

DOI: 10.24850/j-tyca-14-03-03

Artículos

**Características hidroquímicas y ambiente acuático de
las aguas superficiales y subterráneas poco profundas
en el norte del delta del río Amarillo, China**

**Hydro-chemical characteristics and water environment
of the surface water and shallow groundwater in the
North of Yellow River Delta, China**

Kui-Feng Wang¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5033-8531>

Ni-Na Liu², ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3310-5314>

Jiang-Bao Xia³

Xiao-Jing Chu⁴

Shu-Jian Xu⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9277-5951>

Tai-Ping Zhang⁶

Ge Hu⁷

Yang Liu⁸

Hong-Jun Zhang⁹

Yan Xu¹⁰



¹Shandong Institute of Geological Sciences, Laboratorio Clave de Proceso de Mineralización del Oro y Utilización de Recursos, Laboratorio Clave de Ciencia Costera y Gestión Integrada, Ministerio de Recursos Naturales, Laboratorio Clave de Shandong de Proceso Geológico y Utilización de Recursos en Minerales Metálicos, Centro de Innovación Colaborativa de Tecnología de Ingeniería de Shandong de Evaluación y Planificación Costera, Centro de Innovación Tecnológica para la Restauración Ecológica del Suelo de la cuenca del Río Amarillo en la Provincia de Shandong, Jinan, China / Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, Estados Unidos, maplewkf@126.com

²Laboratorio clave de Recursos Minerales e Ingeniería Geológica de China Occidental del Ministerio de Educación, Universidad de Chang'an, Xi'an, China, 495063753@qq.com

³Laboratorio clave de Shandong de Ciencias Ecoambientales para el Delta del río Amarillo, Universidad de Binzhou, Binzhou, China, xiajb@163.com

⁴Laboratorio Clave de Procesos Ambientales Costeros y Remediación Ecológica, Instituto Yantai de Investigación de Zonas Costeras, Academia de Ciencias de China, Yantai, China, xjchu@yic.ac.cn

⁵Laboratorio Clave Provincial de Shandong para la Conservación del Agua y el Suelo y la Protección del Medio Ambiente, Universidad de Linyi, Linyi, China, xushujian1967@163.com

⁶Shandong Institute of Geological Sciences, Laboratorio Clave de Proceso de Mineralización del Oro y Utilización de Recursos, Laboratorio Clave de Ciencia Costera y Gestión Integrada, Ministerio de Recursos Naturales, Laboratorio Clave de Shandong de Proceso Geológico y Utilización de Recursos en Minerales Metálicos, Centro de Innovación Colaborativa de Tecnología de Ingeniería de Shandong de Evaluación y Planificación Costera, Centro de Innovación Tecnológica para la Restauración Ecológica del Suelo de la cuenca del Río Amarillo en la Provincia de Shandong, Jinan, China, ztp_1220@163.com

⁷Shandong Institute of Geological Sciences, Laboratorio Clave de Proceso de Mineralización del Oro y Utilización de Recursos, Laboratorio Clave de Ciencia Costera y Gestión Integrada, Ministerio de Recursos Naturales, Laboratorio Clave de Shandong de Proceso Geológico y Utilización de Recursos en Minerales Metálicos, Centro de Innovación Colaborativa de Tecnología de Ingeniería de Shandong de Evaluación y Planificación Costera, Jinan, China, 4972135@qq.com

⁸Shandong Institute of Geological Sciences, Laboratorio Clave de Proceso de Mineralización del Oro y Utilización de Recursos, Laboratorio Clave de



Ciencia Costera y Gestión Integrada, Ministerio de Recursos Naturales, Laboratorio Clave de Shandong de Proceso Geológico y Utilización de Recursos en Minerales Metálicos, Centro de Innovación Colaborativa de Tecnología de Ingeniería de Shandong de Evaluación y Planificación Costera, Jinan, China, seaswelly@163.com

⁹Shandong Institute of Geological Sciences, Laboratorio Clave de Proceso de Mineralización del Oro y Utilización de Recursos, Laboratorio Clave de Ciencia Costera y Gestión Integrada, Ministerio de Recursos Naturales, Laboratorio Clave de Shandong de Proceso Geológico y Utilización de Recursos en Minerales Metálicos, Centro de Innovación Colaborativa de Tecnología de Ingeniería de Shandong de Evaluación y Planificación Costera, Jinan, China, 874379934@qq.com

¹⁰Shandong Institute of Geological Sciences, Laboratorio Clave de Proceso de Mineralización del Oro y Utilización de Recursos, Laboratorio Clave de Ciencia Costera y Gestión Integrada, Ministerio de Recursos Naturales, Laboratorio Clave de Shandong de Proceso Geológico y Utilización de Recursos en Minerales Metálicos, Centro de Innovación Colaborativa de Tecnología de Ingeniería de Shandong de Evaluación y Planificación Costera, Jinan, China, haidaxy@163.com

Autores para correspondencia: Liu Ni-Na, 495063753@qq.com; Wang Kui-Feng, maplewkf@126.com

Resumen

El presente estudio contempló el seguimiento dinámico y el estudio de la hidroquímica del agua superficial y del agua subterránea poco profunda en la parte norte del delta del río Amarillo, China. El análisis del agua superficial y el agua subterránea poco profunda reveló que el agua subterránea poco profunda se exhibía en dos formas: tipo de evaporación por precipitación y tipo hidrológico, y este último fue obviamente afectado por el nivel dinámico del agua del río Amarillo. El agua superficial y el agua subterránea poco profunda exhibieron un mayor grado de mineralización. Los cationes de Mg^{2+} , Na^+ y K^+ y los aniones de Cl^- y SO_4^{2-} fueron los principales componentes iónicos del total de sólidos disueltos. El tipo hidroquímico de agua subterránea poco profunda era $Cl-Na \cdot K$ que era una forma típica de agua de mar o salmuera. El tipo químico del agua del agua superficial cambió a $Cl \cdot SO_4-Na \cdot K \cdot Ca$ debido a la contaminación industrial, agrícola y urbana. La calidad general del agua superficial era mala y se encontró que estaban presentes los principales índices de contaminación, excepto el cianuro. Los niveles de DQO y flúor excedieron los valores estándar en el agua superficial. La calidad del agua

subterránea fue mala, pues se detectaron la mayoría de los contaminantes, excepto cianuro y fenol volátil. Ocho índices excedieron los niveles estándar de calidad del agua subterránea, incluidos Cl^- , Na^+ , dureza total, DQO, NH_4^+ , Hg, As, NO_3^- , Cl^- y Na^+ . La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas fue causada principalmente por la descarga de aguas residuales de la industria petrolera, química y de salmuera; contaminación de fuentes agrícolas difusas; fugas de fosas sépticas y tuberías de alcantarillado en áreas urbanas y rurales; y agua de lluvia que se mezcla con la lixiviación de las pilas de basura. Para mejorar la calidad del agua es necesario optimar el control y la gestión de las aguas residuales, y reconsiderar el diseño industrial.

Palabras clave: agua superficial, agua subterránea poco profunda, tipo dinámico de agua subterránea, características hidroquímicas, contaminación del agua.

Abstract

The present study envisaged the dynamic monitoring and study of the hydrochemistry of the surface water and shallow groundwater in the northern part of the Yellow River Delta, China. Analysis of the surface water and shallow groundwater revealed that the shallow groundwater exhibited in two forms: precipitation evaporation type and hydrological



type, and the latter was obviously affected by the dynamic water level of the Yellow River. The surface water and shallow groundwater exhibited a higher degree of mineralization. Cations of Mg^{2+} , Na^+ and K^+ and anions of Cl^- and SO_4^{2-} were the main ion components of the total dissolved solids. The hydro-chemical type of shallow groundwater was $Cl-Na \cdot K$ that was a typical seawater or brine form. The water chemical type of surface water changed to $Cl \cdot SO_4-Na \cdot K \cdot Ca$ due to the industrial, agricultural and urban pollution. The overall quality of surface water was poor, and the main pollution indexes were found to be present, except for cyanide. The levels of COD and fluorine exceeded the standard values in the surface water. The groundwater quality was poor, since most of the pollutants were detected, except for cyanide and volatile phenol. Eight indexes exceeded the groundwater quality standard levels including Cl^- , Na^+ , total hardness, COD, NH_4^+ , Hg, As, NO_3^- , Cl^- and Na^+ . The pollution of the surface water and shallow groundwater was mainly caused by the discharge of the wastewater from the petroleum; chemical industry and brine enterprises; agricultural non-point source pollution; leakage of septic tanks and sewage pipes in urban and rural areas, and rainwater leaching from the garbage piles. In order to improve the water quality, the sewage control and management needs be optimised, and the industrial layout should be reconsidered.

Keywords: Surface water, shallow groundwater, dynamic type of groundwater, hydro-chemical characteristics, water pollution.

Recibido: 20/07/2020

Aceptado: 24/11/2021

Introducción

Las características hidroquímicas del agua son indicativas del clima y el medio ambiente de la zona por donde fluye el río. Es un factor importante que determina el uso del agua para fines domésticos, de riego o industriales, y juega un papel vital en la gestión sostenible del aprovechamiento de los recursos hídricos, y en la protección y construcción del entorno ecológico (Zhang, Ma, Abuduwaili, Ge, & Saparov, 2019).

La composición química del agua se puede utilizar para evaluar la calidad del agua y evaluar su potencial para diferentes usos (Ren, Li, He, Su, & Elumalai, 2021; Zhan, Wu, & Jin, 2021). Los recursos hídricos subterráneos representan más del 50 % de la demanda mundial de agua potable, y son esenciales para la vida diaria, la producción industrial y agrícola, y el mantenimiento del equilibrio ecológico (Amiri, Bhattacharya, & Nakhaei, 2021a; Amiri, Kamrani, Ahmad, Bhattacharya, & Mansoori, 2021b). Sin embargo, la contaminación de las aguas subterráneas causada por la descarga de la industria (aguas residuales, gases residuales y desechos sólidos); la agricultura (aplicación excesiva de fertilizantes y residuos de fumigación de pesticidas), y la descarga de aguas residuales locales afecta la salud humana y reduce la producción de alimentos agrícolas (Zhang *et al.*, 2019). La composición química del agua subterránea se ve afectada principalmente por factores naturales (meteorología, agua superficial, suelo vegetal, litología estratigráfica) y antrópicos (extracción mixta de agua subterránea, descarga de contaminantes, recarga artificial), y es producto de interacciones a largo plazo con el medio ambiente circundante (atmósfera, agua superficial, rocas) en proceso de circulación (Iqbal *et al.*, 2019). La calidad del agua subterránea está influenciada conjuntamente por la acción del agua y las rocas, las actividades humanas y la atmósfera, que proporcionan una

base para evaluar la calidad del agua, y formular científicamente planes razonables de aprovechamiento y aprovechamiento del agua subterránea (Liu *et al.*, 2015).

La parte norte del delta del río Amarillo se encuentra en la orilla sur del mar de Bohai y el lado norte del estuario del río Amarillo (He *et al.*, 2017). El tipo geomórfico pertenece al área típica de llanura aluvial del delta del estuario, que se encuentra entre los $37^{\circ} 45' \sim 38^{\circ} 10'$ de latitud norte y los $118^{\circ} 07' \sim 119^{\circ} 05'$ de longitud este (Figura 1).

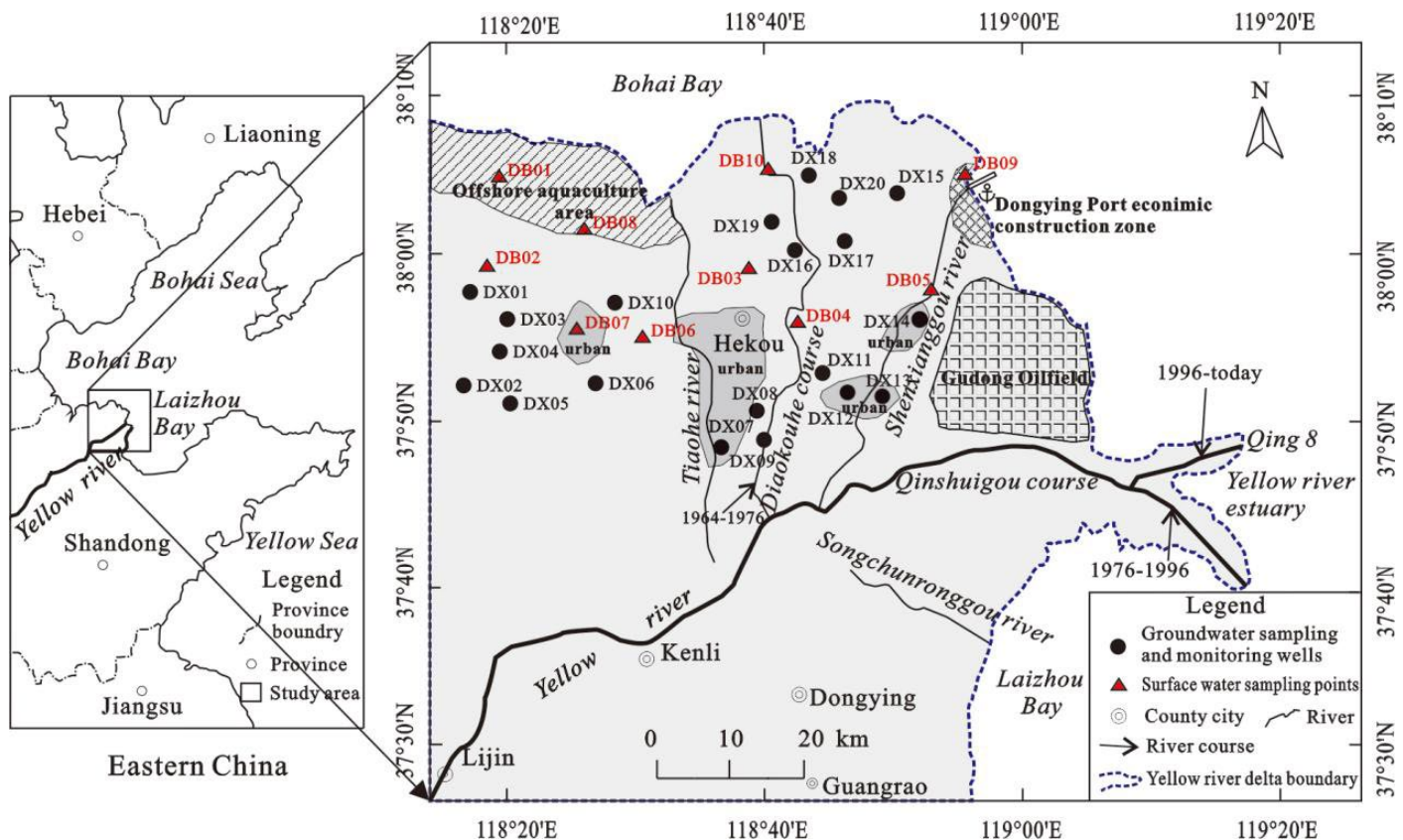


Figura 1. Distribución espacial de los sitios de muestreo y monitoreo de agua.

El delta del río Amarillo, una zona de transición típica del océano, es uno de los cinturones económicos más importantes de China. El agua superficial y el agua subterránea poco profunda son las fuentes dominantes para el desarrollo económico en esta área, y hay una demanda creciente del líquido en el rápido desarrollo económico. Sin embargo, las aguas superficiales y subterráneas poco profundas se ven seriamente afectadas por la intensificación de las condiciones naturales, industria, agricultura y actividades humanas. El agua superficial y el agua subterránea poco profunda se caracterizan por un alto grado de mineralización debido al océano adyacente y la intrusión de agua de mar. Los niveles de sólidos disueltos totales (TDS) de 0.8-20.0 g/l (la media, 8.4 g/l) para agua superficial y de 0.51-63.91 g/l para agua subterránea (Liu, Li, Li, Luo, & Huang, 2016); Ec de 1 010-33 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Liu *et al.*, 2014), y TDS de 0.8-32.89 g/l (la media, 12.73 g/l) (Cao, Xu, Yu, & Huang, 2014) están documentados. Además, la salinización del suelo también contribuye a la alta mineralización del agua subterránea. Al mismo tiempo, esta área es la ubicación principal del campo petrolífero de Shengli y la industria de la sal, por lo que algunas industrias relacionadas con la

petroquímica y la ingeniería de la sal florecen en esta región. La descarga de las empresas petroleras y químicas de desembarco entra en el agua. Además de las aguas residuales urbanas, se informa que los residuos sólidos urbanos, y la aplicación a gran escala de pesticidas y fertilizantes afectan la calidad del agua (Li, Xia, Zhao, & Chen, 2019; Wang, 2018; Wang, 2019; Wohlfart, Kuenzer, Chen & Liu, 2016; Zhao *et al.*, 2018). Por tanto, el proceso y mecanismo que rige las características y calidad del agua es complejo en dicha área, y el estudio de las características hidroquímicas y de la calidad del agua es fundamental para el desarrollo sostenible. Sin embargo, la investigación relacionada en este campo es muy limitada. Sobre la base de las situaciones mencionadas anteriormente, en el presente estudio el agua superficial y el agua subterránea poco profunda se recolectaron sintéticamente en tal área. Se discuten las características de las aguas superficiales y subterráneas, y se espera que nuestros resultados proporcionen el uso científico del agua, la protección ecoambiental y el desarrollo sostenible.

Materiales y métodos



Área de estudio

El delta del río Amarillo se encuentra en la parte noroeste de la provincia de Shandong. El delta está compuesto por el aluvial formado por el sedimento en la depresión de Bohai. Los sedimentos cuaternarios no consolidados están ampliamente distribuidos, con un espesor de más de 400 metros. El sedimento se origina sobre todo en el limo transportado por el río Amarillo y la roca erosionada (Wang & Qin, 2020). Además, hay tres acuíferos desarrollados de arriba a abajo en esa área, es decir, los acuíferos no confinados y semiconfinados (el primer acuífero); el acuífero poroso medio confinado (el segundo acuífero), y los acuíferos de fisuras porosas confinadas profundas (el tercer acuífero). El primer acuífero está compuesto por arena fina, limo y limo arcilloso del Holoceno y Pleistoceno tardío. Los acuíferos semiconfinados del Pleistoceno inferior están conectados con el acuífero no confinado del Holoceno, y pertenece a un único acuífero poco profundo. Las principales vías de recarga del agua

subterránea son la precipitación atmosférica y la infiltración fluvial; la vía de descarga es la evaporación.

El área experimenta tres transgresiones y se forma paleo-agua de mar (agua salada). El agua salada fluye a través de la antigua capa de arena aluvial y se entromete en los acuíferos costeros, provocando así la intrusión del agua de mar y la salinización del suelo.

Muestreo y análisis

Se recogieron muestras de agua superficial en los principales canales de los ríos (antiguo canal del río Amarillo, río Maxin, río Zhanli, Tiaohe, etc.) en el norte del delta del río Amarillo y cerca del estuario (Figura 1 y Figura 8). En total, 10 estaciones participaron en el estudio. Para este estudio se dispusieron 20 pozos de monitoreo de agua subterránea; los pozos tienen una profundidad aproximada de 10 m (Figura 1). Los niveles de agua subterránea se midieron con un reloj de medición tres veces al mes, con un periodo de seguimiento de un año. Se tomaron muestras del agua

subterránea poco profunda de estos pozos de monitoreo de marzo a mayo de 2017.

El agua de la superficie se tomó con un fondo de plástico. El agua subterránea se bombeó al barril de recolección (Figura 2 y Figura 3) y se llenó en una botella de plástico de 1 000 ml. La botella se lavó tres veces con agua local antes del muestreo. Se tomaron muestras de fenoles volátiles y cianógenos en botellas de vidrio marrón de 1 000 ml por separado y se añadió NaOH para hacer un $\text{pH} > 12$. Se tomaron muestras de las muestras de petróleo en botellas de vidrio marrón de 1 000 ml por separado y se añadió HCl para hacer un $\text{pH} < 2$. Las muestras se enviaron al laboratorio lo antes posible y se analizaron en dos semanas.



Figura 2. Muestreo de agua subterránea.



Figura 3. Muestreo de agua superficial.

El pH se analizó con un medidor de pH PH-3C. La DQO se determinó empleando 0.01 mol/l de KMnO_4 en solución ácida. El TDS se determinó por método gravimétrico después de secar la muestra de agua a 105 °C. Se utilizó espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente ICAP7400 para el análisis de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . El NH_4^+ se midió con un espectrofotómetro U-3310, a una longitud de onda de 450 nm, haciendo reaccionar con yoduro de potasio y mercurio en un medio alcalino. El Cl^- se determinó por el método de titulación utilizando

0.05 mol/l de AgNO_3 con cromato de potasio como indicador. F^- se midió mediante un electrodo selectivo de fluoruro. El SO_4^{2-} se determinó mediante titulación con EDTA de 0.01 mol/l, con indicador b de azul ácido de cromo k-naftol verde. Br^- , después de la reacción con cloramina T y rojo fenol, se midió con un espectrofotómetro U-3310, con una longitud de onda de medición de 590 nm. I^- , después de la reacción con agua de bromo, yoduro de potasio y almidón en medio de ácido fosfórico, se midió con un espectrofotómetro U-3310, con una longitud de onda de medición de 570 nm. El HCO_3^- se determinó mediante titulación de HCl 0.01 mol/l, con indicadores de fenolftaleína y heliantina B. El NO_3^- , después de la reacción con sulfamato de amonio en medio de ácido clorhídrico, se midió mediante un espectrofotómetro U-3310, con una longitud de onda de medición de 220 nm. Se usó espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente ICAP RQ para el análisis de Cu, Pb, Zn, Mn, Cd, As, Se. El cianuro, después de la reacción con cloramina T, piridina y pirazolinona, se midió mediante un espectrofotómetro U-3310, con una longitud de onda de medición de 613 nm. El petróleo se midió con un espectrofotómetro U-3310 a una longitud de onda de 256 nm después de una extracción con éter de petróleo. El cromo hexavalente, después de la reacción con difenilcarbazida en una solución ligeramente ácida, se midió mediante un espectrofotómetro U-3310, con una longitud de onda de

medición de 540 nm. El fenol volátil se midió con un espectrofotómetro U-3310 a una longitud de onda de 460 nm después de una extracción previa con cloroformo.

Para el control de calidad también se analizaron las muestras en blanco, paralelas y estándar. La tolerancia del análisis fue inferior al 5 %.

Método analítico

Se utilizó el *software* SPSS17.0 para analizar la correlación de las propiedades geoquímicas. Se utilizó el *software* de gráficos GW para hacer un diagrama de tres líneas de Piper para analizar el tipo de iones de agua.

De acuerdo con el estándar de calidad ambiental para aguas superficiales (GB3838-2002), la calidad del agua superficial en China se clasifica en cinco categorías: I, II, III, IV y V. I representa una buena calidad del agua y V representa una mala calidad del agua. Como el área estuarina estaba ubicada en el área del delta costa afuera, la calidad general del agua superficial en el área de estudio fue relativamente pobre de acuerdo con el valor de fondo del estándar de clase V (Tabla 1). La calidad del medio

ambiente del agua del área cercana al mar se evaluó con base en los estándares de calidad del agua de mar GB3097-1997 y el valor de fondo del estándar de clase IV (Tabla 2). La calidad del agua superficial se evaluó mediante el método de evaluación de factor único, que utilizó los datos medidos y la clasificación de comparación estándar, y seleccionó la peor categoría de calidad del agua como resultado de la evaluación. Por lo tanto, los indicadores de detección de agua superficial se compararon a partir del valor de fondo del estándar de clase V del estándar de calidad ambiental GB3838-2002 y GB3097-1997 para agua superficial, para ver si excedían los estándares. Los índices utilizados incluyeron petróleo, fenol volátil, nitrógeno amoniacal (NH_4^+), flúor (F^-), demanda química de oxígeno (DQO), selenio (Se), zinc (Zn), cobre (Cu), arsénico (As), mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo hexavalente (Cr^{6+}) y cianuro (CN). De acuerdo con el estándar de calidad del agua subterránea (GB/T14848-2017), se utilizó el método de evaluación de factor único para evaluar la calidad del agua subterránea. Debido al alto contenido de sal y la alta salinidad de todo el agua subterránea en el área de estudio, el valor de fondo se basó en la clase V (Tabla 3) para evaluar. Los ítems de evaluación incluyeron cloruro, cianuro, fenol volátil, nitrógeno amoniacal, hierro (Fe), cloruro, sulfato, fluoruro, yoduro, nitrato, nitrito, dureza total, sólidos disueltos totales (TDS), valor de pH, bario (Ba),

selenio (Se), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), cobalto (Co), níquel (Ni), molibdeno (Mo), arsénico (As), mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo hexavalente (Cr^{6+}).

Tabla 1. Valores estándar de los índices de calidad de las aguas superficiales, marinas y subterráneas.

Calidad del agua superficial, valor estándar V (mg/l) (GB3838-2002-clase V)														
pH	COD	Cu	Zn	Se	As	Hg	Cd	Cr (Cr^{6+})	Pb	Petróleo	Volátil	Petróleo	F ⁻	NH ₄
6~9	≤40	≤1.0	≤2.0	≤0.02	≤0.1	≤0.001	≤0.01	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.1	≤1.0	≤1.5	≤2.0
Estándar de calidad del agua de mar IV (mg/l) (GB3097-1997-clase IV)														
pH	COD	Cu	Zn	Se	As	Hg	Cd	Cr (Cr^{6+})	Pb	Petróleo	Volátil	Petróleo	Ni	
6.8~8.8	≤5	≤0.050	≤0.50	≤0.050	≤0.050	≤0.0005	≤0.010	≤0.050	≤0.050	≤0.20	≤0.050	≤0.50	≤0.050	
Calidad del agua subterránea, valor V estándar (mg/l) (GB/T14848-2017-claseV)														
pH	Dureza total	Cl ⁻	TFe	Mn	Cu	Zn	Al	Volátil	COD	NH ₄	Na	Cianuro	Hg	As
<5.5 or >9.0	>650	>350	>2.0	>1.50	>1.50	>5.00	>0.50	>0.01	>10.0	>1.50	>400	>0.1	>0.002	>0.05
Se	Cd	Cr (Cr^{6+})	Pb	Be	Ba	Ni	Co	Mo	NO ₃ ⁻					
>0.1	>0.01	>0.10	>0.10	>0.06	>4.00	>0.10	>0.10	>0.15	>30.0					

Tabla 2. Análisis de muestras de agua superficial.

Número	Grado de calidad	pH	COD	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Se (μg/l)	As (μg/l)	Hg (μg/l)	Cd (μg/l)	Cr(Cr^{6+}) (μg/l)	Pb (μg/l)	Cianuro (mg/L)	Fenol volatilizado (mg/L)	Petróleo (mg/L)	F ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Ni (mg/l)
DBY01	IV	8.02	2.18	<0.05	<0.002	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	0.036	0.05	0.99	<0.04	<0.005
DBY02	V	7.76	8.38	<0.05	<0.002	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	0.0362	0.06	0.63	0.08	<0.005

DBY03	IV	6.95	12.52	<0.05	<0.002	0.24	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	/	0.01	1.11	0.04	<0.005
DBY04	IV	8.07	4.00	<0.05	<0.002	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	0.008	/	0.68	<0.04	<0.005
DBY05	Inferior V	8.05	8.05	<0.05	<0.0005	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	/	0.04	1.92	0.30	<0.005
DBY06	IV	7.83	4.46	<0.05	<0.002	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	/	0.03	0.63	<0.04	<0.005
DBY07	V	7.66	13.39	<0.05	<0.002	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	/	/	0.53	1.90	<0.005
DBY08	Inferior IV	7.12	6.86	<0.05	<0.002	0.1623	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	0.0045	/	19.35	<0.04	<0.005
DBY09	IV	7.90	1.31	<0.05	<0.0005	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	/	/	1.02	<0.04	<0.005
DBY10	IV	8.04	22.42	<0.05	<0.0005	<0.05	<10	<0.25	<1	<10	<10	/	/	/	1.10	0.28	<0.005
Número		K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	TFe (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	I ⁻ (mg/l)	Br ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Ba (mg/l)
DBY01		346.50	10490.00	435.80	1337.00	<0.04	<0.04	19040.22	2670.38	155.96	9.59	0.12	56	15.55	0.44	<0.04	0.0566
DBY02		34.68	2256.00	190.20	364.40	<0.04	<0.04	4109.40	562.43	266.43	/	0.12	9.5	5.45	1.5	0.24	0.0939
DBY03		413.30	11920.00	579.20	1708.00	<0.04	<0.04	22190.76	3308.43	149.46	/	0.12	44.00	14.94	0.1	0.22	0.185
DBY04		6.61	513.10	107.10	102.00	<0.04	<0.04	938.31	330.84	188.45	/	<0.05	6.00	1.04	0.036	<0.04	0.2444
DBY05		383.20	12190.00	566.20	1719.00	<0.04	<0.04	21745.58	2629.02	103.97	44.74	0.1	45.00	18.43	<0.002	0.65	0.21
DBY06		18.24	1330.00	149.80	221.50	<0.04	<0.04	2362.91	425.37	259.93	3.20	0.06	8.00	15.17	0.50	<0.04	0.139
DBY07		107.30	5786.00	240.00	871.80	<0.04	<0.04	10889.91	1323.37	321.67	/	0.25	36.00	12.51	<0.002	0.32	0.1699
DBY08		404.00	11070.00	501.40	1451.00	<0.04	<0.04	19862.10	2883.06	136.46	/	0.15	64.0	16.61	0.20	0.22	0.1298
DBY09		376.40	10510.00	409.00	1142.00	0.057	<0.04	17567.68	2380.89	159.21	3.19	<0.05	47.5	18.28	0.18	<0.04	0.06
DBY10		120.20	4275.00	296.10	560.00	0.05	<0.04	7396.92	1157.95	120.22	12.78	<0.05	35.00	11.53	<0.002	<0.04	0.24
Número		Li (mg/l)	Sr (mg/l)	Mn (mg/l)	Co (mg/l)	Mo (mg/l)	Be (mg/l)	Sb (μg/l)	Dureza total (mg/l)	Dureza permanente (mg/l)	Dureza temporal (mg/l)	Alcalinidad total (mg/l)	H ₂ SiO ₃ (mg/l)	Free CO ₂ (mg/l)	HBO ₂ (mg/l)	TDS (mg/l)	Salinidad (mg/l)
DBY01		0.1709	7.27	<0.01	<0.05	0.0059	<0.005	<0.5	6594.05	6450.14	143.91	143.91	1.402	/	15.31	34481.53	34559.51
DBY02		0.0519	3.53	0.094	<0.005	0.0097	<0.005	<0.5	1975.58	1757.06	218.51	218.51	0.8729	4.74	2.739	7693.40	7801.61
DBY03		0.2424	9.44	1.014	<0.005	0.0076	<0.005	<0.5	8479.93	8357.35	122.58	122.58	2.494	9.47	18.82	40256.75	40331.48
DBY04		0.0347	1.97	<0.01	<0.005	0.0075	<0.005	<0.5	687.49	532.94	154.56	154.56	0.5144	/	1.5	2100.34	2194.56
DBY05		0.25	10.85	0.14	<0.005	0.018	<0.005	/	8492.76	8332.87	159.89	159.89	10.42	/	15.58	39359.14	39411.13
DBY06		0.0402	2.71	1.06	<0.005	0.0076	<0.005	<0.5	1286.23	1067.71	218.52	218.52	1.73	/	1.852	4666.82	4796.58
DBY07		0.0774	4.33	0.9611	<0.005	0.0131	<0.005	<0.5	4189.40	3925.58	263.82	263.82	0.889	3.16	3.704	19431.16	19591.99
DBY08		0.2157	7.92	0.4796	<0.05	0.0254	<0.005	<0.5	7227.32	7115.40	111.92	111.92	4.871	7.89	17.99	36343.85	36412.08
DBY09		0.18	7.24	0.012	<0.005	0.021	<0.005	/	5724.12	5588.22	135.90	135.90	7.82	/	15.87	32541.76	32621.37
DBY10		0.14	7.23	0.012	<0.005	0.018	<0.005	/	3045.52	2925.60	119.91	119.91	7.6	/	7.48	13932.82	13992.93

Las muestras de DBY01, DBY08, DBY09 son agua de mar. Las figuras en negrita y con color de fondo están fuera de los elementos estándar.



Tabla 3. Análisis de muestras de agua subterránea.

Número	pH	Dureza total (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	TFe (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Fenol volátil (mg/l)	COD	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Cianuro (mg/l)	Hg (μg/l)	As (μg/l)	Se (mg/l)
DXY01	6.84	5743.78	7670.88	<0.04	7.11	<0.05	<0.002	<0.04	/	2.39	1.00	2731.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY02	6.86	9777.2	29587.68	<0.04	1.23	<0.05	<0.002	<0.04	/	5.44	<0.04	16330.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY03	6.98	2907.09	2397.15	<0.04	2.55	<0.05	<0.002	<0.04	/	3.70	0.20	1080.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY04	6.83	10420.72	25615.26	<0.04	3.88	<0.05	<0.002	<0.04	/	4.35	<0.04	13110.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY05	7.04	11748.11	38354.4	<0.04	3.29	<0.05	<0.002	<0.04	/	6.31	<0.04	20290.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY06	7.11	10513.69	26574.12	<0.04	1.71	<0.05	<0.002	<0.04	/	5.12	<0.04	14150.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY07	6.76	8320.52	11711.79	<0.04	12.04	<0.05	<0.002	<0.04	/	4.24	0.16	4478.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY08	7.33	1152.45	1198.58	<0.04	1.52	<0.05	<0.002	<0.04	/	9.47	0.24	527.90	/	<0.25	<10	<0.05
DXY09	7.1	5902.01	9588.6	<0.04	6.38	<0.05	<0.002	<0.04	/	3.59	1.50	4521.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY10	6.98	15896.1	49315.07	<0.04	0.93	<0.05	<0.002	<0.04	/	4.35	<0.04	26980.00	/	<0.1	<10	<0.05
DXY11	7.06	7005.78	15615.72	<0.04	6.29	<0.05	<0.002	<0.04	/	3.05	0.36	7777.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY12	6.84	7439.74	17122.5	<0.04	7.68	<0.05	<0.002	<0.04	/	3.70	0.64	8956.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY13	7.6	580.99	1027.35	<0.04	0.61	<0.05	<0.002	<0.04	/	4.00	1.80	657.70	/	<0.25	<10	<0.05
DXY14	7.53	2099.69	3219.18	<0.04	2.37	<0.05	<0.002	<0.04	/	7.73	3.40	1466.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY15	6.93	4114.43	5171.00	0.06	5.02	<0.05	<0.0005	<0.04	/	3.59	3.40	2206.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY16	7.43	1436.25	1806.42	0.13	1.58	<0.05	<0.0005	<0.04	/	14.69	7.50	881.70	/	<0.25	<10	<0.05
DXY17	7.41	8653.35	17841.64	0.23	4.04	<0.05	<0.0005	<0.04	/	11.10	38.00	9301.00	/	<0.25	<10	<0.05
DXY18	10.5	2896.33	7966.04	<0.04	<0.01	<0.04	<0.009	<0.05	/	41.49	1.53	4543.50	/	4.03	44.05	<0.05

DXY19	6.92	11250.22	25208.54	0.14	6.27	<0.04	0.03	<0.06	/	10.81	1.06	13060.00	/	7.16	59.65	<0.05
DXY20	6.88	4316.57	8862.64	0.39	7.06	<0.04	0.14	<0.07	/	10.61	0.44	4593.50	/	2.04	19.00	<0.05
Número	Cd (µg/l)	Cr (Cr ⁶⁺) (µg/l)	Pb (µg/l)	Be (mg/l)	Ba (mg/l)	Ni (mg/l)	Co (mg/l)	Mo (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	I ⁻ (mg/l)
DXY01	<1	<10	<10	<0.005	0.34	<0.005	<0.005	<0.005	11.90	16.22	1150	697.4	378.11	422.39	0.29	1
DXY02	<1	<10	<10	<0.005	0.05	<0.005	<0.005	0.01	36.51	458.6	648.5	1981	3710.17	562.11	0.25	0.9
DXY03	<1	<10	<10	<0.005	0.11	<0.005	<0.005	<0.005	14.56	16.45	474	418.5	850.74	929.26	0.3	0.19
DXY04	<1	<10	<10	<0.005	0.14	<0.005	<0.05	0.01	30.51	257	883.1	1995	2788.53	623.84	0.29	0.96
DXY05	<1	<10	<10	<0.005	0.11	<0.005	<0.005	0.01	49.42	566	507.7	2545	3851.96	649.83	0.35	0.6
DXY06	<1	<10	<10	<0.005	0.07	<0.005	<0.005	<0.005	42.66	324.1	407.5	2306	3048.48	770.05	0.53	2.4
DXY07	<1	<10	<10	<0.005	0.21	<0.005	<0.005	<0.005	24.51	17.75	1574	1066	1087.06	513.37	0.3	0.35
DXY08	<1	<10	<10	<0.005	0.35	<0.005	<0.005	<0.005	8.33	15.69	204.9	155.6	198.51	389.9	0.63	0.07
DXY09	<1	<10	<10	<0.005	0.35	<0.005	<0.05	0.01	19.12	22.58	753.3	976.4	1063.42	909.77	0.35	1.9
DXY10	<1	<10	<10	<0.005	0.06	<0.005	<0.005	<0.005	42.66	761.8	633.5	3476	5671.59	415.89	0.28	0.07
DXY11	<1	<10	<10	<0.005	0.14	<0.005	<0.005	<0.005	40.61	80.49	632	1318	1725.11	480.88	0.35	1.2
DXY12	<1	<10	<10	<0.005	0.16	<0.005	<0.005	0.01	58.38	98.07	756.3	1348	2150.48	747.31	0.33	2.4
DXY13	<1	<10	<10	<0.005	0.25	<0.005	<0.005	<0.005	10.99	16.91	79.21	93.05	94.53	539.36	0.59	0.34
DXY14	<1	<10	<10	<0.005	0.38	<0.005	<0.005	0.01	43.04	16.16	283.1	338.2	115.8	532.86	0.44	1.4
DXY15	<1	<10	<10	<0.005	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	30.08	24.5	664.6	596.10	673.5	653.08	0.32	0.60
DXY16	<1	<10	<10	<0.005	0.12	<0.005	<0.005	0.01	42.02	10.78	266.6	187.10	342.66	298.92	0.44	0.05
DXY17	<1	<10	<10	<0.005	0.1	<0.005	<0.005	<0.005	149.73	126.6	559.6	1762.00	1920.02	591.35	0.44	2.75
DXY18	<1	<10	<10	<0.005	0.17	<0.005	<0.005	0.04	34.90	139.75	1117.5	51.84	1317.61	/	0.67	0.08
DXY19	<1	<10	<10	<0.005	0.45	<0.005	<0.005	0.01	39.74	219.85	1252	2087.00	3172.02	474.38	0.40	0.25
DXY20	<1	<10	<10	<0.005	0.13	<0.005	<0.005	<0.005	36.26	67.92	615.85	646.90	988.21	601.1	0.43	0.35

Número	Br ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Petróleo (mg/L)	Dureza permanente (mg/l)	Dureza temporal (mg/l)	Alcalinidad total (mg/l)	H ₂ SiO ₃ (mg/l)	Free CO ₂ (mg/l)	HBO ₂ (mg/l)	TDS(mg/ l)	Salinity (mg/l)	Sb (µg/l)	Li (mg/l)	Sr (mg/l)	Grado de calidad
DXY01	22	<0.002	<0.04	0.33	5397.35	346.43	346.43	17.4	29.99	0.83	12904.39	13115.58	<0.5	0.08	16.15	Inferior V
DXY02	100	0.01	<0.04	0.11	9316.18	461.02	461.02	13.66	34.73	7.33	53145.19	53426.24	<0.5	0.13	10.19	Inferior V
DXY03	5	1	<0.04	/	2144.96	762.14	762.14	17.6	45.78	1.51	5736.26	6200.89	<0.5	0.1	7.19	Inferior V
DXY04	72	<0.002	<0.04	0.01	9909.07	511.65	511.65	17.03	47.36	5.4	45077.67	45389.59	<0.5	0.14	14.85	Inferior V
DXY05	140	<0.002	<0.04	/		11748.11	532.96	13.1	25.26	8.62	66640.43	66965.34	<0.5	0.2	9.44	Inferior V
DXY06	70	<0.002	<0.04	/	9882.13	631.56	631.56	11.34	25.26	10.93	47319.54	47704.56	<0.5	0.17	8.26	Inferior V
DXY07	36	0.02	<0.04	1.19	7899.48	421.04	421.04	21.14	45.78	1.59	20268.90	20525.58	<0.5	0.16	21.07	Inferior V
DXY08	3.2	<0.002	<0.04	/	832.68	319.78	319.78	14.06	14.21	1.99	2519.42	2714.37	<0.5	0.04	3.14	Inferior V
DXY09	26	0.3	<0.04	0.02	31246.38	359.23	359.23	19.84	64.72	2.69	17444.62	17899.5	<0.5	0.11	12.96	Inferior V
DXY10	170	0	<0.04	0.01	15555.01	341.09	341.09	10.52	25.26	11.35	87267.02	87474.96	<0.5	0.26	11.06	Inferior V
DXY11	40	0.04	<0.04	/	15618.36	384.53	384.53	13.09	23.68	3.98	27481.39	27721.83	<0.5	0.11	10.67	Inferior V
DXY12	48	<0.002	<0.04	/	17604.01	373.05	373.05	21.71	63.15	6.81	30931.46	31305.11	<0.5	0.16	12.06	Inferior V
DXY13	2.2	<0.002	<0.04	/	138.63	442.36	442.36	20.05	6.31	2.11	2269.78	2539.46	<0.5	0.02	1.50	Inferior V
DXY14	8	0	<0.04	0.47	1662.66	437.03	437.03	15.05	11.05	2.53	5772.73	6039.16	<0.5	0.04	5.13	Inferior V
DXY15	12.5	<0.002	<0.04	/	3578.81	535.63	535.63	20.64	48.94	2.52	9725.02	10051.56	/	<0.02	10.80	Inferior V
DXY16	2.5	<0.002	<0.04	/	1191.09	245.16	245.16	22.36	9.47	0.61	3714.43	3863.89	/	0.05	4.06	Inferior V
DXY17	37.5	<0.002	<0.04	/	8168.35	485.00	485	36.68	25.26	6.8	32063.18	32358.85	/	0.11	11.23	Inferior V
DXY18	9.04	<0.002	<0.04	0.13	/	/	/	16.28	无	0.59	15100.00	15100.00	/	0.21	7.16	Inferior V
DXY19	87.96	0.13	<0.04	0.12	10861.15	389.07	389.07	16.54	20.52	2.33	45120.00	45357.19	/	0.27	20.76	Inferior V
DXY20	23.96	0.07	<0.04	0.09	3823.57	493.00	493.00	12.47	28.42	1.23	14820.00	15120.55	/	0.13	9.10	Inferior V

Las cifras en negrita y con color de fondo están fuera de los elementos estándar.



Resultados y discusión

Características de los niveles de agua subterránea y los tipos dinámicos

A partir de los resultados de las elevaciones del nivel de monitoreo de agua subterránea en 2017, los tipos dinámicos de nivel de agua subterránea poco profunda en esta área se pueden dividir en dos tipos: tipo de evaporación, infiltración de precipitación y tipo hidrológico (Figura 4).

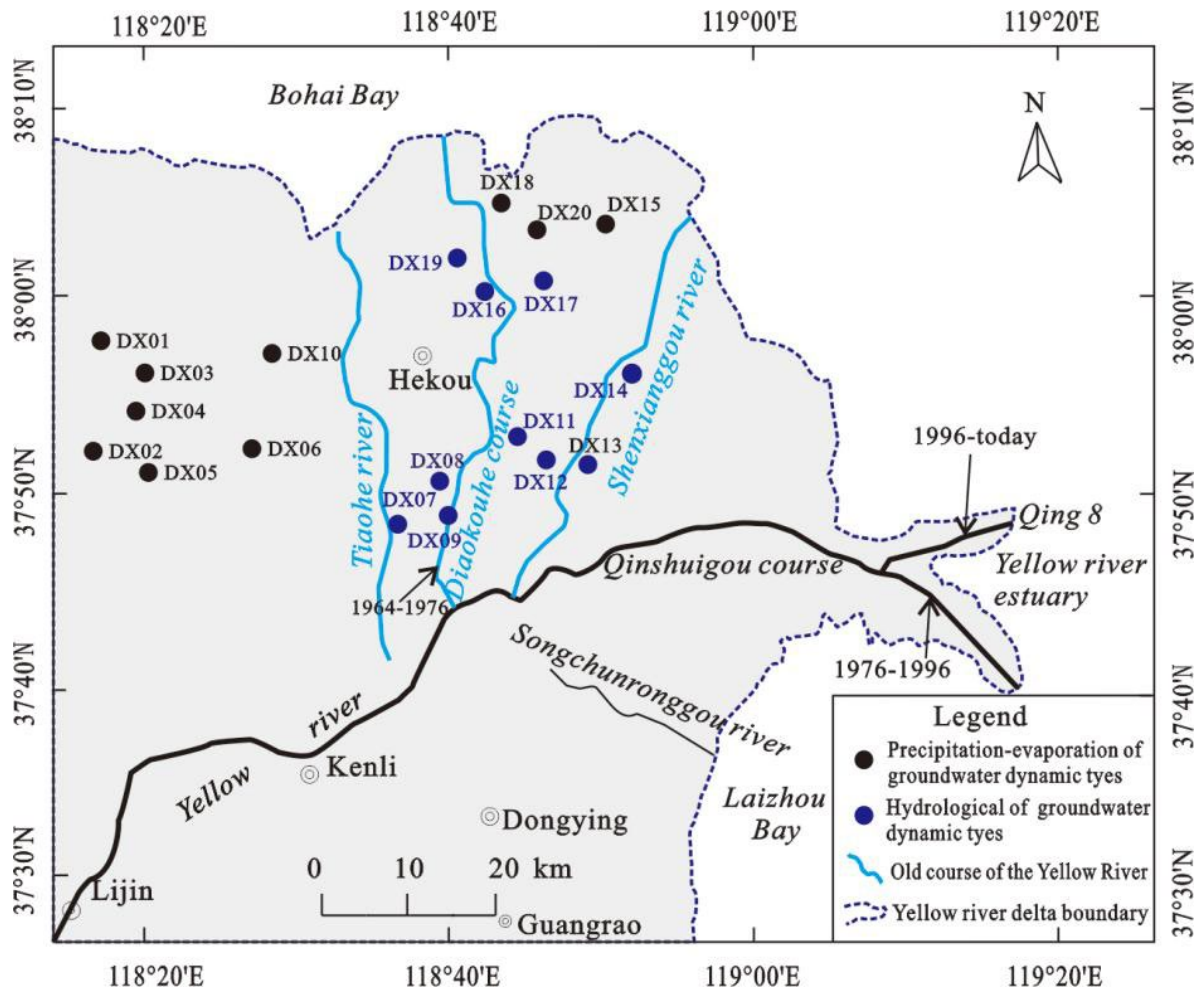


Figura 4. Distribución de pozos de monitoreo de diferentes tipos dinámicos de aguas subterráneas.

Tipo de precipitación-evaporación: las elevaciones del nivel del agua subterránea se caracterizan por el ciclo del agua subterránea de un solo pico que cambia de plano, descendente y ascendente a fondo plano. La precipitación fue rara de abril a mayo, y el agua subterránea entró en la

estación seca de mayo a junio con los niveles más bajos. El nivel del agua subterránea mostró un aumento y comenzó a entrar en la temporada de lluvias, hasta la temporada de lluvias de julio, y el valor pico por lo general apareció en agosto. Tales hechos fueron consistentes con la precipitación meteorológica. Después de septiembre, la precipitación volvió a ser rara y la evaporación en la superficie del agua también disminuyó en consecuencia. El agua subterránea entró en el periodo normal. En la Figura 5 se muestran ejemplos típicos de estaciones DX01 y DX10. Esta agua subterránea se distribuyó principalmente en la zona costera, y se mezcló con salmuera o agua salada. Se encontró que los principales modos alternativos eran la infiltración por precipitación y la evaporación del agua freática.

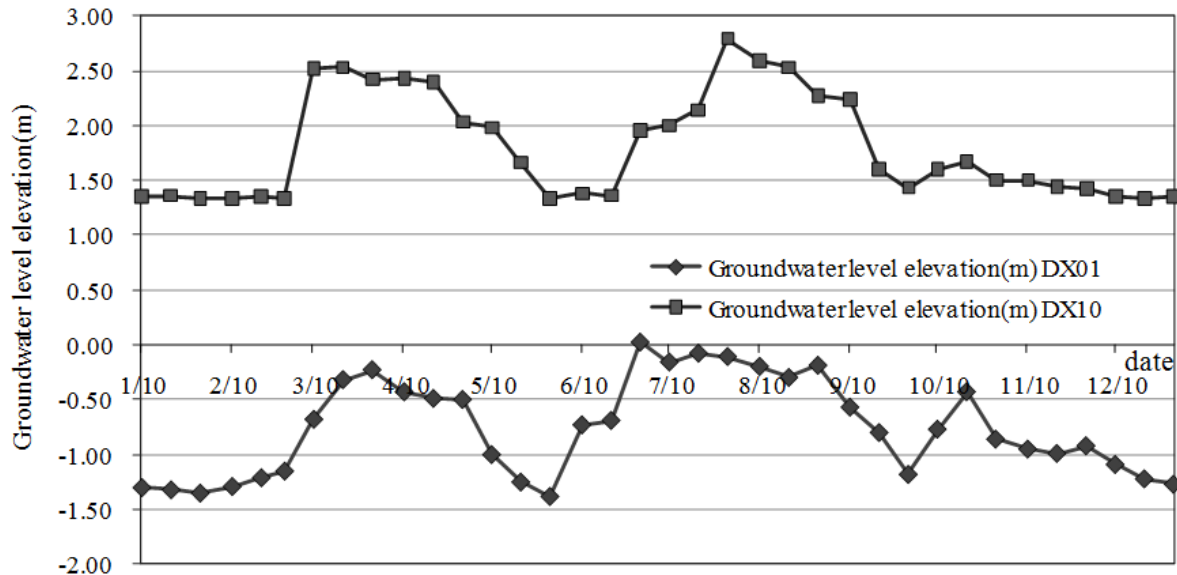


Figura 5. Ejemplo (estación DX01 y DX10) de curva dinámica de precipitación evaporación. Elevación del nivel del agua subterránea poco profunda. Elevación del nivel del agua subterránea (m) = elevación del punto de monitoreo (m)-profundidad del agua subterránea (m).

Tipo hidrológico: los niveles de agua subterránea se caracterizaron por picos dobles y fondo simple, y picos múltiples y fondos múltiples. En la Figura 6 se presentan ejemplos típicos de estaciones DX11 y DX16. Esta agua se distribuyó sobre todo a lo largo del antiguo río Amarillo. El agua subterránea pertenecía a aguas someras y su estado dinámico no solo se vio afectado por factores meteorológicos y de infiltración de riego, sino también por el nivel del agua del río Amarillo. Cuanto más cercana estaba

la distancia al río Amarillo, más obvio era el impacto hidrológico del río Amarillo.

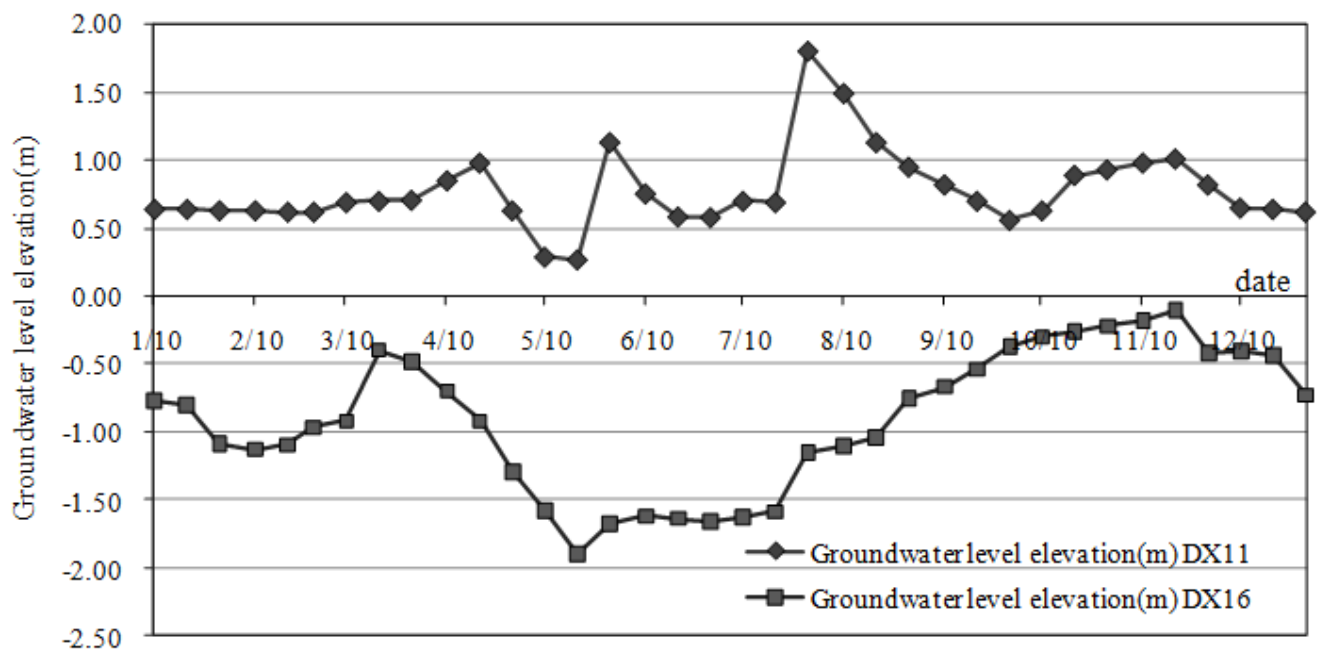


Figura 6. Ejemplo (estación DX11 y DX16) de curva dinámica de elevación hidrológica del nivel del agua subterránea poco profunda.

Características hidroquímicas de las aguas superficiales y subterráneas poco profundas

El diagrama de Piper es una técnica accesible que se utiliza en el análisis hidroquímico y se utiliza de forma amplia para demostrar las características químicas generales. El diagrama de Piper del agua superficial y el agua subterránea poco profunda en esta área se ilustra en la Figura 7. Los iones principales del agua subterránea poco profunda fueron Na^+ , K^+ y Cl^- (Figura 6). Los tipos hidroquímicos fueron principalmente Cl-Na y Cl-Na·K, que denotan una mezcla típica de agua de mar o salmuera. Los principales componentes iónicos del agua superficial fueron Na^+ , K^+ y Cl^- , pero debido a la contaminación del riego y la industria urbana, los niveles de Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} aumentaron y los tipos hidroquímicos cambiaron a Cl·Na·K y Cl· SO_4 -Na·K·Ca, que hicieron más complejos los tipos hidroquímicos.

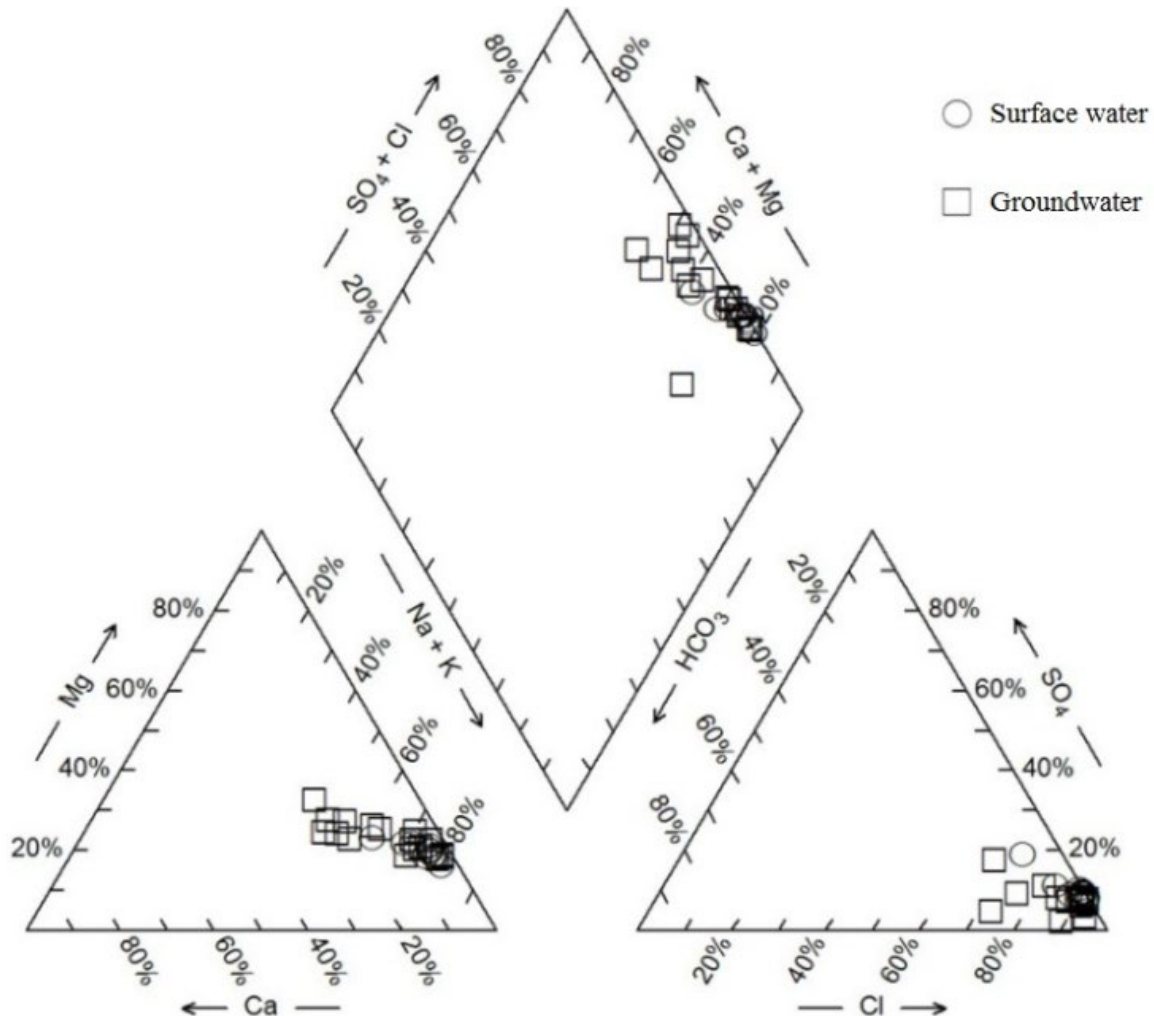


Figura 7. Gráfico de Piper de las aguas superficiales y subterráneas poco profundas en la región costera.

El Servicio Geológico de China ha establecido los estándares de intrusión de agua de mar de Cl⁻ 250 mg/l, Br⁻ 0.55 mg/l y TDS 1.0 mg/l. En el área de estudio, el agua superficial consistía en 938-22 190 mg/l de Cl⁻, 6-64

mg/l de Br^- y 2 100-40 256 mg/l de TDS; el agua subterránea poco profunda tenía 1 027-49 315 mg/l de Cl^- , 2.5-170 mg/l de Br^- y 2 269-87 267 mg/l de TDS (Tabla 2). El agua superficial y el agua subterránea poco profunda se caracterizaban típicamente por agua salada o agua salada. Además, el TDS estaba muy relacionado con la distancia desde la línea costera. Cuanto más corta es la distancia entre el punto de monitoreo de aguas superficiales y la costa, mayor es el TDS; mientras que las aguas subterráneas poco profundas muestran características opuestas. Esto significa que el agua de mar moderna influyó de modo significativo en el agua superficial, y el agua paleomarina en los sedimentos influyó en el agua subterránea poco profunda.

La correlación entre TDS y las principales sales se puede ver en el tipo de agua; un análisis más detallado de la correlación se puede apreciar en la matriz de correlación en la Tabla 4. Se aprecia que los cationes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en el agua superficial exhibieron una correlación positiva significativa con el TDS (R es 0.974, 0.99, 0.999, 0.982, respectivamente) (Tabla 1); los aniones de Cl^- , SO_4^{2-} y B^- también exhibieron una correlación positiva significativa con TDS (puntaje r). La correlación entre NO_3^- y TDS fue relativamente débil ($r = 0.766$). En consecuencia, los iones Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en el agua subterránea mostraron una correlación positiva significativa con TDS ($r = 0.986$, 0.998, 0.959). Solo Cl^- y SO_4^{2-} entre los

aniones tuvieron una correlación positiva significativa con el TDS ($r = 1, 0.989$), mientras que otros aniones no mostraron correlaciones significativas.

Tabla 4. Matriz de correlación de aniones y cationes en aguas superficiales y aguas subterráneas poco profundas de la región costera.

Índice	pH	COD	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	I ⁻	HCO ₃ ⁻
Superficie del agua														
COD	0.151	1												
TDS	-0.432	0.21	1											
Ca ²⁺	-0.455	0.119	0.974**	1										
Mg ²⁺	-0.458	0.103	0.99**	0.978**	1									
Na ⁺	-0.401	0.251	0.999**	0.97**	0.984**	1								
K ⁺	-0.425	0.293	0.982**	0.964**	0.954**	0.985**	1							
NH ₄ ⁺	0.002	-0.098	-0.067	-0.178	-0.018	-0.075	-0.218	1						
Cl ⁻	-0.432	0.197	1**	0.973**	0.992**	0.998**	0.979**	-0.055	1					
F ⁻	-0.540	-0.122	0.352	0.362	0.337	0.348	0.408	-0.163	0.348	1				

SO₄²⁻	-0.51	0.181	0.988**	0.971**	0.974**	0.983**	0.984**	-0.136	0.987**	0.389	1			
Br⁻	-0.361	0.233	0.906**	0.852**	0.869**	0.909**	0.899**	0.3	0.904**	0.525	0.905**	1		
I⁻	-0.431	-0.31	0.255	0.146	0.311	0.23	0.109	0.775**	0.268	0.227	0.211	0.31	1	
HCO₃⁻	0	-0.135	-0.584	-0.685*	-0.556	-0.594	-0.667*	0.581	-0.576	-0.296	-0.609	-0.561	0.488	1
NO₃⁻	-0.239	0.336	0.766**	0.734*	0.742*	0.778**	0.754*	-0.001	0.763*	0.264	0.727*	0.738*	0.117	-0.37
Agua subterránea														
COD	0.618**	1												
TDS	-0.409	-0.176	1											
Ca²⁺	-0.785**	-0.458	0.166	1										
Mg²⁺	-0.418	-0.185	0.986**	0.215	1									
Na⁺	-0.369	-0.15	0.998**	0.113	0.979**	1								
K⁺	0.279	-0.091	0.959**	-0.017	0.912**	0.969**	1							
NH₄⁺	0.365	0.54	0.417	-0.119	0.458	0.458	0.641*	1						

Cl⁻	-0.409	-0.176	1**	0.174	0.985**	0.998**	0.958**	0.408	1					
F⁻	0.792**	0.454	-0.406	-0.682**	-0.379	-0.375	-0.317	0.412	-0.405	1				
SO₄²⁻	-0.419	-0.172	0.989**	0.122	0.972**	0.991**	0.958**	0.37	0.986**	-0.414	1			
Br⁻	0.212	0.445	0.293	-0.056	0.368	0.18	0.18	0.923**	0.289	0.003	0.277	1		
I⁻	0.015	-0.047	0.116	0.069	0.223	0.105	-0.73	0.541	0.111	0.044	0.094	0.615**	1	
HCO₃⁻	-0.259	-0.447	0.027	0.047	0.084	-0.375	-0.055	-0.164	0.014	-0.196	0.069	0.004	0.446	1
NO₃⁻	0.212	0.445	0.293	-0.056	0.368	0.013	0.18	0.923**	0.289	0.003	0.277	0.004	0.615**	0.004

* Correlación significativa en $\alpha = 0.05$

**la correlación es extremadamente significativa en $\alpha = 0.01$.

Análisis del medio acuático

Calidad del agua superficial

Las propiedades geoquímicas y los resultados de la evaluación del agua superficial se ilustran en la Tabla 2. La calidad del agua superficial se evaluó de acuerdo con GB3838-2002. En la evaluación, tres muestras en la estación (DBY01, DBY08, DBY09) estaban cerca de las muestras del canal de agua de mar y se evaluaron con base en el estándar de calidad del agua de mar (GB3097-1997).

La calidad del agua superficial fue mala en general en todas las muestras evaluadas, pertenecientes al grado de calidad IV o V (Tabla 2). F⁻ del agua DBY05 superó la clase V del estándar de calidad ambiental de aguas superficiales GB3838-2002. F⁻ y COD de las muestras de agua de mar DBY08 excedieron la clase IV del estándar de calidad ambiental de agua de mar GB3097-1997.

Calidad del agua subterránea poco profunda

Se adoptó el método de evaluación de factor único para evaluar el agua subterránea poco profunda, y se tomó como referencia el estándar de calidad del agua subterránea (GB/T14848-2017) (Figura 8). La calidad y los datos del agua subterránea poco profunda se muestran en la Tabla 4.

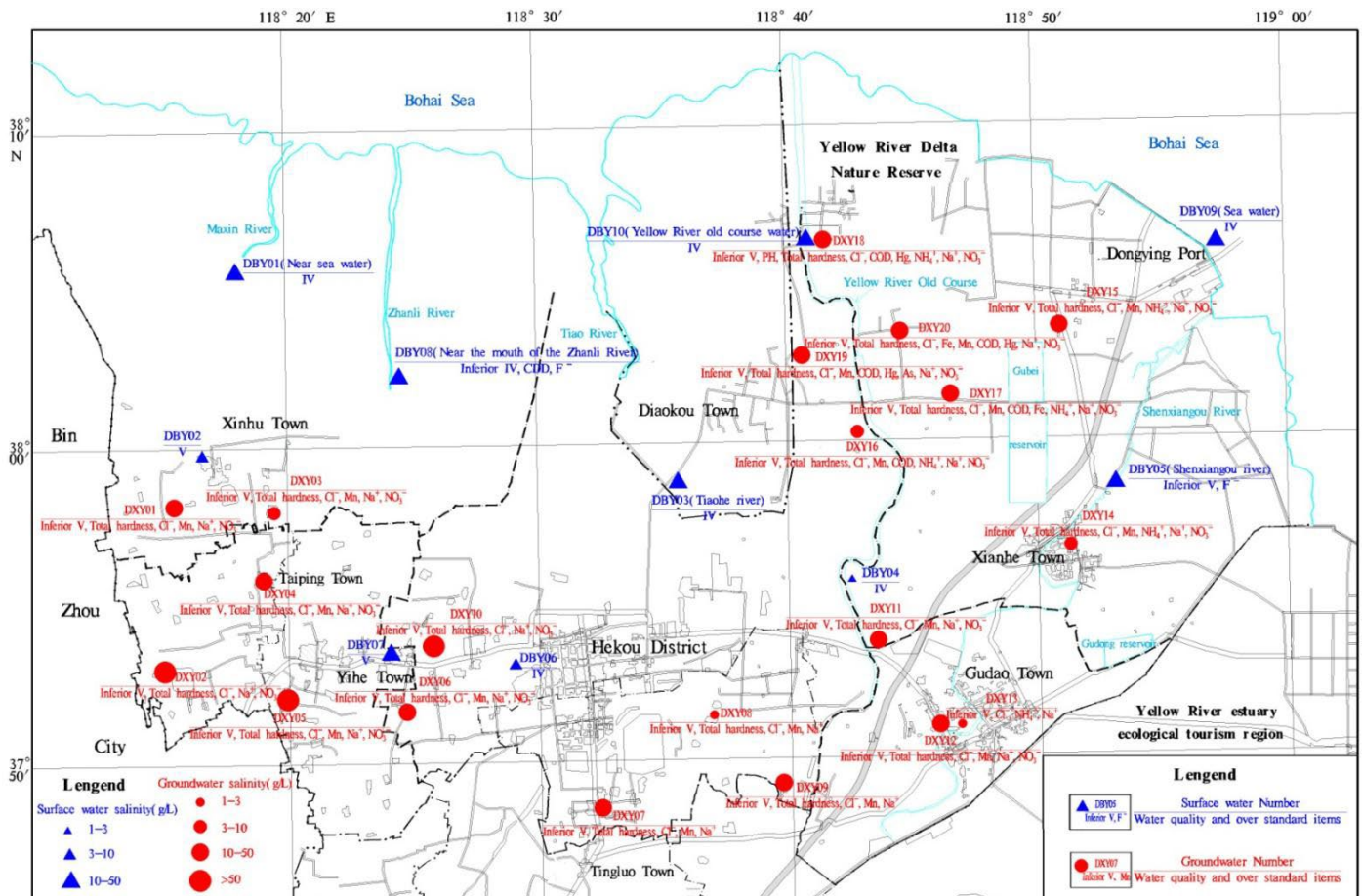


Figura 8. Características espaciales de salinidad y contaminación en aguas superficiales y calidad de aguas subterráneas poco profundas.

Todos los grados de calidad de las muestras de agua subterránea pertenecen al inferior V. Los ocho indicadores que exceden el estándar de calidad del agua subterránea V incluyen Cl⁻, Na⁺, dureza total, DQO, NH₄⁺, Hg, As y NO₃⁻. Los indicadores que excedieron el estándar V de calidad del agua subterránea incluyeron Cl⁻ y Na⁺ en todas las muestras; dureza



total en todas, excepto la muestra DXY13; DQO en muestras de DXY16 ~ DXY20; NH_4^+ en muestras de DXY13 ~ DXY18; Hg en muestras de DXY18 ~ DXY20; arsénico en muestra de DXY19, y NO_3^- en muestras de DXY02 ~ DXY06, DXY10 ~ DXY12 y DXY14 ~ DXY20.

Conclusiones

El presente trabajo contempló el seguimiento dinámico y el estudio de la hidroquímica del agua superficial y del agua subterránea poco profunda en la parte norte del delta del río Amarillo, China. Las conclusiones importantes del estudio son las siguientes:

1. Los tipos dinámicos de agua subterránea poco profunda en la parte norte del delta del río Amarillo se pueden dividir en dos tipos: tipo de evaporación, infiltración de precipitación, y tipo hidrológico. El tipo de evaporación por precipitación se distribuyó principalmente en la zona costera, y el grado de aprovechamiento del desvío del río Amarillo fue

relativamente bajo, que fue el área de salmuera o agua salada. La escorrentía de las aguas subterráneas fue lenta, con la infiltración por precipitación y evaporación del agua freática como principal modo alternativo. El tipo hidrológico se distribuyó en la zona de influencia a lo largo del antiguo río Amarillo, y la dinámica del nivel freático se relacionó con la dinámica del nivel del agua del río Amarillo junto con la influencia de factores meteorológicos y de infiltración de riego.

2. El agua superficial y el agua subterránea poco profunda en la parte norte del delta del río Amarillo exhibieron un mayor grado de mineralización; el grado general de mineralización fue mayor en el agua subterránea poco profunda. El agua subterránea poco profunda era del tipo $\text{Cl-Na}\cdot\text{K}$, y se trataba de una mezcla típica o salmuera. El agua superficial cambió al tipo $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}\cdot\text{K}\cdot\text{Ca}$ debido a la contaminación industrial, agrícola y urbana. El tipo hidroquímico fue complicado. En aguas superficiales y aguas subterráneas poco profundas se encontró que los cationes de Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , y los aniones de Cl^- y SO_4^{2-} son los principales iones relacionados con el TDS.

3. En la parte norte del delta del río Amarillo, la presión de los recursos hídricos y del entorno hídrico era relativamente alta; los recursos hídricos disponibles procedían principalmente del río Amarillo. La calidad general del medio ambiente del agua fue baja. Debido al área de concentración

de producción de petróleo, área de distribución de salmuera de área grande del campo petrolero Shengli, empresas petroleras, productos químicos y salmuera, descarga de aguas residuales urbanas y recolección de desechos sólidos municipales en esta área, se agravó el deterioro de la calidad del medio ambiente del agua. Para el desarrollo sustentable del delta del río Amarillo es necesario fortalecer el monitoreo y manejo del control total de descarga del campo petrolífero, industria química y agua doméstica urbana, así como tomar medidas efectivas para asegurar que las fuentes de contaminación industrial cumplan con los estándares de descarga. También es importante fortalecer la ordenación territorial y el diseño de la tierra; reducir nuevos proyectos de industria pesada y petroquímica, y aumentar las industrias de desarrollo verde y sostenible.

Agradecimientos

Este trabajo es apoyado por la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (No. 41602356, 41977262); Proyecto de Investigación de Planificación de Ciencias Sociales en la Provincia de Shandong (No. 21BKRJ03); Fondo Abierto del Laboratorio Clave de Recursos Minerales e Ingeniería Geológica del Ministerio de Educación de China Occidental, Universidad de Chang'an, China (No. 300102260501); Proyecto del Plan de Cultivo de Innovación Científica y Tecnológica de la Academia de



Ciencias Geológicas de Shandong (No. PYJH202101); CAS Laboratorio Clave de Procesos Ambientales Costeros y Remediación Ecológica, Programa del Fondo de Investigación Abierto del Laboratorio Clave de Ciencias Ecoambientales de Shandong para el Delta del Río Amarillo (Universidad de Binzhou) (No. 2019KFJJ03); Programa de Estudios en el Extranjero del Gobierno de la Provincia de Shandong, China (No. 201902006); Laboratorio Clave Provincial de Shandong de Fondo Abierto (No. DMSM2018024, STKF201917); Principales Proyectos de Innovación Científica y Tecnológica en la provincia de Shandong (No. 2018CXGC 0307); Fondo de Exploración Geológica de la Provincia de Shandong (No. 2016(7), 2013(55), 2018(8)).

Referencias

Amiri, V., Bhattacharya, P., & Nakhaei, M. (2021a). La evaluación hidrogeoquímica de los recursos hídricos subterráneos y su idoneidad para usos agrícolas e industriales en una zona árida de Irán. *Groundwater for Sustainable*, 12, 100527.

- Amiri, V., Kamrani, S., Ahmad, A., Bhattacharya, P., & Mansoori, J. (2021b). Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando la teoría de la información de Shannon y la evaluación de riesgos para la salud humana en la provincia de Yazd, meseta central de Irán. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1108-1130.
- Cao, J. H., Xu, X. Y., Yu, H. J., & Huang, C. (2014). Investigación sobre la variación y evolución de la química de las aguas subterráneas en el delta del río Amarillo. *Marine Science*, 38(12), 78-85 (in Chinese). DOI: 10.3321/j.issn:1006-3021.2002.04.016
- He, F., Pan, Y., Tan, L., Zhang, Z., Li, P., Liu, J., Ji, S., Qin, Z., Shao, H. & Song, X. (2017). Estudio de las características de transporte de agua del suelo salino de las marismas del delta del río Amarillo. *Science of the Total Environment*, 574, 716-723. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.111
- Iqla, B., Mom, A., Oerr, A., Pb, B., Rqc, A., & Jqa, A. (2019). Evaluación hidroquímica con respecto a arsénico y otros oligoelementos en la cuenca del bajo katari, altiplano boliviano. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 281-293.

- Li, X., Xia, J., Zhao, X., & Chen, Y. (2019). Efectos de plantar *Tamarix chinensis* en el agua del suelo poco profundo y el contenido de sal en diferentes profundidades del agua subterránea en el delta del río Amarillo. *Geoderma*, 335, 104-111. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.08.017
- Liu, Q., Li, F., Li, J., Luo, B., & Huang, C. (2016). Evidencia geoquímica e isotópica de salinización de aguas subterráneas poco profundas en una zona costera recuperada: el delta del río Amarillo, China. *Environmental Earth Sciences*, 75(14), 1107. DOI: 10.1007/s12665-016-5918-5
- Liu, Q., Li, F., Zhang, Q., Li, J., Zhang, Y., Tu, C., & Ouyang, Z. (2014). Impacto de la desviación de agua en la caracterización hidrogeoquímica de aguas superficiales y subterráneas en el delta del río Amarillo. *Applied Geochemistry*, 48, 83-92. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2014.07.009
- Liu, S., Guo, F., Jiang, G., Tang, Q., Guo, X., & Huang, S. (2015). Características hidrogeoquímicas de la llanura forestal pico en la ciudad de guilin, China. *Earth & Environment*, 43, 55-65.

- Ren, X., Li, P., He, X., Su, F., & Elumalai, V. (2021). Procesos hidrogeoquímicos que afectan la química de las aguas subterráneas en la parte central de la cuenca de Guanzhong, China. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 74-91. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00772-5>
- Wang, K. (2018). Investigación y evaluación de la calidad del ambiente ecológico y geológico de las regiones costeras de la zona económica ecológica de alta eficiencia (HEEEZ) dentro del delta del río Amarillo. *Journal of Coastal Research*, 84, 169-180. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI84-023.1>
- Wang, K. (2019). Evolución de la costa del delta del río Amarillo basada en teledetección de 1976 a 2014. *Chinese Geographical Science*, 02(29), 181-191. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11769-019-1023-5>
- Wang, K., & Qin, X. (2020). Características geológicas y distribución espacial de la ingeniería de suelos blandos en el norte del delta del río Amarillo. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 40(01), 31-40 (in Chinese). DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018091202
- Wohlfart, C., Kuenzer, C., Chen, C., & Liu, G., (2016). Desafíos socioecológicos en la cuenca del río Amarillo (China): una revisión. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer Berlin Heidelberg.

- Zhan, S., Wu, J., & Jin, M. (2021). Características hidroquímicas, fuentes de oligoelementos y evaluación de riesgos para la salud de las aguas superficiales en la cuenca del Amu Darya de Uzbekistán, Asia central árida. *Environmental Science and Pollution Research*, (S2). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15799-x>
- Zhang, W., Ma, L., Abuduwaili, J., Ge, Y., & Saparov, G. (2019). Características hidroquímicas e idoneidad para el riego del agua superficial en el río Syr Darya, Kazajstán. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 572. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7713-8>
- Zhao, Q., Bai, J., Zhang, G., Jia, J., Wang, W., & Wang, X. (2018). Efectos de las medidas de regulación del agua y la salinidad sobre el secuestro de carbono del suelo en los humedales costeros del Delta del río Amarillo. *Geoderma*, 319, 219-229. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.10.058