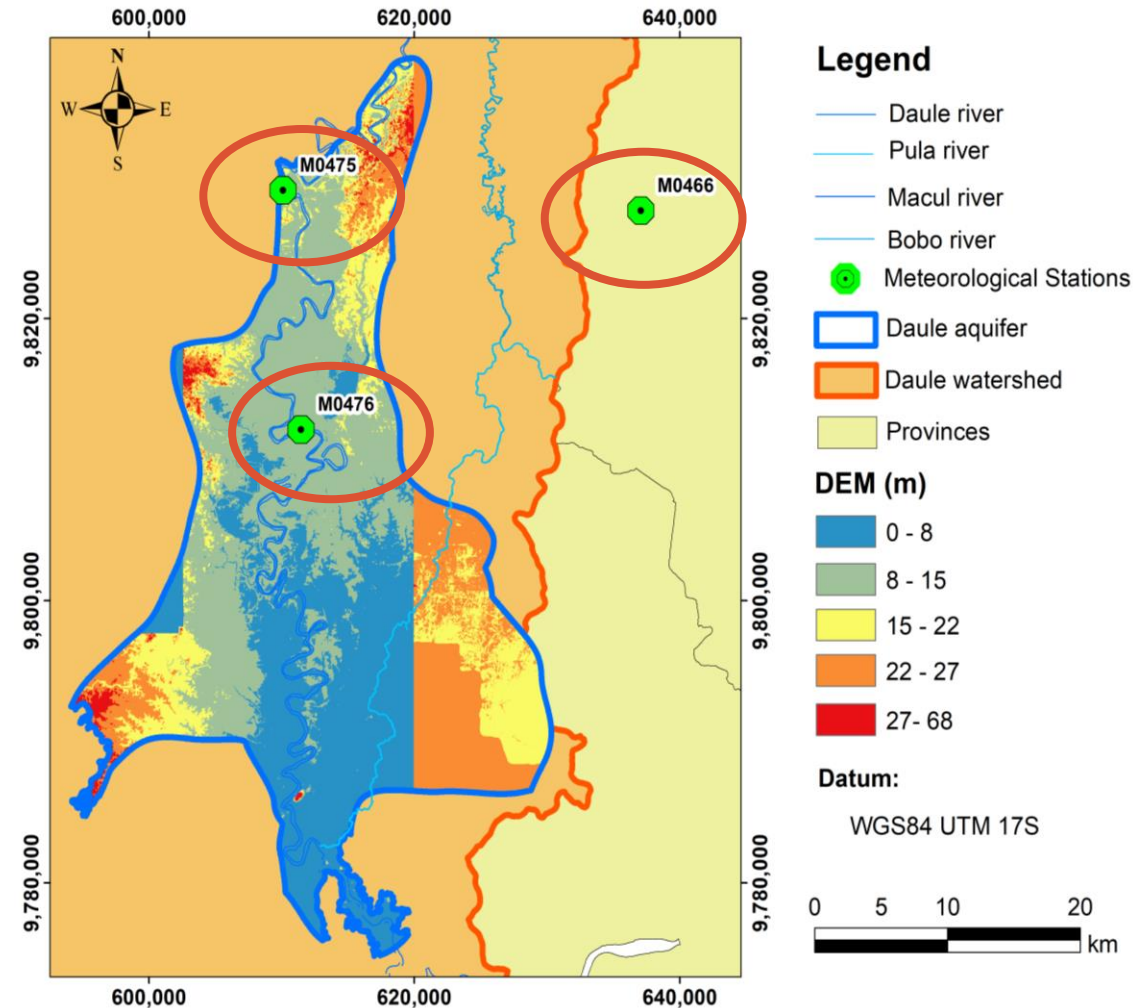


Fase I: Análisis de Parámetros Hidrológicos



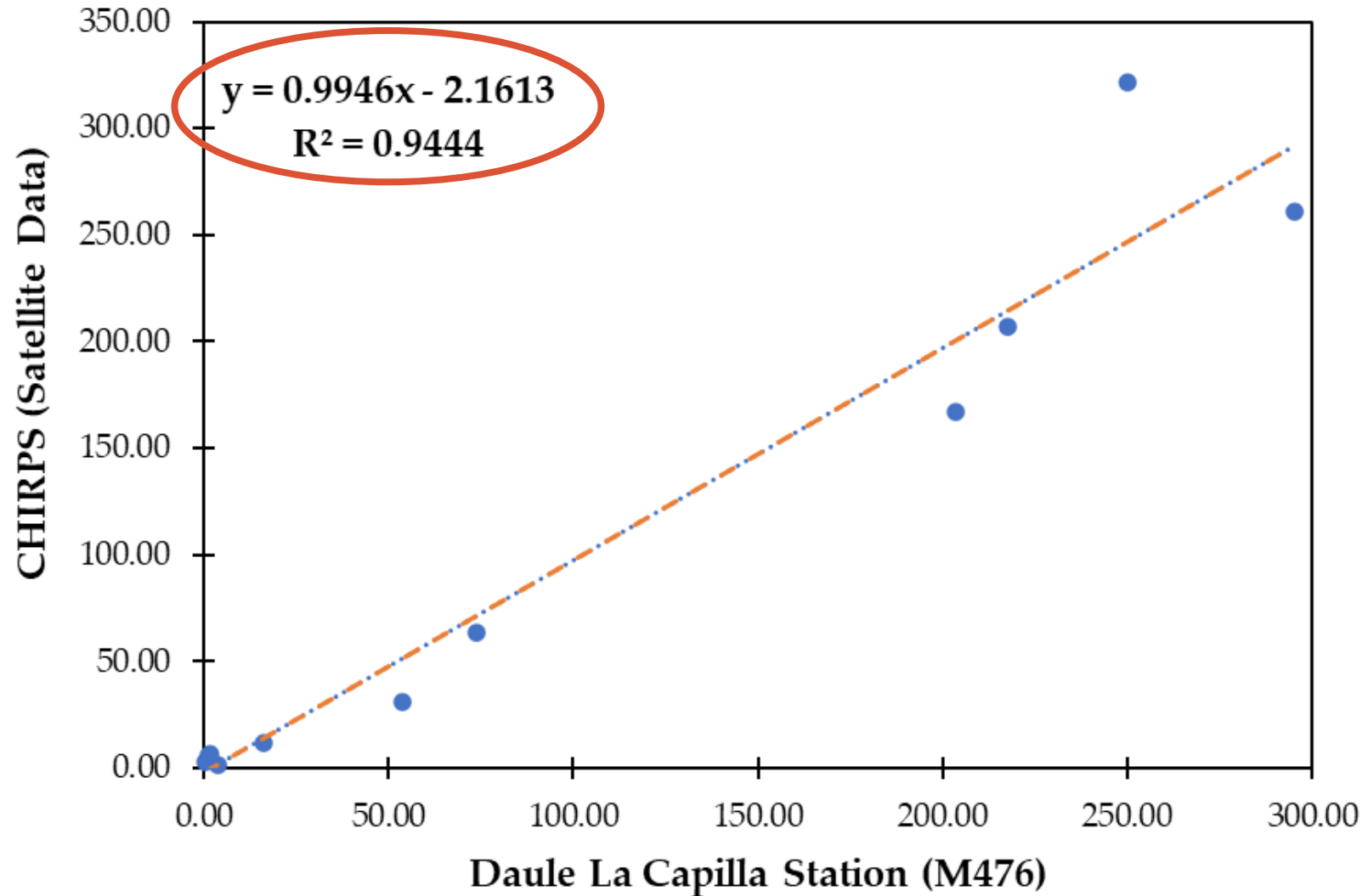
Fase I: Análisis de Parámetros Hidrológicos

Ubicación de Estaciones Meteorológicas

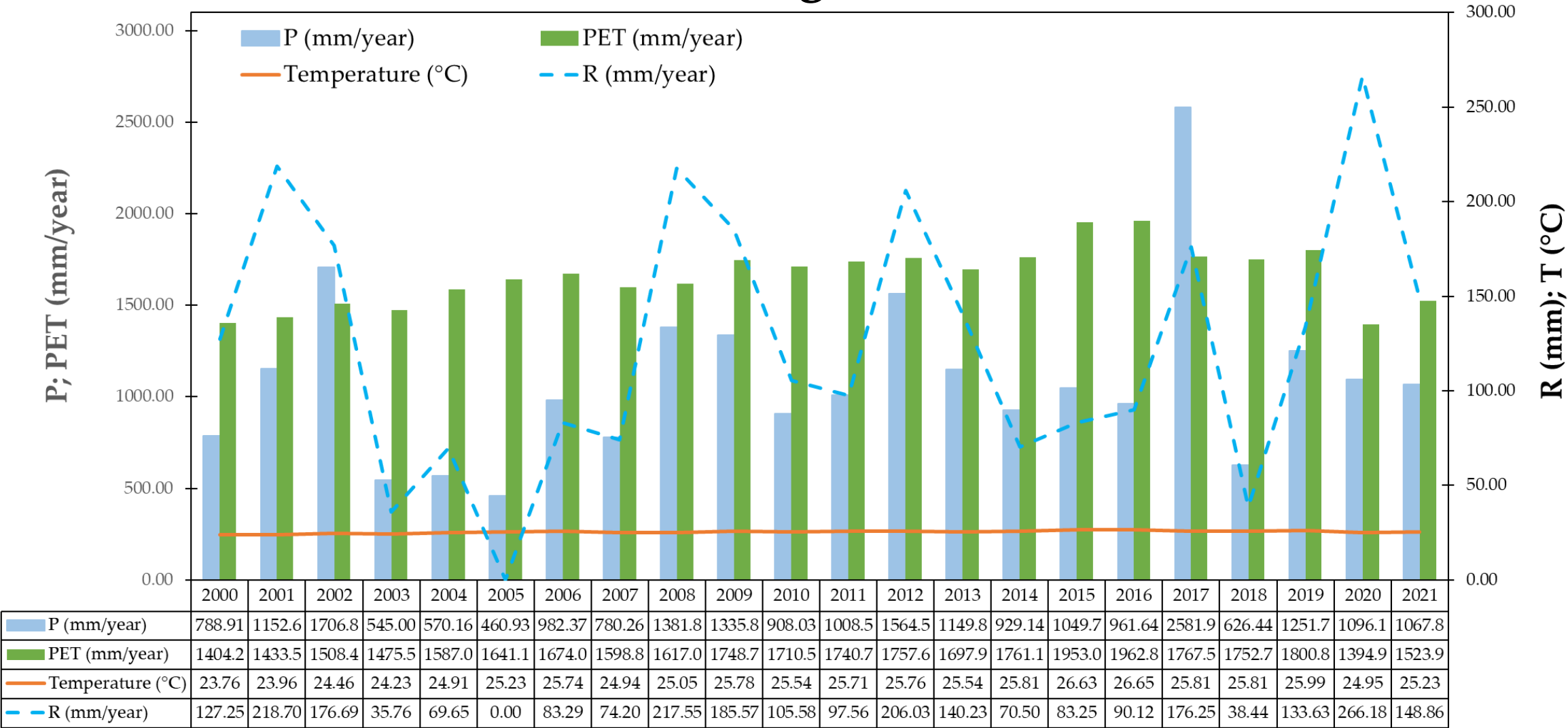


Fase I: Análisis de Parámetros Hidrológicos

Correlación datos
Satelitales vs Estaciones
Meteorológicas



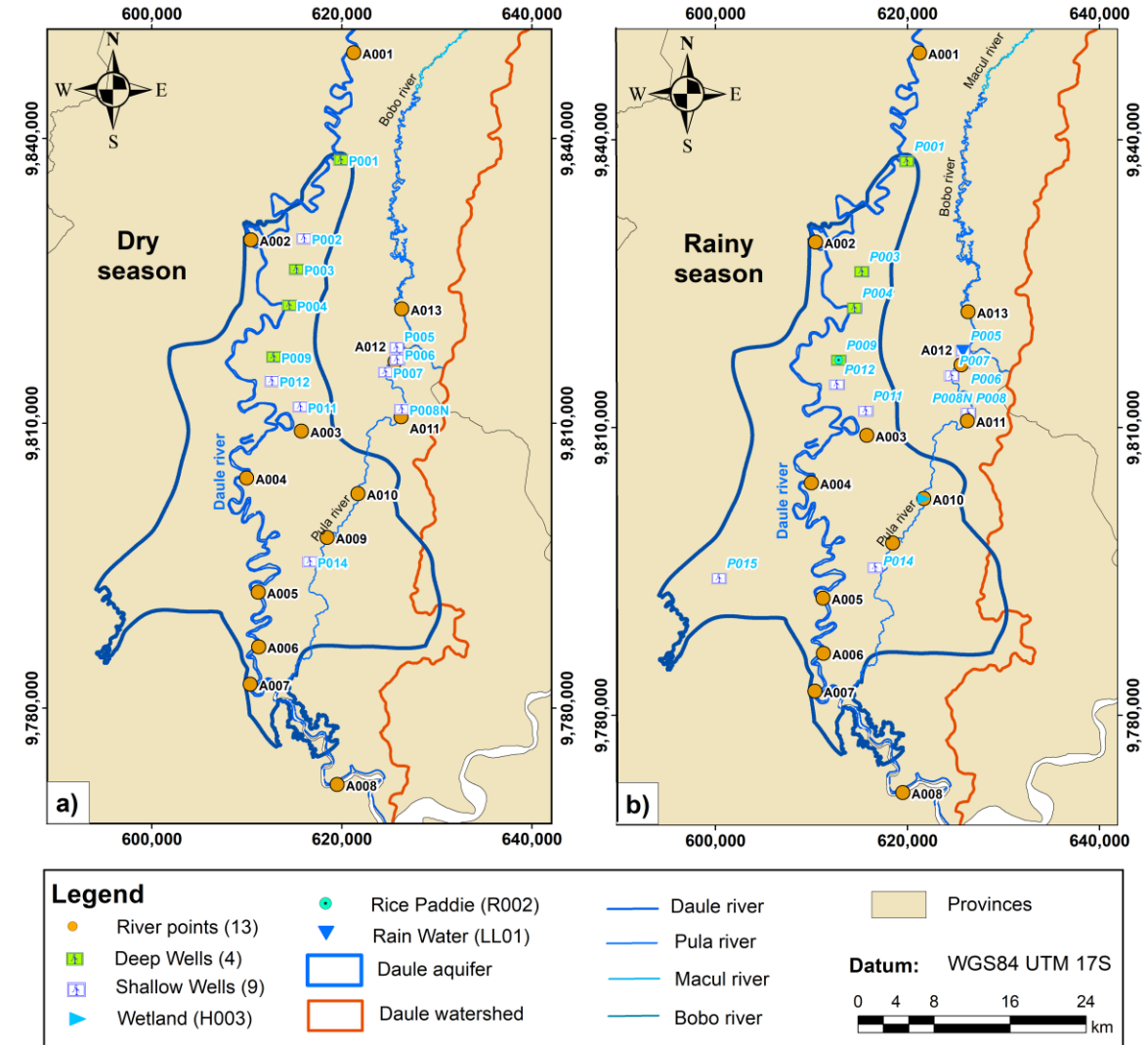
Fase I: Análisis de Parámetros Hidrológicos: Balance Hídrico 200-2021



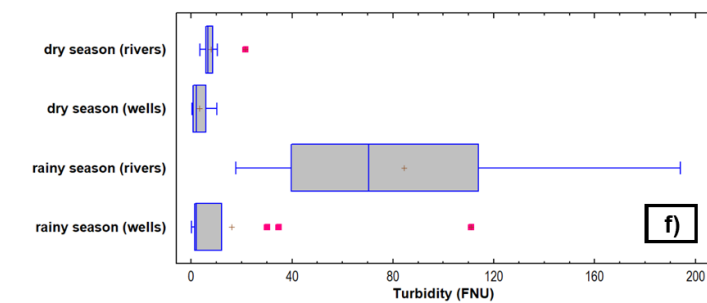
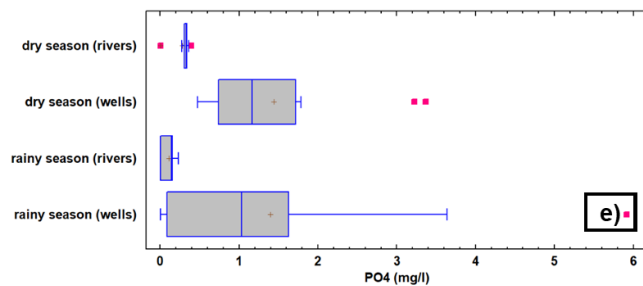
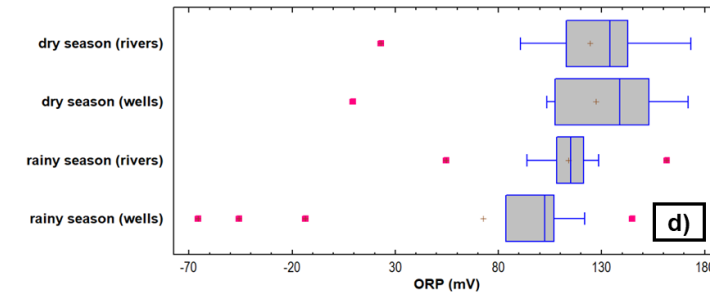
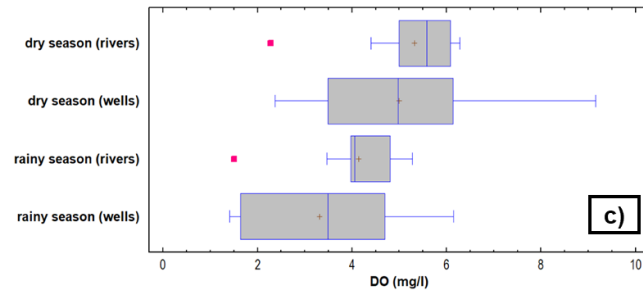
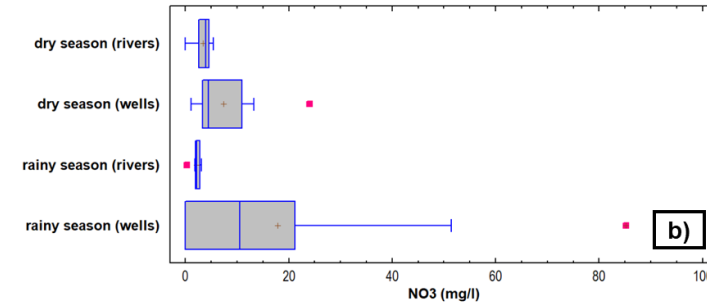
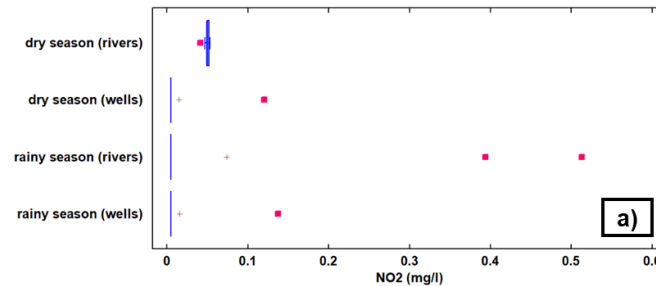
Fase II: Monitoreo del agua superficial-subterránea

Dry Season (Nov-Dic 2021)/Rainy Season (Feb-Abr 2022)

- 13 pozos (9 cauce Daule y 4 cauce Pula)
- 13 muestras de ríos (8 de Daule y 5 de Pula)
- 1 punto de muestro en humedal
- 1 punto de arrozal
- 1 muestra de agua de lluvia



Fase II: Monitoreo del agua superficial-subterránea



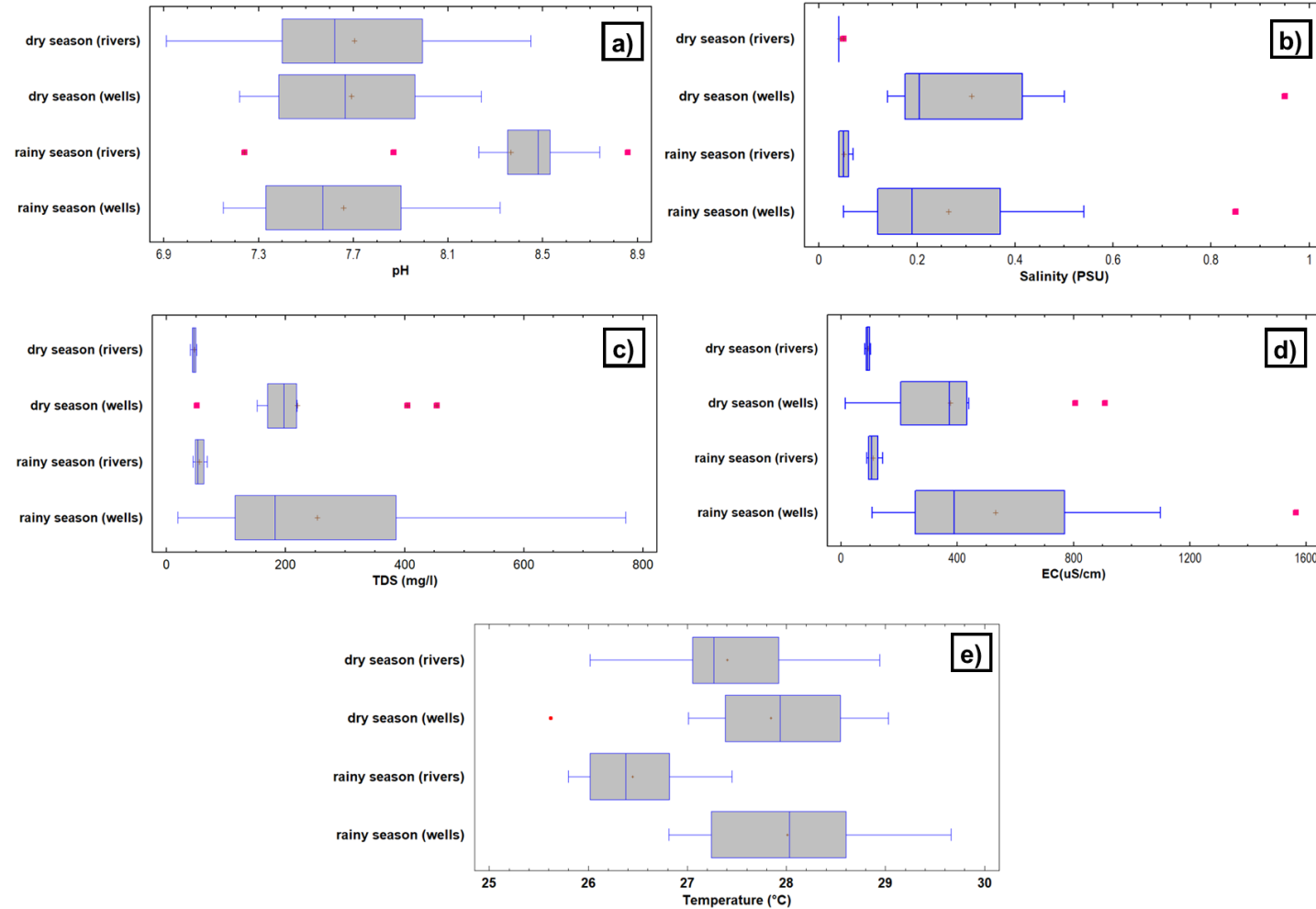
Fase II: Monitoreo del agua superficial-subterránea

Parámetro Pozos	Media (época lluviosa)	Máximo (época lluviosa)	Media (época seca)	Máximo (época seca)	Límite Permisible por el TULSMA (Uso agrícola)
NO ₂ (mg/l)	0.0151	0.137	0.0145	0.12	NO ₂ ≤1 mg/l
NO ₃ (mg/l)	17.83	85.198	7.4192	24.016	NO ₃ ≤10 mg/l
DO (mg/l)	3.313	6.15	4.99	9.16	DO ≤3 mg/l
ORP (mV)	72.6846	144.7	127.4	171.9	300 < ORP < 500: aguas saludables *
PO ₄ (mg/l)	1.3969	5.915	1.4425	3.365	0.1 < PO ₄ < 0.2: inicios de eutrofización *
Turbidity (FNU)	16.0154	111	3.2833	10.1	Turbidity ≤100 FNU

Nota: *:Normativas internacionales; ORP: Oxidation-Reduction Potential

Parámetro Ríos	Media	Máximo	Media	Máximo	Límite Permissible por el TULSMA (Uso agrícola)
	(época lluviosa)		(época seca)		
NO ₂ (mg/l)	0.074	0.513	0.0494	0.053	NO ₂ <=1 mg/l
NO ₃ (mg/l)	2.2018	3.062	3.4151	5.351	NO ₃ <=10 mg/l
DO (mg/l)	4.1353	5.28	5.3153	6.28	DO <=3 mg/l
ORP (mV)	113.892	161.5	124.5	173.3	300 < ORP < 500: aguas saludables *
PO ₄ (mg/l)	0.1077	0.228	0.2805	0.394	0.1 <PO ₄ < 0.2: inicios de eutrofización *
Turbidity (FNU)	84.4308	194.0	7.8923	21.4	50 <=Turbidity <=100 FNU

Fase II: Monitoreo del agua superficial-subterránea



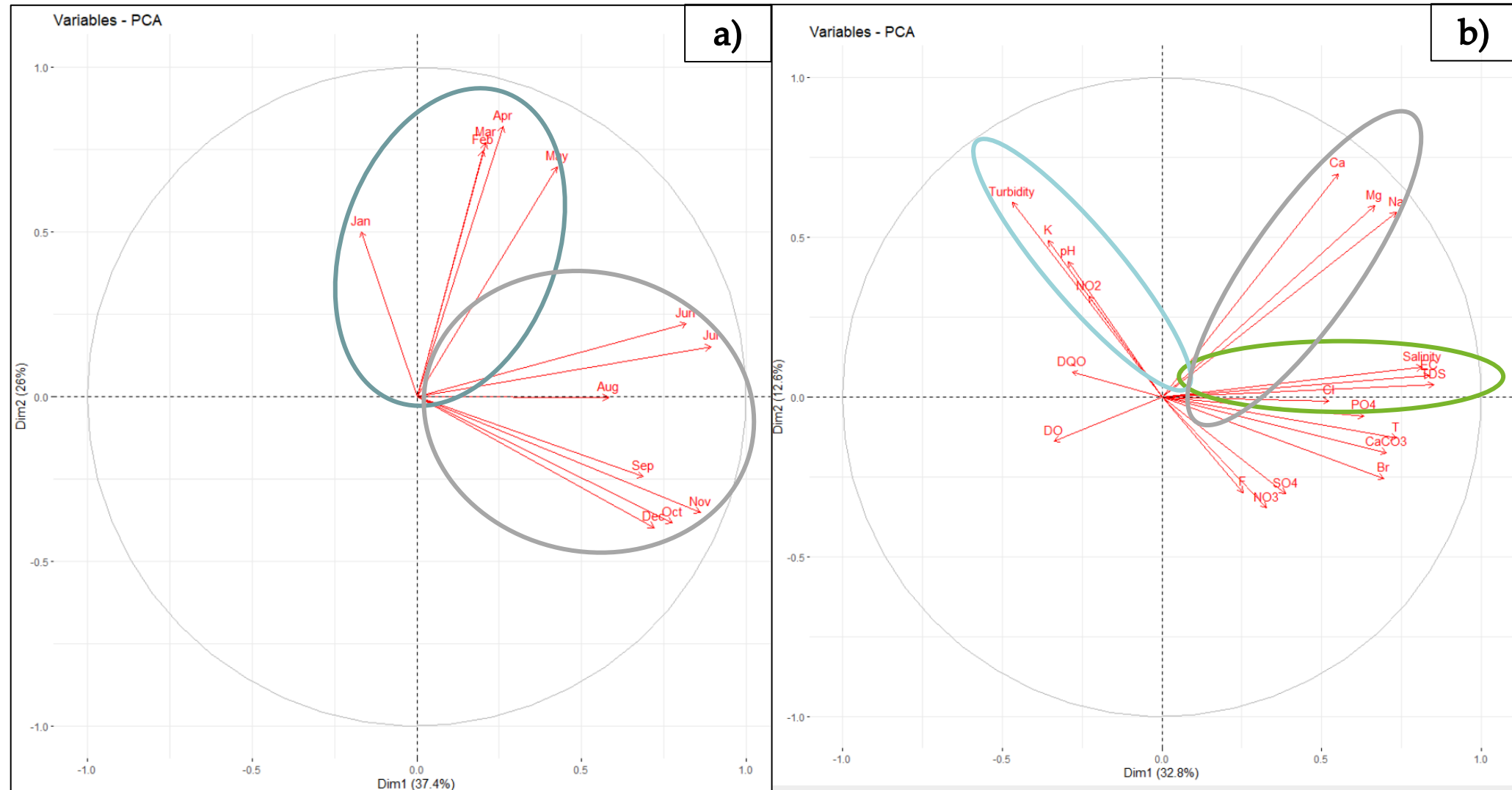
Fase II: Monitoreo del agua superficial-subterránea

Parámetro Pozos	Media (época lluviosa)	Máximo (época lluviosa)	Media (época seca)	Máximo (época seca)	Límite Permisible por el TULSMA (Uso agrícola)
pH	7.6584	8.32	7.6925	8.24	6.5 < pH < 8.4
Temperatura (°C)	28.01	29.66	27.84	29.03	24 ± 3°C
Salinidad (PSU)	0.3108	0.85	0.2638	0.95	S < 0.5: Agua dulce 0.5 < S < 30: Agua salobre S > 30: Agua salina
TDS (mg/l)	252.769	771	219.667	454	TDS ≤ 450 mg/l
EC (uS/cm)	531.692	1565	386.925	908	EC ≤ 700 uS/cm

Parámetro Ríos	Media (época lluviosa)	Máximo (época lluviosa)	Media (época seca)	Máximo (época seca)	Límite Permisible por el TULSMA (Uso agrícola)
pH	8.3661	8.86	7.7046	8.45	6.5 < pH < 8.4
Temperatura (°C)	26.44	27.45	27.40	28.94	24 ± 3°C
Salinidad (PSU)	0.0507	0.07	0.0423	0.05	S < 0.5: Agua dulce 0.5 < S < 30: Agua salobre S > 30: Agua salina
TDS (mg/l)	54.6154	68	46.1538	51	TDS ≤ 450 mg/l
EC (uS/cm)	110.231	144	92.3846	102	EC ≤ 700 uS/cm

Nota: *: Normativas internacionales; ORP: Oxidation-Reduction Potential

Fase III: Aplicación de Técnicas Multivariantes



Fase III: Aplicación de Técnicas Multivariantes

K-means multivariate clustering

Cluster 2:

Rainy season: wells 4,
8, 8N, 9, 11, 12, 14.

Dry season: wells 8N,
9, 11, 12, 14.

Fase IV: Caracterización Hidroquímica-Isotópica

Agua superficial

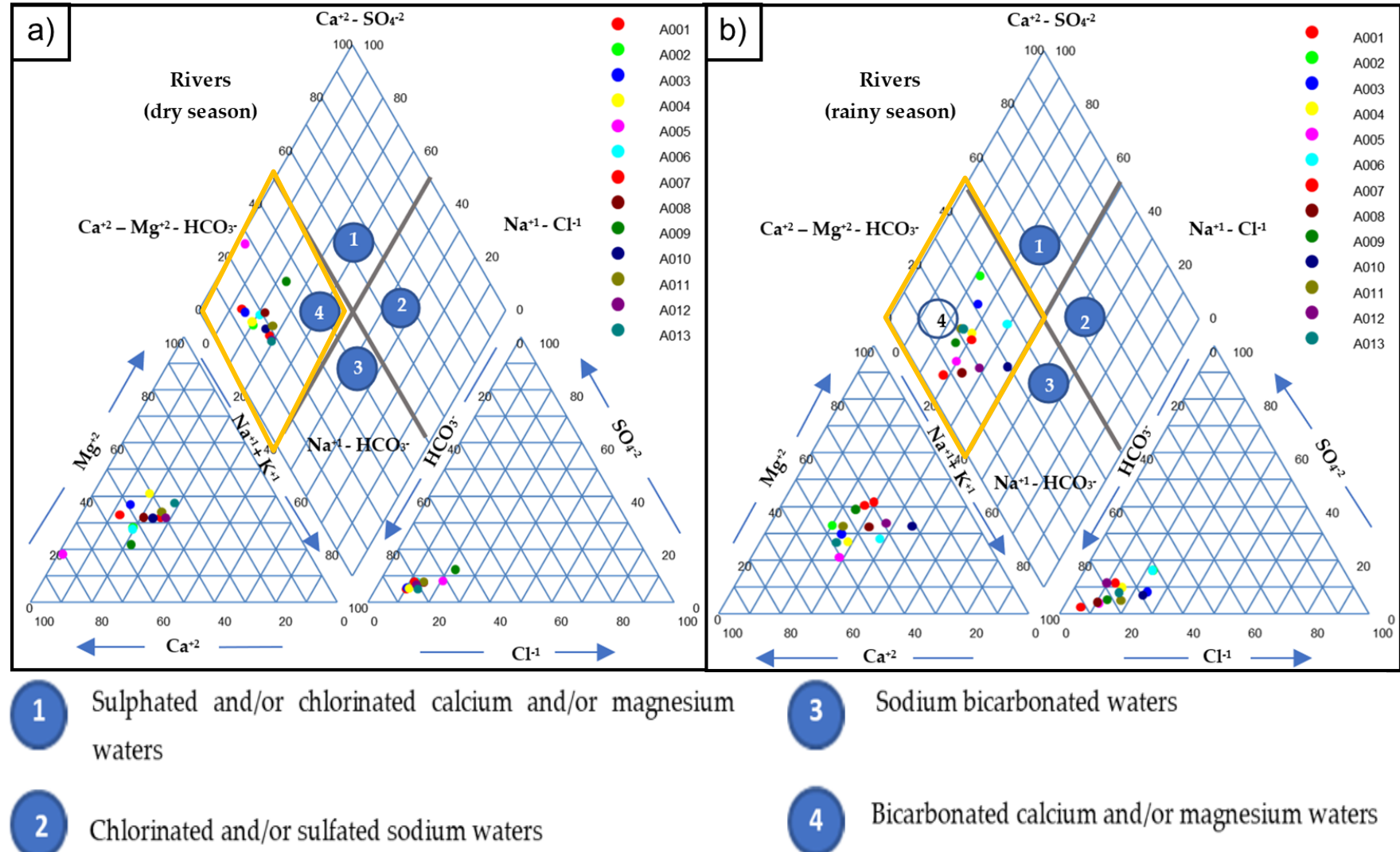
Diagrama de Piper

Cations:

Ca^{+2}
 Mg^{+2}
 Na^{+1}
 K^{+1}

Anions:

HCO_3^-
 Cl^{-1}
 SO_4^{-2}



Fase IV: Caracterización hidroquímica-isotópica

Agua subterránea

Piper diagram

Cations:

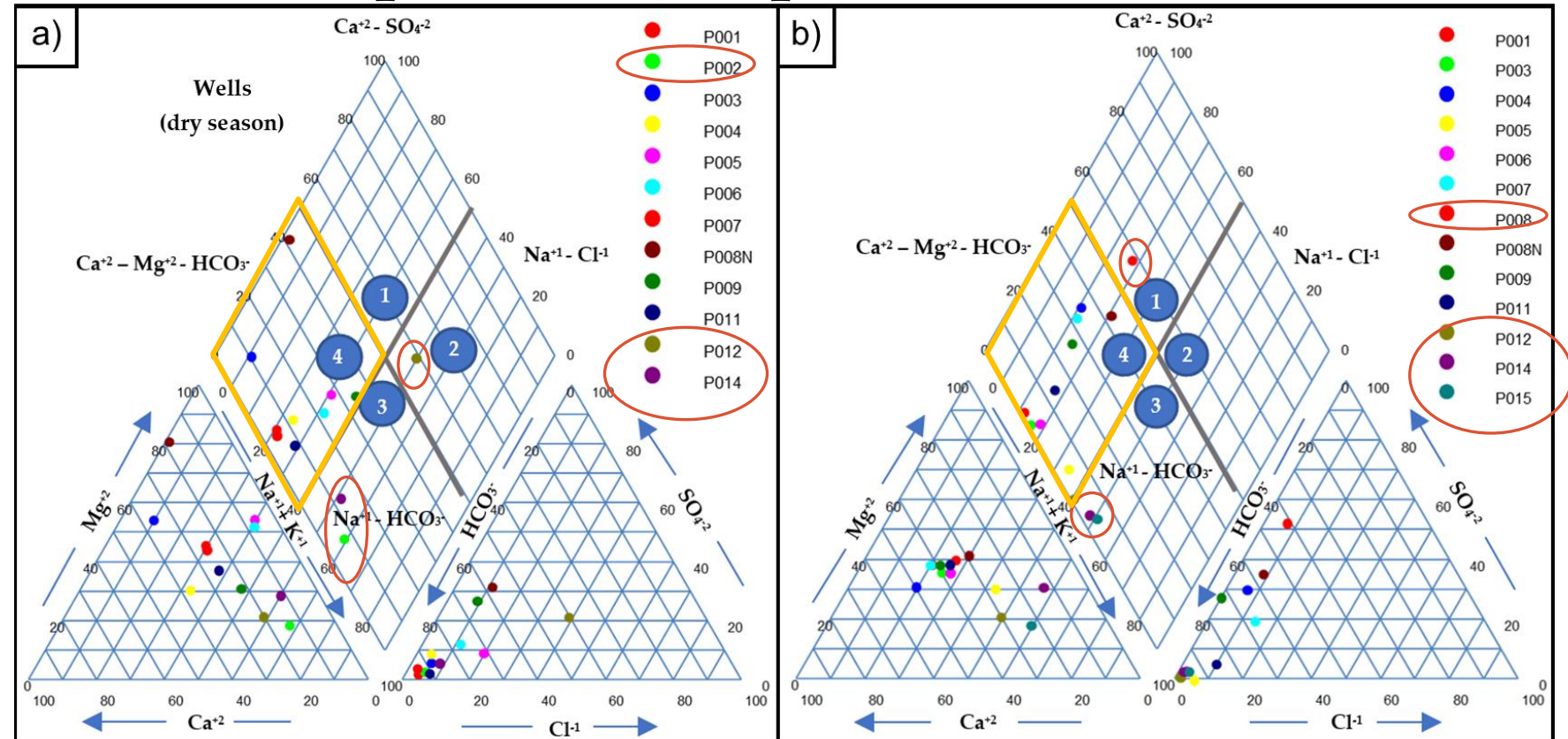
Ca^{+2}
 Mg^{+2}
 Na^{+1}
 K^{+1}

Anions:

HCO_3^-
 Cl^{-1}
 SO_4^{-2}

P002 y P014: intercambio iónico
 P012: aguas cloruradas sódicas

P002, P014 y P015: intercambio iónico
 P008: aguas sulfatadas cálcicas



1

Sulphated and/or chlorinated calcium and/or magnesium waters

2

Chlorinated and/or sulfated sodium waters

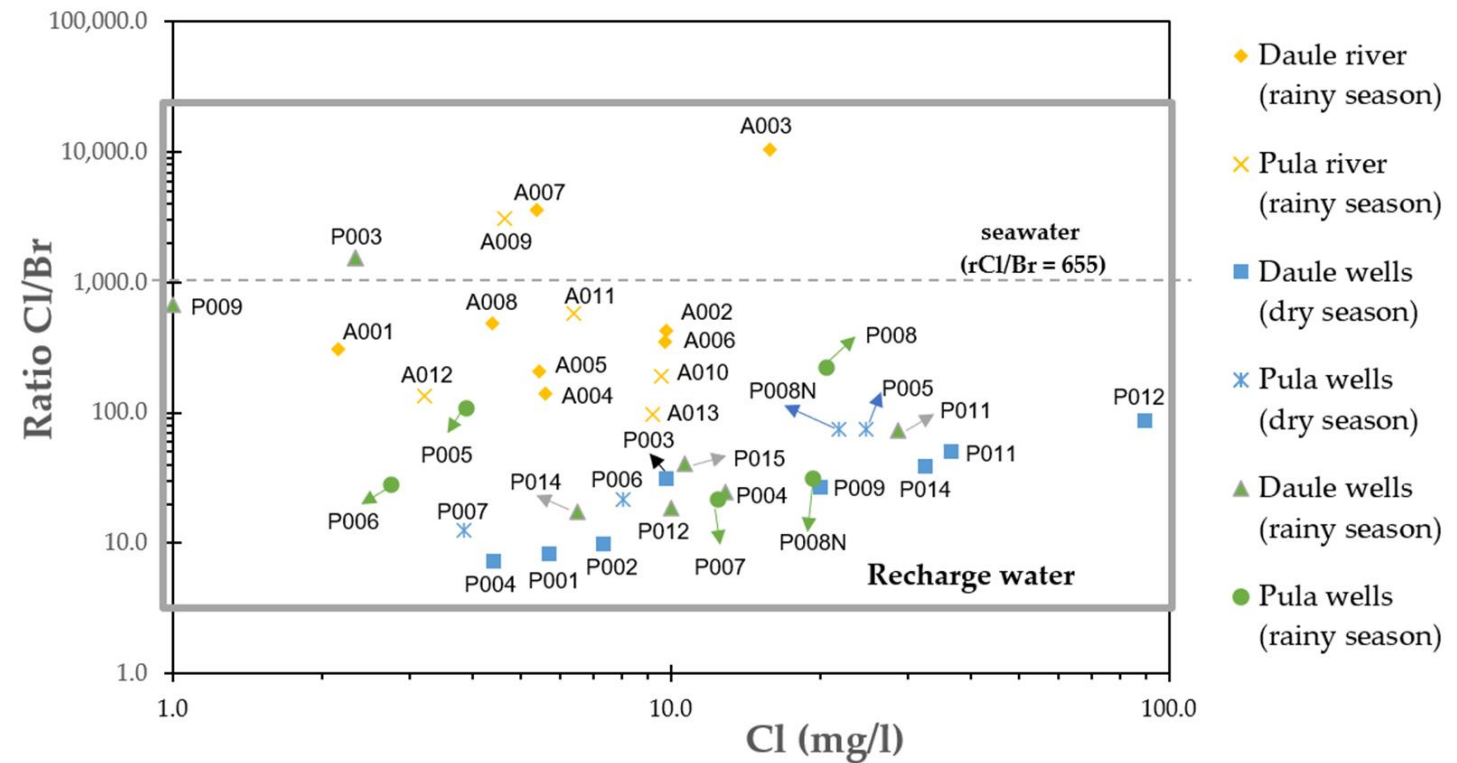
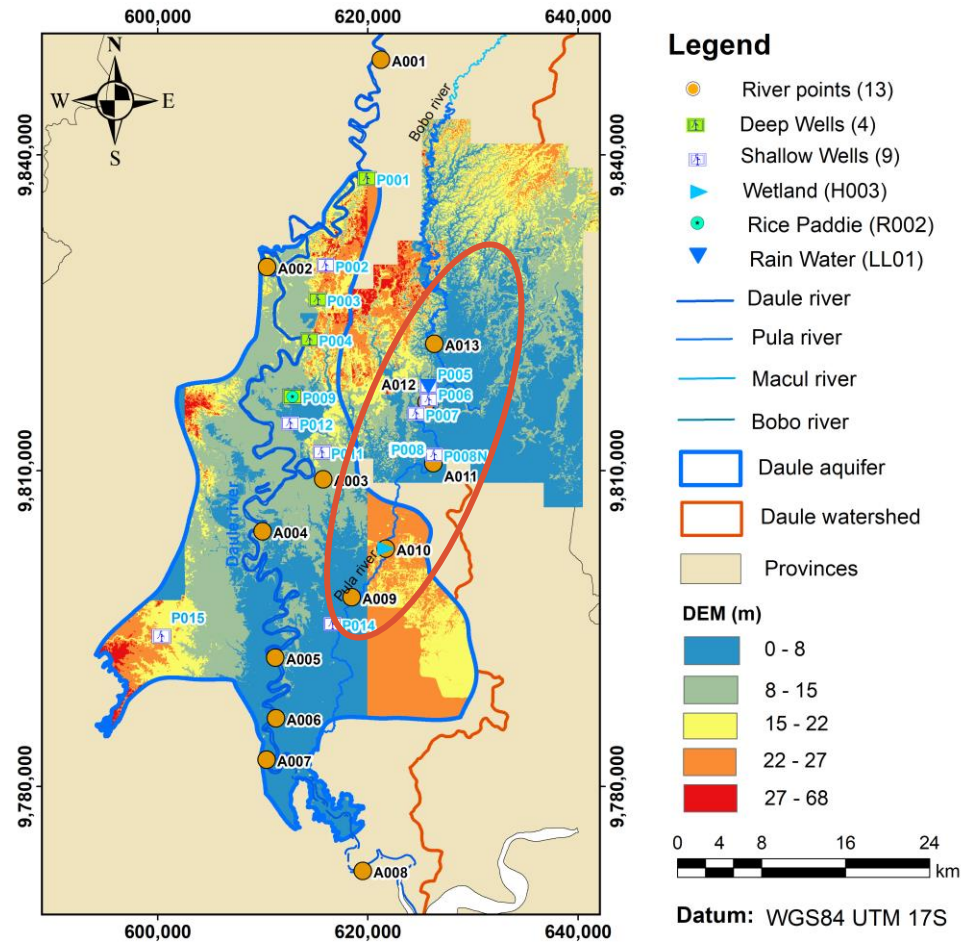
3

Sodium bicarbonated waters

4

Bicarbonated calcium and/or magnesium waters

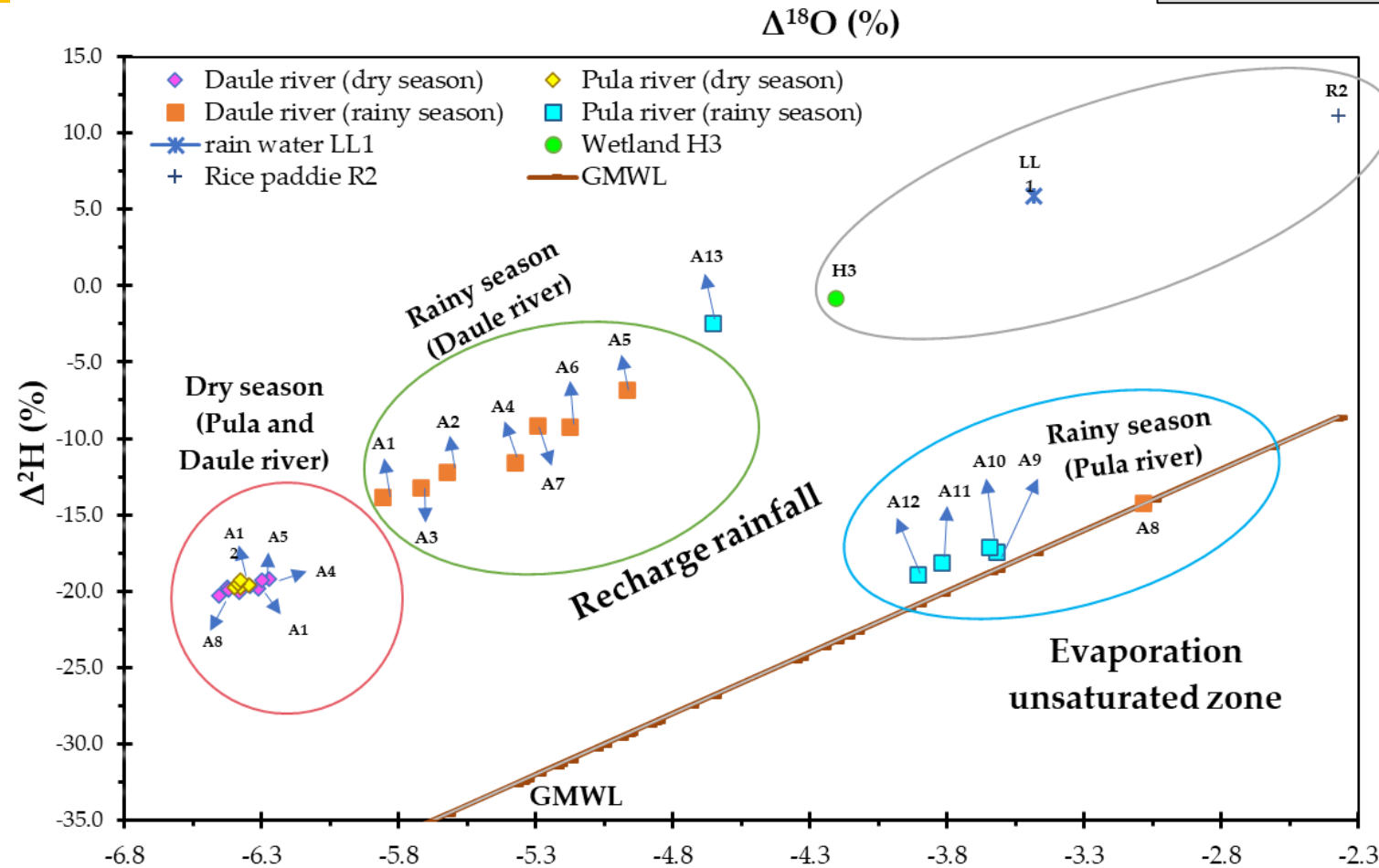
Fase IV: Caracterización hidroquímica-isotópica



Fase IV: Caracterización hidroquímica-isotópica

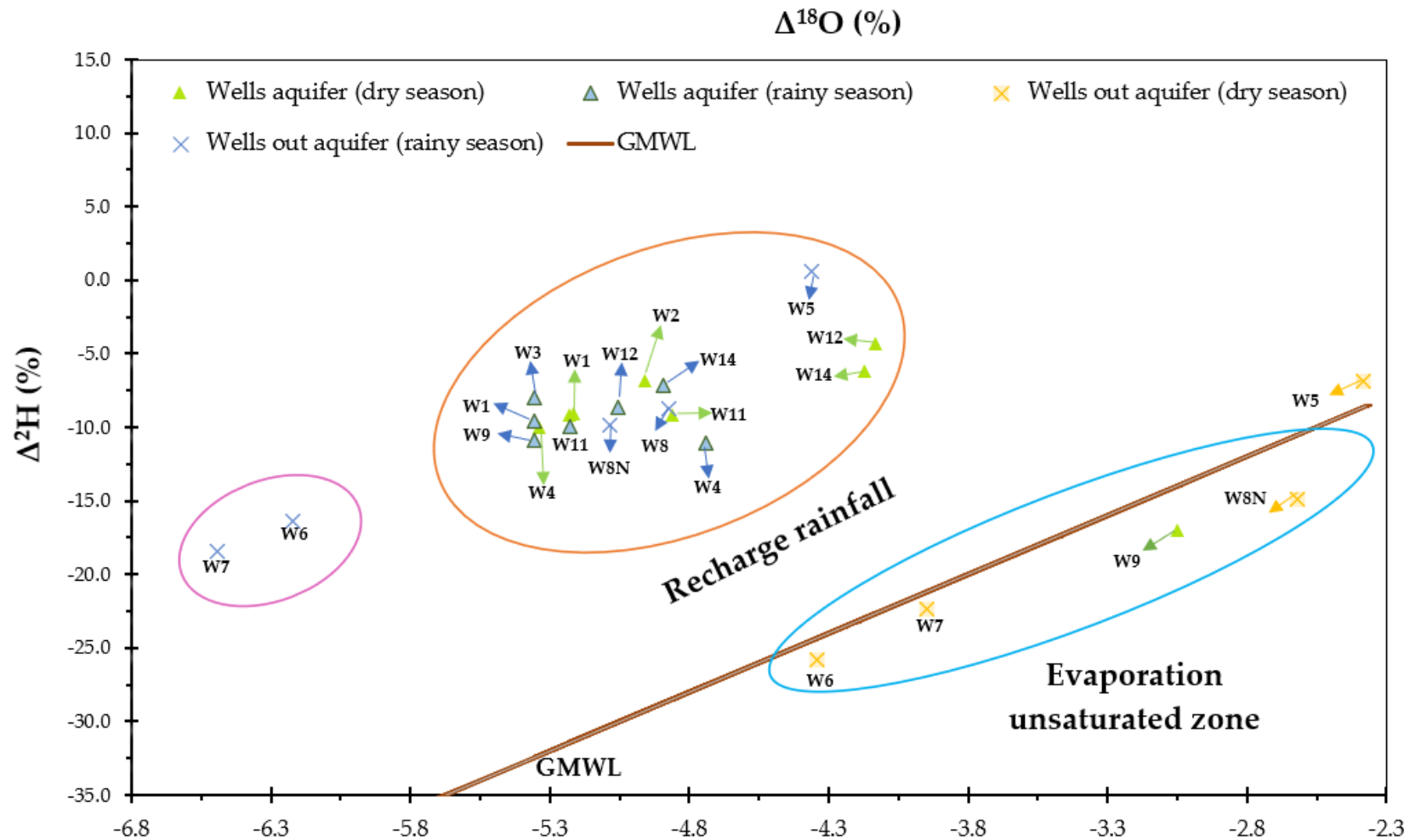
Agua superficial

Meteoric curve (δ^2H vs $\delta^{18}O$)



Fase IV: Caracterización hidroquímica-isotópica

Agua subterránea

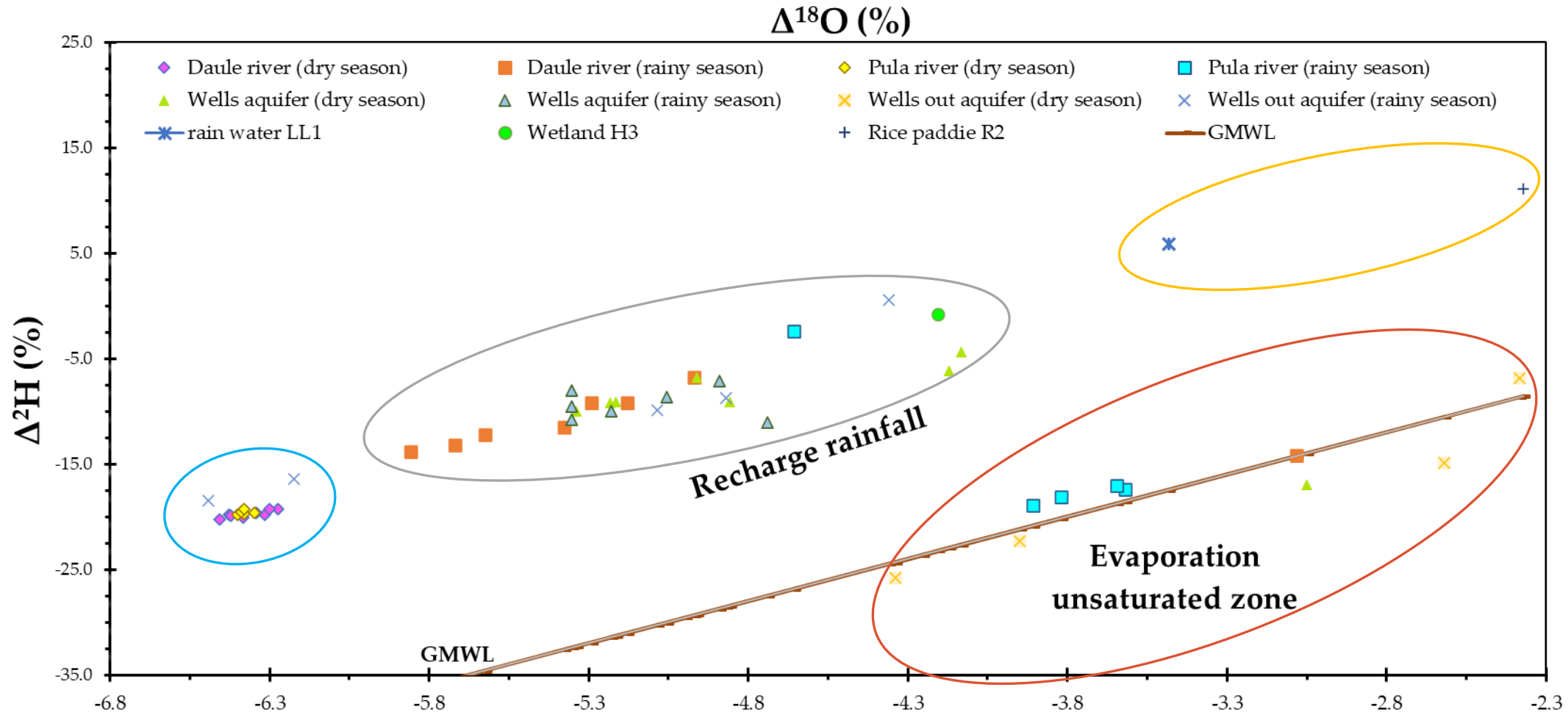


Meteoric curve (δ^2H vs $\delta^{18}O$)

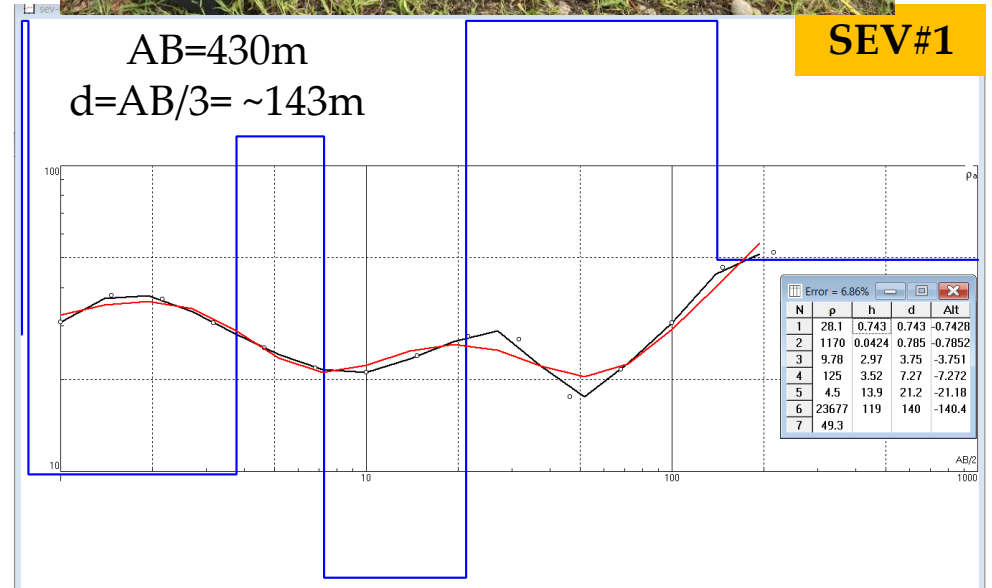
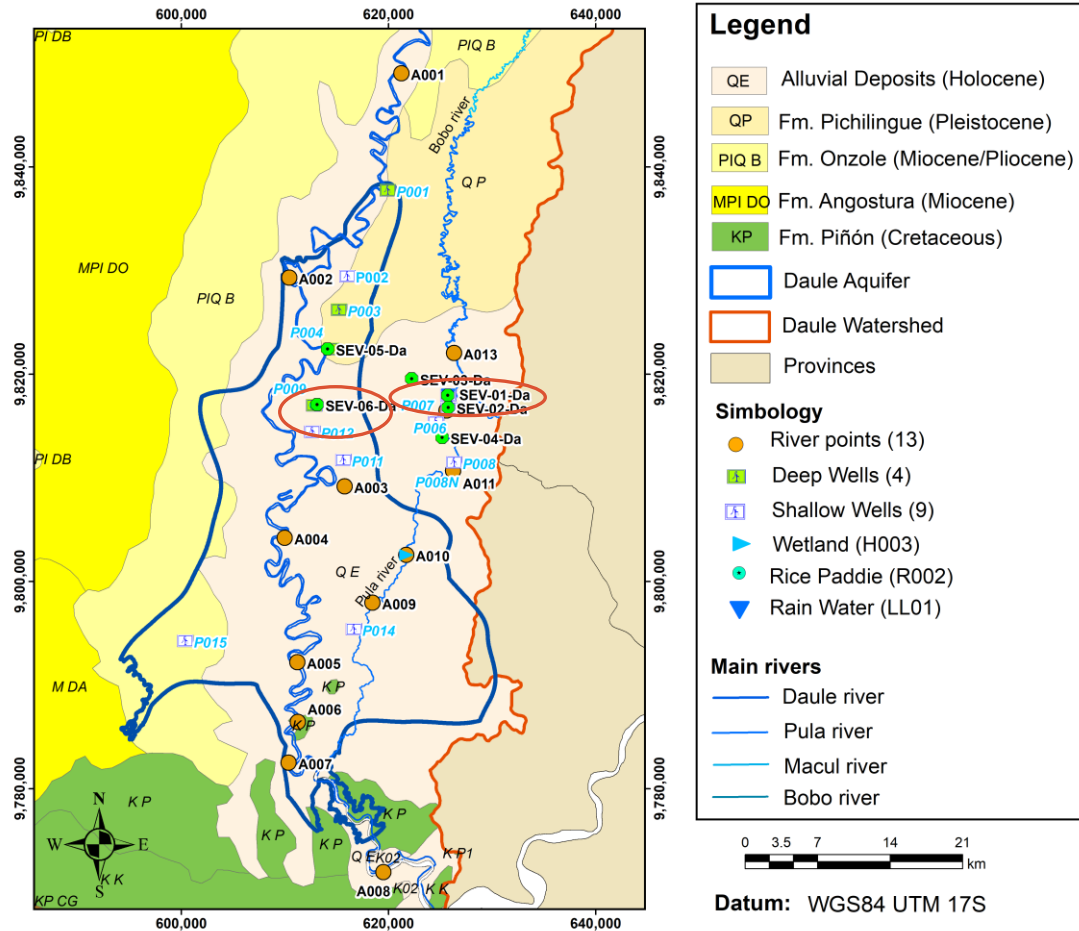
Fase IV: Caracterización hidroquímica-isotópica

Agua subterránea-subterránea

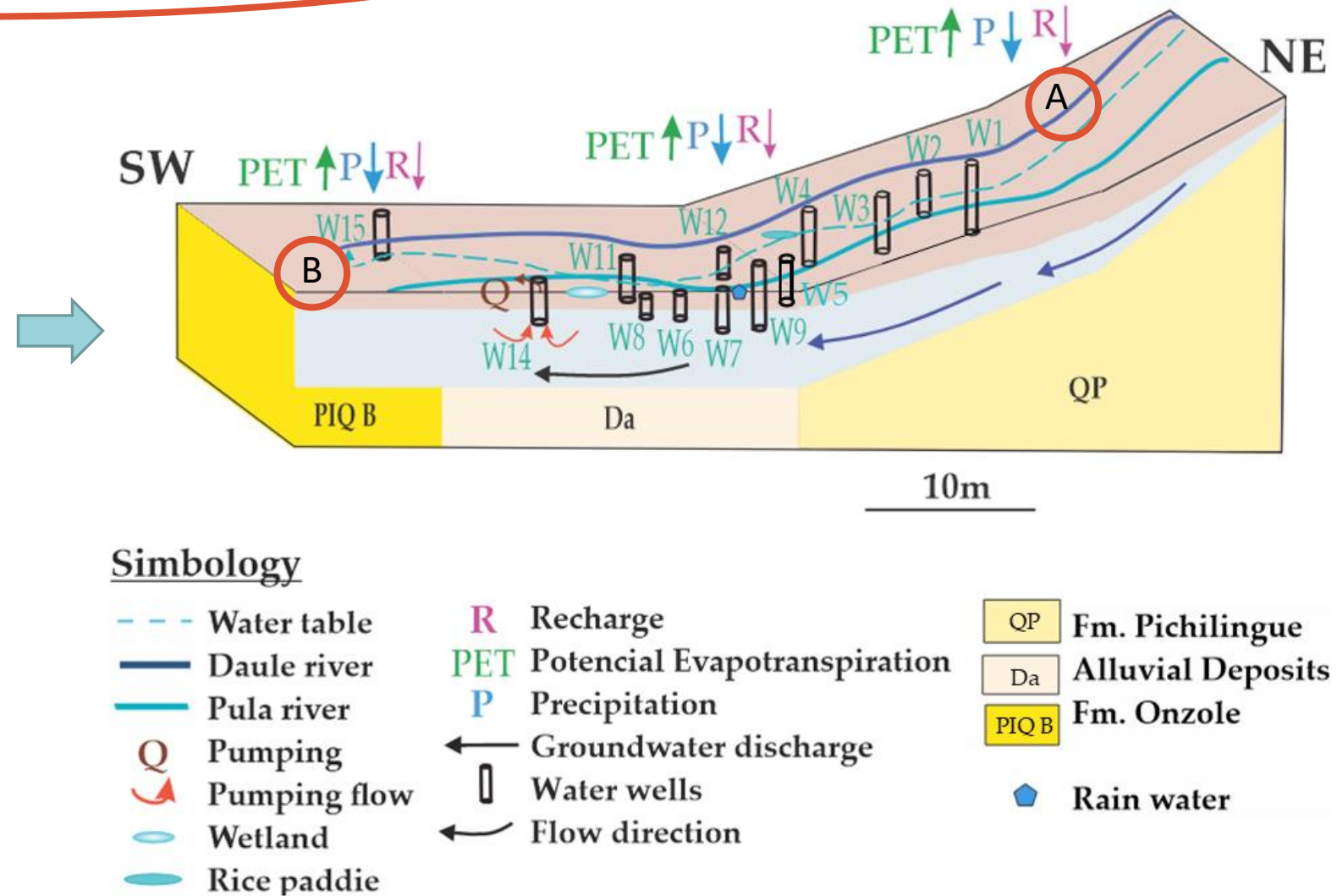
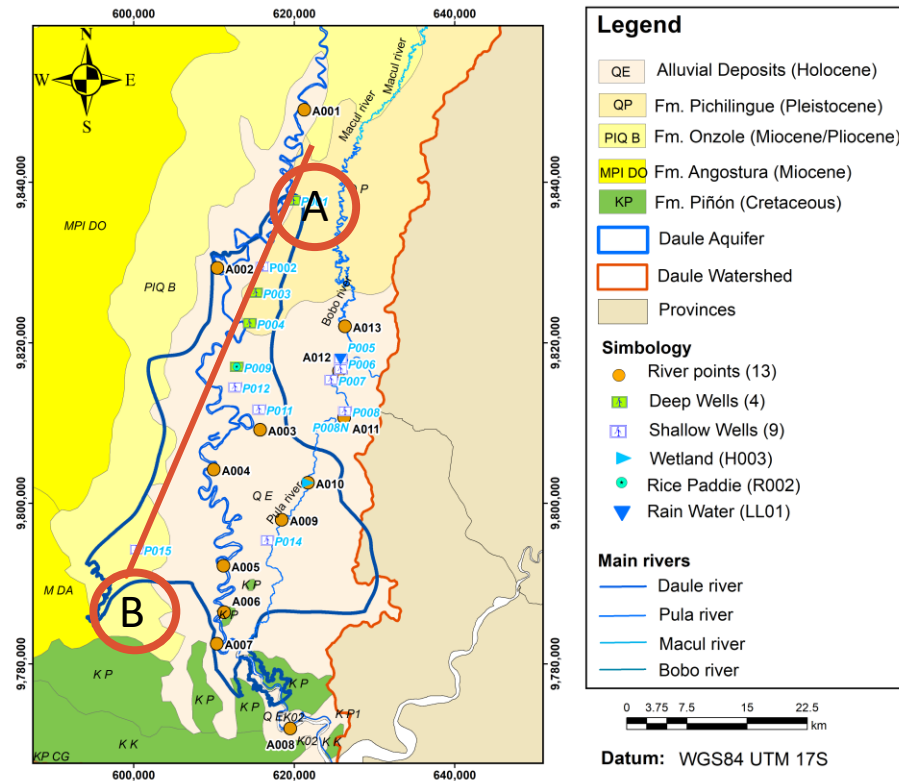
Meteoric curve (δ^2H vs $\delta^{18}O$)



Fase V: Modelo conceptual interacción río-acuífero



Fase V: Modelo conceptual interacción río-acuífero



Conclusiones

El **análisis de iones representativos** demuestra que la química del agua superficial y subterránea tiene una misma tipología (**aguas bicarbonatadas cálcicas-magnésicas**).

El uso de **isótopos estables del agua** (^{18}O y ^2H) comprobó que el agua subterránea proveniente del río Pula, ubicado fuera de la delimitación actual del acuífero del río Daule representan la **misma agua del acuífero**, que se correlaciona con la **geología y geofísica**.

El diagrama de la **relación $\text{Cl}^{-1}/\text{Br}^{-1}$** en ambas campañas (época seca y lluviosa) permitió identificar las **fuentes de recarga y mayor presencia de Cl^{-1}** en ciertas muestras debido a la geología del sector (**sedimentos marinos**). Se observó que el agua del acuífero del río Daule y su aporte del río Pula son predominantemente agua de recarga, **sin evidencia de contaminación por actividad antropogénica ni intrusión salina**.

Conclusiones

Hay **comportamiento bimodal de la subcuenca**, verificando las épocas estacionales (lluviosa y seca).

Con la aplicación de **PCA** se identificó una relación directamente proporcional entre la **CE, TDS y salinidad**, las cuales tienen una relación inversa con el **pH, DQO, turbidez y nitritos**. Se identificaron dos clusters representativos que se ajustan con su **distribución estacional (lluviosa y seca)**.

El modelo conceptual representa la **interacción río-acuífero**.



Olvidamos que el ciclo del agua y el de la vida son uno.

Jacques Cousteau.



El nuevo paradigma de este siglo es pasar del agua residual al agua reutilizable.

Fernando del Amo.

