

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7402**

# EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LA CIUDAD DEL ILO

Departamento Moquegua  
Provincia Ilo  
Distritos Ilo y El Algarrobal



JULIO  
2023

**“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LA CIUDAD DEL ILO”**  
Distritos Ilo y El Algarrobal, provincia Ilo, departamento Moquegua

Elaborado por la Dirección  
de Geología Ambiental y  
Riesgo Geológico del  
Ingemmet

*Equipo de investigación:*

*José Luis Moreno Herrera*

**Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación hidrogeológica en la ciudad de Ilo. Distritos Ilo y El Algarrobal, provincia Ilo, departamento Moquegua*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7402, 63 p

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>I. ASPECTOS GENERALES</b>	2
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.3. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	7
1.4. CLIMA Y ECOLOGÍA.....	9
➤ Desierto superárido templado cálido (ds-Tc).....	9
➤ Desierto perárido templado cálido (dp-Tc).....	9
➤ Matorral desértico templado cálido (md-Tc).....	9
➤ Desierto desecado templado cálido (dd-Tc).....	10
1.5. HIDROLOGÍA.....	10
1.6. METODOLOGÍA.....	12
1.7. EQUIPO DE TRABAJO.....	13
<b>II. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b>	14
2.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	14
2.1.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO - DEGRADACIONAL Y EROSIONAL	14
• Unidad de montañas y colinas.....	14
➤ Relieve montañoso en roca intrusiva (RM-ri).....	14
➤ Montaña y colina en roca intrusiva (RMC-ri).....	14
➤ Montaña y colina en roca volcánica (RMC-rv).....	14
➤ Ladera de montaña en roca intrusiva (LM-ri).....	14
• Unidad de colinas y lomadas.....	15
➤ Relieve de colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri).....	15
➤ Relieve de colinas y lomadas en rocas sedimentarias (RCL-rs).....	15
➤ Relieve de colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv).....	15
➤ Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánico-sedimentarias (RCL-rvs).....	15
2.1.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSICIONAL Y AGRADACIONAL.....	15
• Unidad de piedemonte.....	15
➤ Abanico de piedemonte (Ab).....	15
➤ Vertiente o piedemonte aluvial (V-al).....	15
➤ Vertiente o Piedemonte aluvio-torrencial (P-at).....	16
➤ Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd).....	16
• Unidad de planicies, depresiones y otros.....	16
➤ Faja o borde litoral, playas y acantilados (F-l).....	16
➤ Llanura o planicie inundable (PI-i).....	16
➤ Mantos de arena (M-a).....	17
➤ Terraza indiferenciada (T-i).....	17
➤ Terraza marina (T-m).....	17
2.2. GEOLOGÍA – ESTRATIGRAFÍA.....	20
➤ PALEOZOICO.....	20
➤ MESOZOICO.....	20
➤ CENOZOICO.....	20
➤ CUATERNARIO.....	20
➤ ROCAS INTRUSIVAS.....	22
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL (SISTEMAS DE FALLAS).....	24
➤ SISTEMA DE FALLAS TRANSVERSALES A LA CORDILLERA (NE-SO)	24
• FALLA ACTIVA DE CHOLOLO.....	24
➤ SISTEMA DE FALLAS ISLAY-ILO (SFII).....	24
<b>III. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS</b>	26
3.1. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....	26
ENSAYOS DE INFILTRACIÓN / CALCULO DE LA PERMEABILIDAD.....	27
3.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	33
ACUÍFEROS.....	34

➤ Acuíferos porosos no consolidados.....	34
➤ Acuíferos Sedimentarios.....	34
• Acuífero Sedimentario Millo.....	35
• Acuífero Sedimentario Moquegua Superior.....	35
ACUITARDOS.....	35
➤ Acuitardo Sedimentario Ambo.....	35
➤ Acuitardo Volcánico Chocolate Inferior.....	35
➤ Acuitardos intrusivos.....	35
3.3. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA	37
3.4. ANÁLISIS DE AFOROS Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA RÍO – ACUÍFERO.....	47
<b>IV. ASPECTOS HIDROQUÍMICOS</b> .....	52
4.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	53
➤ Conductividad eléctrica.....	53
➤ pH.....	54
4.2. ANÁLISIS QUÍMICO.....	55
➤ Diagramas de Stiff.....	55
➤ Diagrama de Piper.....	56
<b>CONCLUSIONES</b> .....	59
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	61
<b>REFERENCIAS</b> .....	62
<b>ANEXOS</b> .....	63

## RESUMEN

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, (INGEMMET), dentro de sus principales funciones, realiza el apoyo a las instituciones gubernamentales; en este entender, se realizó el estudio: “Evaluación hidrogeológica en la ciudad del Ilo, (distritos de Ilo y El Algarrobal), provincia de Ilo, departamento de Moquegua”, que forma parte del proyecto ACT11: “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional”, en atención a la solicitud remitida por la Municipalidad Provincial de Ilo.

En el documento ingresado, se da a conocer la preocupación de las autoridades y de la población de la zona Alto Ilo – Chalaca, por posibles amenazas de peligros geológicos. Esta preocupación se da a causa de afloramientos de aguas subterráneas en la zona urbana del distrito de Ilo, ya que producto de ello se viene evidenciando asentamientos en las edificaciones, durante el 2021, en dicho sector (Alto Ilo – Chalaca).

Durante los trabajos de campo se observó, que algunas viviendas presentan grietas en paredes, pisos y techos, debido a dicho asentamiento progresivo y acelerado; luego de realizar una excavación somera, se apreció afloramientos de aguas del subsuelo de origen desconocido. La empresa prestadora de servicios de agua potable y alcantarillado, ha descartado la posibilidad de que las aguas sean provocadas por fuga de agua en el sistema que administra; (OFICIO N° 394-2021-A-MPI).

La zona de estudio está ubicada en la costa sur del territorio peruano, políticamente abarca los distritos de Ilo y El Algarrobal, de la provincia de Ilo, departamento de Moquegua. Hidrogeológicamente, en el Valle del río Ilo se identifica el acuífero poroso no consolidado, siendo la más importante unidad hidrogeológica para entender el comportamiento de los flujos subterráneos en este sector.

El estudio se realizó a nivel de diagnóstico situacional, que contiene el inventario de fuentes de aguas subterráneas para evaluar las zonas de descarga. Estas fuentes se registraron con una determinada codificación, coordenadas, parámetros físico-químicos, hidráulicos e hidrogeológicos que se visualizan en el mapa hidrogeológico. Se inventario 15 fuentes, las mismas que cuentan con análisis químico en laboratorio del INGEMMET. Del análisis hidroquímico podemos distinguir dos grupos de facies hidroquímicas: Cloruradas Sulfatadas Sódicas (08 fuentes) y Cloruradas Sulfatadas Cálcicas Sódicas (07 fuentes).

En el sector del acuífero poroso no consolidado del piso de valle y donde se encuentra la población de Ilo, las precipitaciones son bajas a nulas; por lo tanto, la fuente de recarga se limita a las filtraciones en interior provenientes de las aguas del río Ilo, que se incrementa con aguas del trasvase del proyecto Pasto Grande, siendo uno de sus principales usos, dentro del área de estudio, el de regadío en zonas de cultivo a través de canales.

El INGEMMET, emite el presente informe técnico, con el objetivo de brindar información hidrogeológica, para comprender el comportamiento de los flujos subterráneos y entender las posibles surgencias de agua en la ciudad, motivo de preocupación para la población; así mismo, el presente informe servirá como herramienta de consulta para las autoridades y público de interés, y servirá de base para continuar con futuras investigaciones.

**“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LA CIUDAD DE ILO  
(DISTRITOS ILO Y EL ALGARROBAL),  
PROVINCIA ILO, DEPARTAMENTO MOQUEGUA”**

**I. ASPECTOS GENERALES**

**1.1. INTRODUCCIÓN**

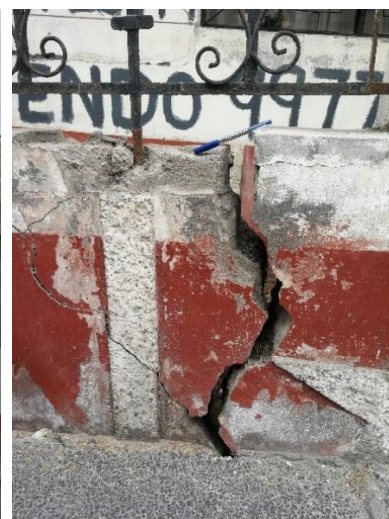
El área de estudio comprende la ciudad de Ilo y abarca zonas inspeccionadas dentro de los distritos de Ilo y El Algarrobal, nuestra área se ubica en la costa Sur del territorio peruano, políticamente se encuentra dentro de la provincia de Ilo, departamento de Moquegua.

Mediante el oficio N° 394-2021-A-MPI, presentado por la Municipalidad Provincial de Ilo, por el Arql. Gerardo Felipe Carpio Díaz (alcalde), el INGEMMET, realiza la evaluación hidrogeológica dentro de la zona de interés, para comprender el comportamiento de los flujos subterráneos y sus posibles causas de afloramiento de aguas subterráneas en la zona urbana del distrito de Ilo, ya que los pobladores afectados y autoridades, se encuentran preocupados debido a que se viene evidenciando asentamiento progresivo de algunas edificaciones.

De acuerdo al documento ingresado (OFICIO N° 394-2021-A-MPI), se hace mención que se ha evidenciado en la zona: Alto Ilo – Chalaca, algunas viviendas que presentan grietas en paredes, pisos y techos, debido a un asentamiento progresivo y acelerado de las edificaciones, (Ver fotografías N° 01, 02, 03, 04, 05, 06 y 07), luego de la excavación de suelos en dos viviendas, que ha notado el afloramiento de aguas desde el subsuelo, de origen desconocido y que podrían ser las posibles causas; así mismo, hace mención que la empresa prestadora de servicio de agua potable y alcantarillado, ha descartado la posibilidad de que las aguas sean provocadas por fuga de agua en el sistema que administra, esto ha causado preocupación de la población afectada y de las autoridades.



Fotografía N° 01: Visita a la casa afectada con rajaduras y un ligero hundimiento en la puerta de entrada (reja), por seguridad los habitantes desalojaron dicho domicilio.



Fotografía N° 02: Cerco agrietado en la fachada de la casa.



Fotografía N° 03: Detalle de las grietas en la fachada principal de la vivienda afectada.



Fotografía N° 04: En el interior, están remodelando por la intensa humedad y deterioro de la vivienda.



Fotografía N° 05: En el ingreso por la puerta principal, se evidencia este ligero hundimiento del suelo que se desprende del vaciado de concreto del piso.



Fotografía N° 06: En la habitación interior se observa rajaduras y la intensa humedad en las paredes que asciende desde el piso; se observa también el daño del desprendimiento del terraje de la pared.



Fotografía N° 07: En otra habitación continua, se observa con más intensidad la presencia de la humedad, las rajaduras y agrietamientos continúan.



En el documento recibido, también se hace mención sobre los riesgos geológicos suscitados y relacionados a la presencia de agrietamientos en la institución educativa “José Pardo y Barreda” (ver fotografías N° 08, 09, 10, 11, 12 y 13); como también en zonas circundantes del distrito de Ilo. En referencia a estos agrietamientos de la institución educativa, la Dirección de Evaluación Ambiental, del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA; muestra detalladamente los daños debido a la presencia de fisuras en el piso, después de realizar una inspección local realizada en el Centro de Educación Básica Alternativa Jose Pardo y Barreda.

Es importante entender que el río Ilo es la manifestación principal de flujos de agua superficial en la zona de estudio, con dirección principal Noreste a Suroeste, en su desembocadura, se abre paso al acuífero poroso no consolidado con reservas importantes de agua subterránea, donde se extiende en gran parte la población de Ilo. Por otro lado, el Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG), es una obra de infraestructura hidráulica en la cuenca del río Ilo Moquegua, que aporta agua a la cuenca, esto permitió a los pobladores del valle de Ilo, hacer uso de las aguas superficiales para el regadío de sus áreas agrícolas, estos aportes e irrigaciones, aumentan las infiltraciones del agua superficial, de esta manera permiten la recarga del acuífero poroso no consolidado de piso de valle.

La descripción geológica se extrajo del boletín: “Hidrogeología de la cuenca del río Ilo-Moquegua”, Ng, W. Peña, F. Acosta, H; así mismo, se complementó con el informe técnico N° A6459 “Falla Activa Chololo”, Provincia de Ilo, región Moquegua, Benavente, C.

Finalmente se trabajó a detalle el inventario respectivo de las fuentes de agua subterránea de la zona de estudio, con su respectiva toma de muestras para su interpretación hidroquímica; así mismo, se realizó ensayos de infiltración para conocer el grado de permeabilidad referencial de las formaciones geológicas. El presente informe nos permitirá conocer el comportamiento de los flujos subterráneos, identificar las evidencias de surgencias de agua en las zonas afectadas; así mismo, servirá de base para futuros estudios de investigación.



Fotografía N° 08: Visita a la institución educativa “José Pardo y Barreda”, para evidenciar los daños ocasionados.



Fotografía N° 09: En un patio se observa un lineamiento de Norte a Sur, agrietado de poca abertura que removió el adoquinado de la losa.



Fotografía N° 10: Este alineamiento sigue en la misma dirección pasando por los salones de clases, se observa rajaduras en el piso y en las paredes.



Fotografía N° 11: Se observa que estas ligeras rajaduras continúan en la misma dirección Norte - Sur.



Fotografía N° 12: La rajadura del piso continua en la misma dirección pasando por más ambientes continuos.



Fotografía N° 13: Se observo que, en algunas uniones de las paredes, se llegaron abrir.

## 1.2. OBJETIVOS

- Identificar e inventariar las surgencias de agua subterránea recientes en la zona urbana de la población de Ilo, conocer el comportamiento de los flujos subterráneos e identificar su posible procedencia, complementado con un análisis hidroquímico.
- Realizar ensayos de infiltración para conocer la permeabilidad del terreno; así mismo, caracterizar las unidades hidrogeológicas con posibilidad de almacenar y transmitir agua subterránea.

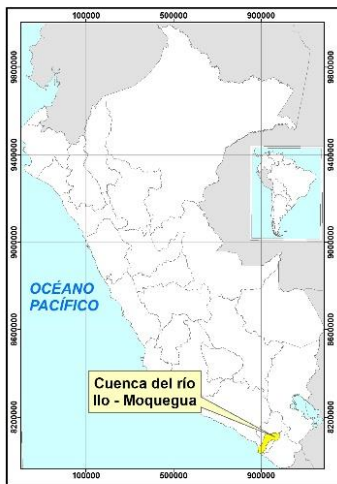
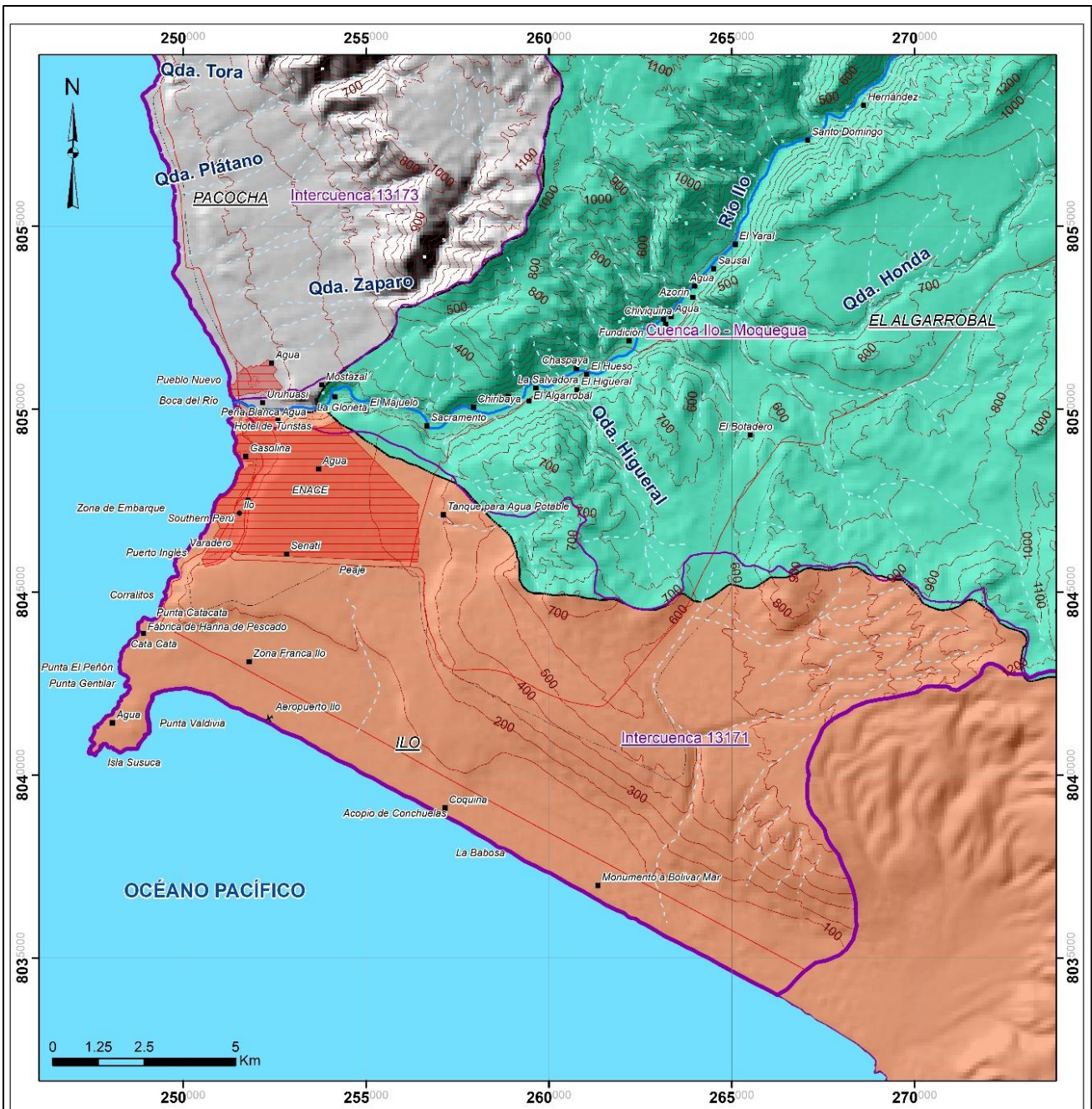
### **1.3. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

La zona de estudio abarca la ciudad de Ilo y sus alrededores y se extiende hasta el distrito de El Algarrobal, políticamente, se encuentra dentro de la provincia de Ilo, departamento de Moquegua (Figura N° 01).

Morfológicamente presenta una zona plana llamada pampa costanera, con morfologías localizadas, como la faja litoral donde se encuentran las playas cercanas a Ilo. Desde el punto de vista geográfico, la plaza central de la ciudad de Ilo se encuentra en las coordenadas UTM: Latitud Sur: 17°38'45.17" y Longitud Oeste: 71°20'43.09".

A nivel de cuencas hidrográficas, la zona de estudio se ubica hacia la parte Suroeste de la cuenca del río Ilo-Moquegua (13172), en el sector de la desembocadura del río Ilo; así mismo, se extiende al Sur dentro de la intercuenca 13171, donde se encuentra en su mayor extensión la población de Ilo.

La accesibilidad hacia la zona de estudio, se puede realizar vía terrestre por la carretera Panamericana Sur: desde Lima (1145 km, 16 horas aproximadamente en auto, siguiendo una trayectoria de Norte a Sur), o desde Tacna (154 km, 1 hora y 30 minutos aproximadamente en auto, siguiendo una trayectoria de Sur a Norte); para el presente estudio se accedió vía aérea desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Arequipa, continuando el viaje por la carretera Panamericana Sur, siguiendo la ruta Arequipa – Ilo.



**SIMBOLOGÍA**

●	Localidad común	□	Límite de distritos
●	Capital de distrito	—	Cauce permanente
■	Ciudad de Ilo	- - -	Cauce intermitente
✈	Aeropuerto	—	Cauce efímero
—	Asfaltado	■	Océano
—	Afirmado	<b>Estructural:</b>	
—	No afirmado	—	Falla
- - -	Trocha carrozable	—	Falla inversa
—	Ferrocarril	—	Lineamiento
□	Límite de la cuenca Ilo - Moquegua	—	Rumbo y buzamiento de fracturas
□	Límite de subcuencas		

<b>Distritos:</b>	
■	Distrito de el Algarrobal
■	Distrito de Ilo

**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

ACTIVIDAD: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

**MAPA DE UBICACIÓN**      **FIGURA:**

Escala: 1/100 000 Datum: UTM WGS 84 Zona 19 Sur  
 Versión digital : Año 2022 Impreso: Enero 2023

**01**

Figura N° 01: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

#### 1.4. CLIMA Y ECOLOGÍA

El clima y la biodiversidad en el Perú están condicionados por varios factores, haciendo de este un territorio con múltiples y complejas características climatológicas y ecológicas. Para la zona Sur del Perú, existen tres factores que determinan las características: La Latitud (cercanía a la línea ecuatorial), la Cordillera de los Andes y la Corriente de Humboldt (o Corriente Peruana).

La clasificación de las zonas de vida propuesta por el Dr. Leslie R. Holdridge y sus colaboradores definen en forma cuantitativa la relación del orden natural de los factores del clima y la vegetación, estos factores son independientes y dependientes. Los factores **independientes** comprenden 3 componentes climáticos fundamentales: la biotemperatura, la precipitación y la humedad ambiental. Los factores **dependientes** o factores bióticos son los subordinados a la acción directa del clima de cualquier parte del mundo. En la zona de estudio, de acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge, se encuentran 04 unidades ecológicas (Cuadro N° 01), las cuales se han representado en un Mapa Ecológico (Figura N° 02), que se describen a continuación.

Cuadro N° 01: Unidades Ecológicas que se encuentran en el área de estudio, de acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge. Fuente: Inrena, 1976 y 1995.

UNIDADES ECOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO		
N°	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
1	ds-Tc	Desierto superárido templado cálido
2	dp-Tc	Desierto perárido templado cálido
3	md-Tc	Matorral desértico templado cálido
4	dd-Tc	Desierto desecado templado cálido

➤ Desierto superárido templado cálido (ds-Tc)

Esta unidad ecológica se presenta en los alrededores de la ciudad de Ilo, se caracteriza por llegar a 350 m. s. n. m; su relieve es ligeramente plano hasta el extremo inferior de la cadena costanera; en esta unidad ecológica la biotemperatura media anual máxima varía entre 12 °C y 18 °C y el promedio mínimo de precipitación total anual es de 3.4 mm; según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 16 y 32 veces el valor de la precipitación; por tanto, se ubica en la provincia de humedad superárido.

➤ Desierto perárido templado cálido (dp-Tc)

Esta unidad ecológica abarca desde el sector de Sacramento hasta Santo Domingo en el piso del valle de Ilo, extendiéndose paralelamente a la Costa, ocupando alturas que van hasta los 1300 m. s. n. m. en el cerro Montón de Trigo. El relieve es accidentado y presenta pendientes mayores al 70 %, y según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 8 y 16 veces el valor de la precipitación; por tanto, se ubica en la provincia de humedad perárido.

➤ Matorral desértico templado cálido (md-Tc)

Constituye dos áreas ligeramente rodeadas por la unidad anteriormente descrita, y separadas por el río Ilo, la primera zona abarca desde el cerro Zaparito hasta la quebrada de las Cherras (hasta 1300 m. s. n. m.) y desde el cerro Loreto hasta la pampa Mesa Grande (máxima de 900 m. s. n. m.).

El relieve constituye las partes más altas y accidentadas de la cadena de la costa. Según el diagrama de Holdridge, la evapotranspiración potencial total por año varía entre 4 y 8 veces el valor de la precipitación; por lo tanto, se ubica en la provincia de humedad árido.

➤ Desierto desecado templado cálido (dd-Tc)

Constituye un área parecida a la planicie costanera, de relieve plano con pequeñas colinas y laderas (como el cerro Chololo, Alto Terrones y Homo). Según el diagrama de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año es mayor a 64 veces el valor de la precipitación; por lo tanto, se ubica en la provincia de humedad desecado.

## 1.5. HIDROLOGÍA

La ciudad de Ilo, por su ubicación costera, se encuentra en una zona árida y desértica, con escasa precipitación y déficit de aguas superficiales por la variación temporal del río Ilo, por lo que afronta una limitación del abastecimiento del recurso hídrico; por consiguiente, el río Ilo, conocido también como río Osmore o Moquegua, juega un papel importante por ser el principal abastecedor de agua para la agricultura local, dando origen en su desembocadura al valle del mismo nombre; Fotografía N° 14.



Fotografía N° 14: Vista del valle de Ilo, en el sector de la desembocadura del río principal, nótese la pequeña vegetación y agricultura local.

Para esta actividad agrícola se suma a la cuenca, los aportes de agua por parte del Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG), que es una obra de infraestructura hidráulica en la cuenca del río Ilo - Moquegua, esto permitió a los pobladores del valle de Ilo, hacer uso de las aguas superficiales para el regadío de sus áreas agrícolas, estos aportes e irrigaciones, que generan el aumento de las infiltraciones del agua superficial del río Ilo, permiten la recarga del acuífero poroso no consolidado de piso de valle, dentro del área de estudio.

Otra fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Ilo, es la captación y conducción de las aguas de la cuenca del río Locumba, sector de Ite. Toda el agua captada para el distrito de Ilo, se destina para las actividades agrícolas, población, minería, industria y pecuario; siendo el sector agrícola la actividad que demanda mayor consumo de agua, seguido del sector minero.

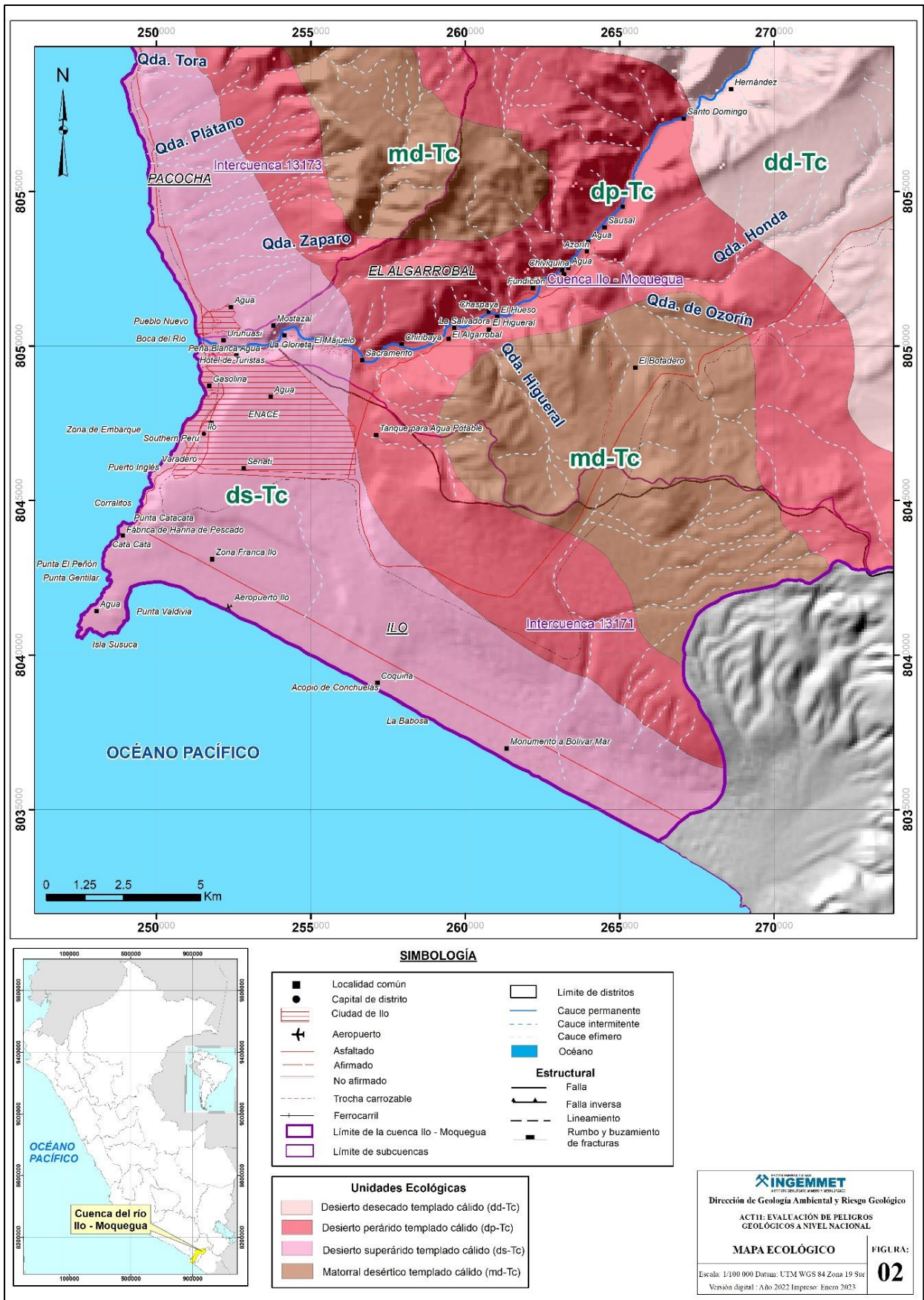


Figura N° 02: Mapa ecológico, ubicación de las unidades ecológicas de acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge.

## 1.6. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente informe, se inició con una primera etapa de gabinete, donde se realizó la recopilación bibliográfica de estudios anteriores, como informes técnicos, planos base, elaboración de red de muestreo, registro de estudios geofísicos como sondajes eléctricos verticales (SEV) o tomografía eléctrica entre otros; esta recopilación es previa a los trabajos de campo.

Luego se desarrolló los trabajos de campo, donde primeramente se realizó una inspección técnica a manera de reconocimiento del área de estudio incluyendo reuniones previas con las autoridades respectivas; Fotografías N° 15 y 16.



Fotografía N° 15: Reuniones de coordinación con las autoridades en la municipalidad de Ilo.



Fotografías N° 16: Visita conjunta a las viviendas y zonas afectadas (Inspección Técnica).



Seguidamente se procedió con los trabajos de campo propiamente dicho, recolectando los datos hidrogeológicos, de acuerdo a nuestros objetivos: El cartografiado hidrogeológico, inventario de las fuentes de agua, con el registro de sus parámetros fisicoquímicos más importantes (conductividad eléctrica, pH, TDS, temperatura), se tomaron muestras de cada fuente trabajada, para su respectivo análisis químico por el método ICP Masa óptico, lo que nos ha permitido conocer las características hidroquímicas. Se realizó la medida de aforos para un control del río principal, ensayos de infiltración puntual en los afloramientos rocosos y materiales no consolidados para conocer los valores de permeabilidad superficial de las formaciones geológicas.

Finalmente, una etapa de gabinete donde se desarrolló el procesamiento e interpretación de la información recopilada, plasmada sobre mapas temáticos y elaboración del informe técnico final.

### **1.7. EQUIPO DE TRABAJO**

El presente informe fue elaborado por el ingeniero geólogo, especialista en hidrogeología, Jose Luis Moreno Herrera, los trabajos de campo conto con el apoyo del ingeniero Josemanuel Fernando Carpio Fernández, ambos profesionales pertenecientes a la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, los análisis de las muestras de agua se realizaron en el laboratorio de INGEMMET.

Agradecemos a todas las instituciones públicas y privadas, que colaboraron en el momento de las inspecciones, al proporcionar datos respecto al tema; así mismo, su apoyo logístico para cumplir los objetivos de los mismos; y a las personas interesadas y vecinos que nos dieron las facilidades para acceder a los puntos de trabajo.

## II. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El presente ítem se elaboró, tomando como base el boletín, “Hidrogeología de la cuenca del río Ilo - Moquegua”, Ng, W. Peña, F. Acosta, H; (INGEMMET). Las condiciones geológicas y el relieve dentro del área de estudio, son singulares, con características especiales que interactúan de forma variada con las aguas subterráneas. En el valle de Ilo la presencia de depósitos aluviales forma acuíferos porosos no consolidados poco profundos y están relacionados al escurrimiento de las aguas del río Ilo.

### 2.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Extraído del boletín Peligro Geológico en la región Moquegua, la configuración geomorfológica del área de estudio está relacionada con los procesos geológicos, el relieve y la variedad de microclimas asociados a su territorio. El origen de estos ambientes geomorfológicos está muy ligado al proceso del levantamiento andino (profundización y ensanchamiento de valles), asociado a eventos de glaciación y deglaciación, procesos de movimientos en masa, etc. (Figura N° 03); las unidades geomorfológicas agrupadas según su origen son:

#### 2.1.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO - DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

- **Unidad de montañas y colinas**

Conformada entre relieves de montañas y colinas, litológicamente están constituidas por rocas intrusiva de la super unidad Ilo y Punta Coles, Generalmente son áreas recurrentemente concentradas de extensiones regulares. Normalmente presentan erosión en cárcavas en sus laderas.

- Relieve montañoso en roca intrusiva (RM-ri)

Cadena montañosa conformada por laderas y crestas de topografía abrupta, geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas, derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos (huaicos). El drenaje característico es de tipo dendrítico rectangular por la presencia de fracturas o diaclasas; presenta valles profundos en forma de V.

- Montaña y colina en roca intrusiva (RMC-ri)

Relieves conformados por conjunto de montañas y colinas con superficie moderadamente abrupta. Litológicamente están conformados por rocas granodioríticas hornbléndicas de la Super Unidad Ilo y diorita hornbléndica de la Super Unidad Punta Coles.

- Montaña y colina en roca volcánica (RMC-rv)

Subunidad de superficie moderadamente abrupta, presenta cárcavas en sus laderas.

- Ladera de montaña en roca intrusiva (LM-ri)

Relieves con erosión de laderas (cárcavas), dispuestos por depósitos de bloques, material detrítica suelta propensa a movimiento en masa. Modelada por dioritas hornbléndicas de la Superunidad Punta Coles y granodioritas hornbléndicas de la Superunidad Ilo.

- **Unidad de colinas y lomadas**

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, conforman alineamientos tipo serranías de carácter denudativo y volcánico, litológicamente se asocian a rocas de tipo intrusivo, volcánico, volcánico-sedimentario y sedimentario, se diferenciaron las siguientes subunidades:

- Relieve de colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri)

Son aquellos relieves que presentan una superficie ligeramente abrupta, en su gran mayoría están limitadas por unidades deposicionales, principalmente en la zona costera o cerca del litoral, con desniveles de hasta 300 m. Presentan formas subredondeadas y pendientes moderadas, por lo que no es frecuente en ellas la ocurrencia de deslizamientos, salvo procesos de erosión. Esta unidad es susceptible a la ocurrencia de erosión de laderas, derrumbes y caída de rocas, siendo esta última principalmente por causa del factor antrópico (cortes de talud inadecuados).

- Relieve de colinas y lomadas en rocas sedimentarias (RCL-rs)

Relieves suaves y moderada pendiente (5° - 15° y 15° - 25°) y desniveles de hasta 300 m, exhibe surcos de erosión y un sistema dendrítico de drenaje, geodinámicamente se encuentran asociados a derrumbes, erosión en cárcavas y huaicos.

- Relieve de colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv)

Geoformas de este tipo corresponden a afloramientos de rocas volcánicas, geodinámicamente asociados a caída de rocas, derrumbes, huaicos y erosión de laderas.

- Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánico-sedimentarias (RCL-rvs)

Terrenos moderadamente abruptos con laderas erosionadas (cárcavas), de formas subredondeadas, cubiertos por delgadas capas de material eólico, recurrente en aquellas subunidades aledañas al litoral.

## 2.1.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSICIONAL Y AGRADACIONAL

- **Unidad de piedemonte**

- Abanico de piedemonte (Ab)

Material clástico depositado en forma de abanico, generalmente de poca pendiente o moderada; se ubican debajo del canal de desfogue de una cuenca, sobre esta superficie suelen generarse cárcavas o lechos menores de ríos.

- Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Planicie inclinada al pie de un sistema montañoso de cualquier dimensión conformada por acumulación de material muy heterogéneo; está constituida por bloques, cantos, arenas, limos y arcillas (Cuaternario). Formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional.

➤ Vertiente o Piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Compuesta por material heterométrico, posicionada al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Estos depósitos se originan del transporte torrencial de los materiales provocados por lluvias de carácter excepcional o fenómeno El Niño, dejando una expresión de surcos o canales en el trayecto del evento. Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas.

➤ Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial que están interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Estos se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles. Los depósitos coluviales son depósitos inconsolidados (bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea) acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos de edad reciente. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Los depósitos deluviales están formados por capas de suelo fino y arcillas arenosas, con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, que se depositan y cubren las laderas de los cerros, con taludes suaves a moderados.

• **Unidad de planicies, depresiones y otros**

Están asociadas a depósitos aluviales, aluviales antiguos limitados por la faja litoral, mantos de arena, terrazas y valles; están sujetas a modificaciones físicas constantes o recurrentes, desarrolladas normalmente en la faja costera.

➤ Faja o borde litoral, playas y acantilados (F-l)

El borde litoral es una faja delgada que se debe al nivel que tiene el mar hoy en día. Esta subunidad también está caracterizada por la presencia de playas y acantilados.

Las playas son el resultado de la deposición de material detrítico transportado por el mar, aunque la fracción predominante suelen ser las arenas finas en terrenos casi planos, que formaron parte de la superficie marina y que en la actualidad se hallan emergentes producto del levantamiento tectónico o por el descenso del mar. Se originan por la acumulación de sedimentos transportados en parte por las corrientes fluviales que desembocan en el océano, como aquellos originados por la erosión o abrasión marina y eólica. Los acantilados constituyen el modelado característico de erosión y sedimentación marina. Las olas y corrientes marinas socavan la base de las riberas o litoral, lo que puede generar caída de rocas, derrumbes o deslizamiento de bloques rocosos.

➤ Llanura o planicie inundable (PI-i)

Son superficies bajas, con pendientes suaves adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales en máximas avenidas. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuestos por material no consolidado, removible; (Fotografía N° 17).



Fotografía N° 17: Desembocadura del río Ilo, mostrando parte principal del acuífero poroso no consolidado, se observa la expansión de la llanura o planicie del valle de Ilo.

➤ Mantos de arena (M-a)

Se trata de extensos depósitos de arena eólica en llanuras con pendiente que oscilan entre 0 y 15 %. Cubren, por lo general, antiguas formaciones aluviales y marinas, así como colinas y lomadas con substrato. Estas acumulaciones son actualmente activas; es decir, que sus partículas superficiales están en constante remoción y arrastre lento en dirección al interior del continente. Proceden de antiguos trenes de dunas móviles que, posteriormente, fueron degradados. Preferentemente se localizan aledañas al litoral y suelen tener permanencia durante varios años, característicos de ambientes desérticos.

➤ Terraza indiferenciada (T-i)

Están relacionadas a tramos de cauce principal o tributario, angostos; estos valles tienen la forma típica “V”, en general, están conformados por conglomerados, arenas y limos. Se presentan procesos como derrumbes y deslizamientos; una de las causas principales es el proceso de erosión fluvial.

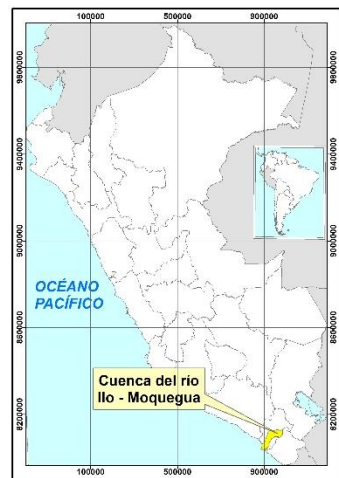
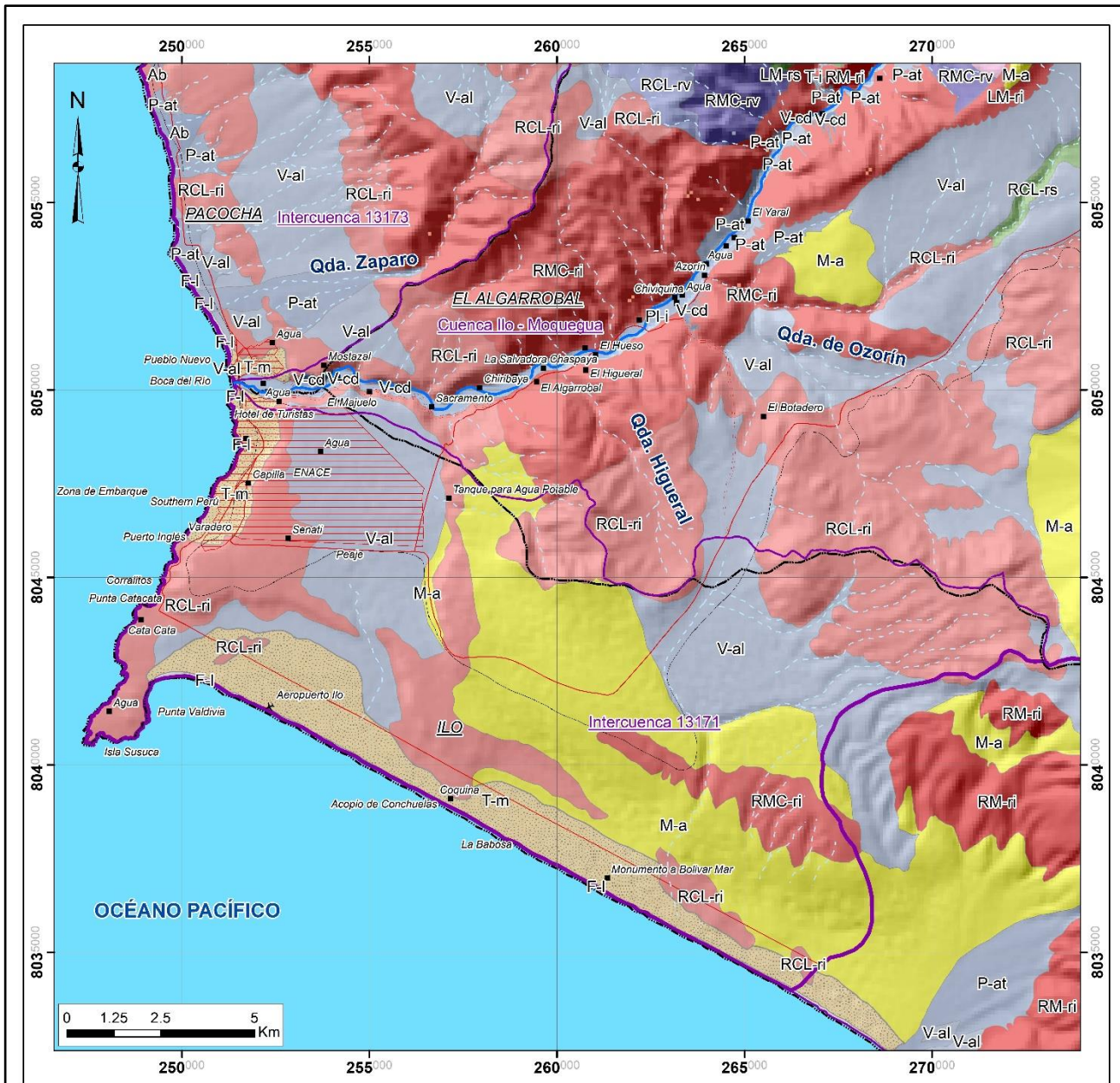
➤ Terraza marina (T-m)

Las terrazas marinas son superficies suavemente tendidas hacia el mar, que se forman por el proceso de abrasión marina y por procesos de levantamiento y hundimiento de las costas; dan lugar a la presencia de terrazas en el frente litoral, en las costas de levantamiento o terrazas sumergidas en las costas de hundimiento (Dávila, 1999). Las terrazas marinas confirman la existencia de numerosos cambios del nivel medio del mar a lo largo del Cuaternario; así como, la deformación de los continentes. En la zona de estudio, se encuentran formando dos terrazas alrededor del puerto de Ilo: La terraza más alta y, a la vez más antigua, se ubica a 120 m.s.n.m; forma una extensa superficie suavemente inclinada hacia el oeste, por donde pasa la carretera a Ilo que se antepone a la Pampa Inalámbrica. Está conformada por conglomerados gruesos medianamente compactos a muy compactados cementados con sal y costras de yeso, lentes de arena fina y arena gruesa con abundantes restos de conchas y venillas yeso. La segunda terraza se extiende entre la Punta Coles y la quebrada Huaca Luna, con una longitud de 22 km y un ancho variable entre los 0.5 y 2.1 km. Su altura varía entre los 15 m.s.n.m. a 50 m.s.n.m.

Es conocida con el nombre de Pampa El Palo y constituye una superficie de suave gradiente. Está conformada por conglomerados, arena gruesa con fragmentos de conchuelas, bancos de coquina y lentes de arenas; (Fotografía N° 18).



Fotografía N° 18: Vista de la parte costera de la ciudad de Ilo, asentada sobre una de las terrazas marinas, (entre los 15 m.s.n.m. a 50 m.s.n.m.); la foto es tomada desde una segunda terraza superior donde continúa expandiéndose la ciudad de Ilo.



LEYENDA GEOMORFOLÓGICA		
GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL		
UNIDAD	SUBUNIDAD	SÍMBOLO
Montañas y Colinas	Relieve de montaña en roca intrusiva	RM-ri
	Relieve de montaña y colina en roca intrusiva	RMC-ri
	Relieve de montaña y colina en roca volcánica	RMC-rv
	Ladera de montaña en roca intrusiva	LM-ri
Colinas y Lomadas	Relieve de colina y lomada en roca intrusiva	RCL-ri
	Relieve de colina y lomada en roca sedimentaria	RCL-rs
	Relieve de colina y lomada en roca volcánica	RCL-rv
	Relieve de colina y lomada en roca volcánico-sedimentaria	RCL-ns
GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL O AGRADACIONAL		
Piedemonte	Abanico de piedemonte	Ab
	Vertiente o piedemonte aluvial	V-al
	Vertiente o piedemonte aluvio-torrential	P-at
	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	V-cd
	Faja litoral, playas y acantilados	F-l
Planicies, Depresiones y otros	Llanura o planicie inundable	PH
	Mantos de arena	M-a
	Terraza indiferenciada	T-i
	Terraza marina	T-m

SIMBOLOGÍA	
■	Localidad común
●	Capital de distrito
□	Ciudad de Ilo
✈	Aeropuerto
—	Asfaltado
- - -	Afirmado
- · - · -	No afirmado
—+—	Trocha carrozable
—+—+—	Ferrocarril
—+—+—+—	Límite de la cuenca Ilo - Moquegua
—+—+—+—+—	Límite de subcuencas
—+—+—+—+—+—	Límite de distritos
—+—+—+—+—+—+—	Cauce permanente
—+—+—+—+—+—+—+—	Cauce intermitente
—+—+—+—+—+—+—+—+—	Cauce efímero
■	Océano

**INGEMMET**  
Instituto Geológico y Minero del Perú

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
ACTI: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL.

**MAPA GEOMORFOLÓGICO**      FIGURA: **03**

Escala: 1:100 000 Datum: UTM WGS 84 Zona 19 Sur  
Versión digital : Año 2022 Impreso: Enero 2023

Figura N° 03: Mapa Geomorfológico del área de estudio.

## 2.2. GEOLOGÍA – ESTRATIGRAFÍA

Describiremos las unidades geológicas por eras comenzando de las más antiguas: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico, finalmente mencionaremos a las rocas Intrusivas, (Figura N° 04).

### ➤ PALEOZOICO

En el mapa geológico, el **Grupo Ambo**, lo podemos ver en la parte Noreste, aflorando en una mínima extensión, se ubica en las proximidades de la intersección de la quebrada del río Osmore y la quebrada Guaneros. No se observa una relación en la base, se asume una discordancia con las rocas del basamento metamórfico de Arequipa; mientras que, en el tope, su relación con estas rocas corresponde a una discordancia muy marcada con rocas volcánicas de la base de la Formación Chocolate Inferior.

### ➤ MESOZOICO

De la misma manera que el Grupo Ambo, la **Formación Chocolate Inferior** (del Jurásico Inferior), aflora en pequeñas extensiones en el sector Noreste del mapa, alejados de la zona de interés del estudio; aflora principalmente en los alrededores de las quebradas de Osmore y Guaneros. Los derrames lávicos andesíticos de color verdoso o chocolate de la Formación Chocolate Inferior, se encuentran rodeados y atravesados por numerosos diques de granodiorita y dacita.

### ➤ CENOZOICO

El Grupo Moquegua (del Eoceno-Oligoceno) es descrito por Adams (1906) y Wilson & García (1962) como una serie de capas continentales que afloran típicamente en el valle de Moquegua. Luego Marocco *et al.* (1985) divide a este grupo en Miembro Inferior y Miembro Superior, mencionando que entre ellos existe una discordancia angular. En nuestra área de estudio aflora la **Formación Moquegua Superior** (igualmente con una extensión muy reducida, al Noreste del mapa), conformada por areniscas tobáceas, arcosas, limos, yesos, sal y diatomitas.

Seguidamente se tiene a la **Formación Millo** (del Mioceno), constituida por un conjunto de rocas sedimentarias y volcánicas retrabajadas, productos de la erosión, transporte de las rocas y procesos que ocurrían en la Cordillera Occidental durante ese periodo. En la zona de estudio, se extiende hasta la Cordillera de la Costa, lo que significa que estos sedimentos se depositaron en las pampas costaneras.

### ➤ CUATERNARIO

En la zona de estudio, los depósitos cuaternarios están representados principalmente por los depósitos aluviales, marinos y eólicos. Los **depósitos aluviales**, están estrictamente restringidos a las quebradas donde discurre agua de manera continua o extemporánea. Se encuentran como terrazas o superficies planas, a lo largo del río principal transportando material desde la Cordillera Occidental hacia las partes bajas de las Pampas Costaneras, produciendo erosión y deposición de materiales aluviales, Los **depósitos marinos**, se hallan paralelos al litoral, extendiéndose de Noroeste a Sureste; finalmente, los **depósitos eólicos**, se encuentran en las Pampas Costaneras y Cordillera de la Costa, originados por la acumulación preferente de arenas finas, transportadas por el viento; Fotografías N° 19, 20 y 21.





Fotografía N° 19: Depósitos aluviales, acumulación de arenas finas, medias, gruesas con bloques redondeados y subredondeados con niveles de limos y arcillas que se extienden a lo largo del valle de Ilo, formando terrazas aprovechadas para la vegetación.



Fotografía N° 20: Depósitos marinos, compuesto por gravas, arenas, bloques angulosos, subangulosos y redondeados de hasta 35 cm de diámetro; hacia la parte superior se observa acumulación de coquinas color blanquecino.



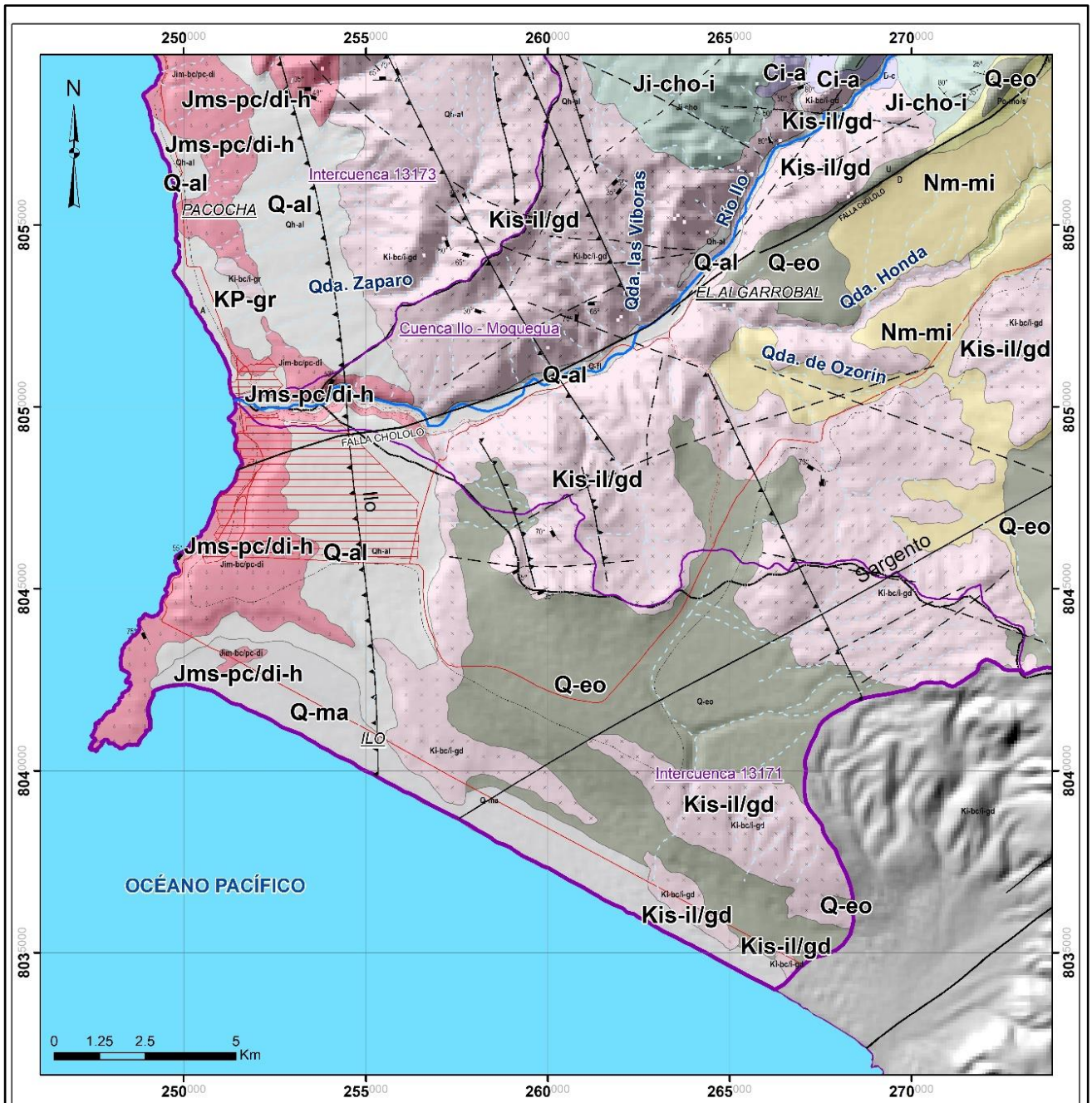
Fotografía N° 21: Depósitos eólicos, acumulación de arenas sueltas, trasportadas y depositadas por las brisas y vientos costeros formando dunas.

➤ ROCAS INTRUSIVAS

En la zona de estudio encontramos rocas que varían entre dioritas, granodioritas y granito. Estas corresponden indistintamente a las **superunidades Punta Coles e Ilo**; con edades del Jurásico Medio - Superior hasta el Cretácico Inferior - Superior, respectivamente. Las superunidades Punta Coles e Ilo, forman prácticamente la Cordillera de la Costa; afloran notablemente a ambas márgenes del río Ilo, extendiéndose lateralmente en dirección Noroeste y Sureste; Fotografía N° 22.



Fotografía N° 22: Rocas intrusivas, diorita horbléndica de la Super Unidad Punta Coles.



**LEYENDA - UNIDADES GEOLÓGICAS**

ERA	PERIODO	SERIE	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	ROCAS INTRUSIVAS
CUATERNARIO	Pleistoceno		Depósito Eólico	Q-eo	Antenas sueltas.	KP-gr Granito S.U. Ilo Granodiorita horblándica S.U. Puma Color Diosa horblándica
			Depósito Aluvial	Q-al	Gravos y arenas mal seleccionados en matriz limosa/arcillosa.	
			Depósito Marino	Q-ma	Arenas, conchinas y gravas.	
MIOCENO	Mioceno		Formación Mili	Nm-mi	Conglomerados poco consolidados con matriz arenosa.	
			Formación Moquegua superior	PN-mo-s	Conglomerados inconsolidados, areniscas tobáceas, arcillas, limos, yesos, sal y diatomitas.	
MESOZOICO	Cretácico	superior				
		inferior				
PALEOZOICO	Jurásico	superior				
		inferior	Formación Chacabuco inferior	Ji-cho-i	Lavas andesíticas color marrón rojizo.	
PALEOZOICO	Carbonífero		Gps. Ambo	Ca	Conglomerado basal, areniscas intercaladas con lutita y limolitas.	

**SIMBOLOGÍA**

	Ciudad de Ilo
	Asfaltado
	Afirmado
	No afirmado
	Trocha carrozable
	Ferrocarril
	Límite de la cuenca Ilo - Moquegua
	Límite de subcuencas
	Límite de distritos
	Cauce permanente
	Cauce intermitente
	Cauce efímero
	Océano

**SIMBOLOGÍA: Estructural**

	Falla
	Falla inversa
	Lineamiento
	Rumbo y buzamiento de fracturas



Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

ACTH: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA GEOLÓGICO

Escala: 1:100 000 Datum: UTM WGS 84 Zona 19 Sur  
Versión digital: Año 2022 Impreso: Enero 2023

FIGURA:

**04**

Figura N° 04: mapa geológico de la zona de estudio.

### 2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL (SISTEMAS DE FALLAS)

Dentro del área de estudio existen dos grandes Sistemas de Fallas, el Sistema de Fallas Transversales a la Cordillera (NE-SO) y el Sistema de Fallas Islay – Ilo (SFII). Lo resaltante de estas estructuras en el aspecto geomorfológico es que se comportan como límites de las unidades morfoestructurales; así mismo, condicionan el comportamiento de los flujos subterráneos (Figura N° 05).

#### ➤ SISTEMA DE FALLAS TRANSVERSALES A LA CORDILLERA (NE-SO)

La dirección promedio de estas estructuras, fallas y lineamientos se encuentran entre 40° y 60° en la dirección NO-SE, en la Figura N° 05, se aprecia que este Sistema de Fallas atraviesa perpendicularmente a la Cordillera de la Costa y las Pampas Costaneras, se observa que las quebradas principales y sobre todo la del río Ilo, se encuentran estrechamente ligadas a las fallas y lineamientos de este Sistema, al encontrarse en la misma dirección; por ejemplo, el lineamiento Carbonera parte desde la Costa, atravesando la Cordillera de la Costa con estructuras como la Falla Chololo, siguiendo a través de las Planicies Costaneras. Dentro de nuestra área de estudio, esta estructura, (Falla Chololo), particularmente la consideraremos de mayor importancia por su ubicación y misma dirección del río principal, condicionando el sistema de drenaje.

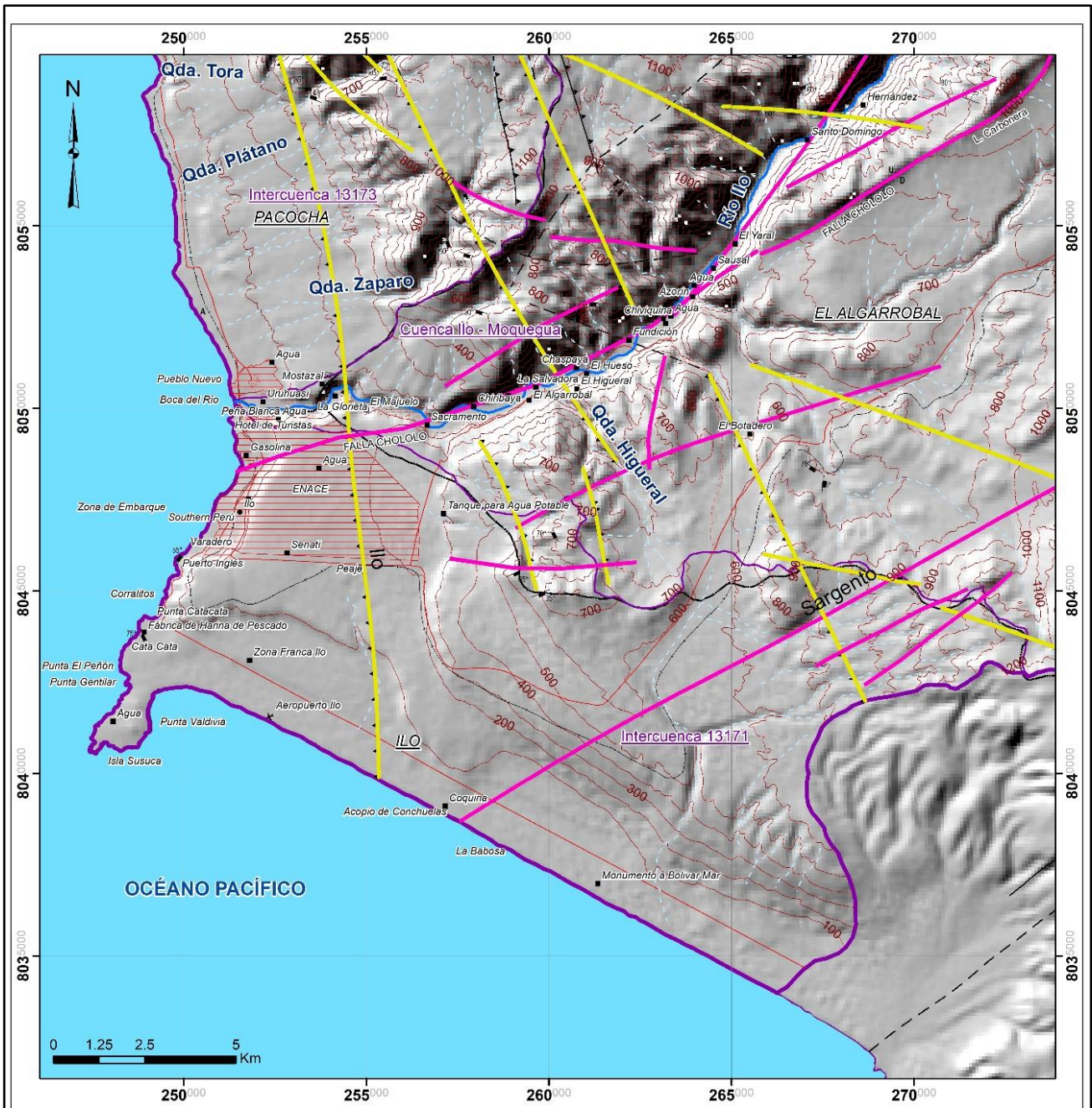
- FALLA ACTIVA DE CHOLOLO: Inferida del Informe Técnico N° A6459, “Falla activa de Chololo, provincia de Ilo, región de Moquegua”, C. Benavente; (dicho informe se puede consultar en el Anexo I). Esta Falla se ubica al Noreste de la península de Ilo y se extiende con una dirección N50°E a N60°E hasta el valle de Moquegua, abarcando una longitud aproximada de 40 km, sobre las Pampas Costeras. Afecta depósitos recientes (Holoceno); así como también, el sistema de drenaje, siendo estos desplazados con un movimiento transcurrente sinistral, evidencias que nos indica la actividad de la estructura geológica. La geometría y cinemática de la falla, sugiere que se trata de una falla normal con componente sinistral, presentando pliegues hacia su parte más oriental producto de acomodamiento por el movimiento de rumbo.

La Falla Chololo, por sus características estructurales, juega un papel importante en el comportamiento permeable de las rocas, producto de fracturamiento y fisuras que otorgarían la propiedad secundaria en determinados sectores de las rocas de las Súper Unidades Punta Coles e Ilo, consecuentemente estas propiedades de las rocas condicionarían las direcciones de los flujos subterráneos.

#### ➤ SISTEMA DE FALLAS ISLAY-ILO (SFII)

Se trata de una serie de fallas inversas con dirección promedio Noroeste-Sureste ubicadas únicamente en afloramientos antiguos de la Cordillera de la Costa. Se considera a este Sistema como el límite entre la Cordillera de la Costa y las Pampas Costaneras. Estas fallas sirvieron como zonas de debilidad para que a través de ellas se emplacen rocas volcánicas de la Formación Chocolate y rocas intrusivas de las Súper Unidades Punta Coles e Ilo. Estas fallas son muy antiguas y no están activas.

La falla representativa de este Sistema es la Falla Ilo, se presenta en la margen costera de la ciudad de Ilo, esta falla se extiende desde la playa El Palo, atravesando por la parte Noreste de la ciudad de Ilo y el poblado de Pacocha, es de tipo inversa y tiene un rumbo aproximado NNO-SSE con buzamiento de 26° O. Estas estructuras, en la evolución del valle de Ilo, también condicionaron el sistema de drenaje.



**SIMBOLOGÍA**

■	Localidad común	□	Límite de distritos
●	Capital de distrito	—	Cauce permanente
■	Ciudad de Ilo	- - -	Cauce intermitente
✈	Aeropuerto	- - -	Cauce efímero
—	Asfaltado	■	Océano
—	Afirmado	<b>Estructural</b>	
—	No afirmado	—	Falla
- - -	Trocha carrozable	↖	Falla inversa
—	Ferrocarril	—	Lineamiento
□	Límite de la cuenca Ilo - Moquegua	↗	Rumbo y buzamiento de fracturas
□	Límite de subcuencas		

**SISTEMA DE FALLAS**

- Sistema de fallas transversales a la Cordillera (NE-SO)
- Sistema de fallas Isla-Ilo (SFII)

**INGEMMET**  
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y PETROLERO

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

ACTI: EVALUACION DE PELIGROS GEOLOGICOS A NIVEL NACIONAL

---

**MAPA ESTRUCTURAL**      **FIGURA:**

**05**

Escala: 1:100 000 Datum: UTM WGS 84 Zona 19 Sur  
Versión digital : Año 2022 Impreso: Enero 2023

Figura N° 05: Mapa Estructural de la zona de estudio.

### III. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

#### 3.1. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Dentro de la clasificación de las formaciones geológicas, las nombramos como unidad hidrogeológica (acuífero, acuitardo, acuícludo y acuífugo), previa evaluación de las propiedades de almacenar y transmitir aguas subterráneas sobre dicha formación geológica, estas propiedades se les conoce también como parámetros hidrogeológicos.

La propiedad de una roca para almacenar agua se mide a partir del coeficiente de almacenamiento o porosidad eficaz, mientras que el movimiento del agua a través de las rocas se mide calculando el coeficiente de permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica. Existen otros parámetros hidrogeológicos, como la transmisibilidad, gradiente hidráulico, velocidad real, piezometría y factores de flujo de las aguas subterráneas; los cuales se encuentran vinculados a las características físicas de la roca almacén y son diferentes para cada acuífero, en este estudio se calculó el coeficiente de permeabilidad a través de los ensayos de infiltración.

En acuíferos fisurados (con porosidad secundaria), la dirección de flujo es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas y fallas. Estas estructuras generan condiciones para aumentar o disminuir las propiedades de percolación del agua subterránea, actuando en algunos casos con alta permeabilidad cuando las grietas se encuentren abiertas y en otros con bajísima permeabilidad cuando las grietas se encuentren cerradas.

En acuíferos porosos no consolidados, los materiales sueltos, con espacios vacíos, generan condiciones de percolación, aunque por sectores se encuentran limitados por la presencia de bancos de arcilla y limos, que actuarían limitando la permeabilidad.

Para poder realizar la caracterización hidrogeológica de la zona de estudio se consideró las características litológicas de las formaciones geológicas y el análisis de los ensayos de infiltración para conocer la permeabilidad del suelo y roca.

Existen trabajos de investigación realizados por diferentes autores que permitieron obtener rangos de los valores de permeabilidad en diferentes unidades (m/día, cm/s, entre otras), que se clasificaron cualitativamente y se relacionaron con la clasificación hidrogeológica de rocas y suelos (Cuadros N° 02, 03 y 04).

Cuadro N° 02: Clasificación hidrogeológica según los valores de conductividad hidráulica (K, en m/día) - Fuente: Mapa Hidrogeológico de Cataluña (2010)

Barrera hidráulica			<i>Mal aqüífer</i>				<i>Bon aqüífer</i>			
10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>+1</sup>	10 <sup>+2</sup>	10 <sup>+3</sup>	10 <sup>+4</sup>
MB		B		Mo		M		A		MA
K < 10 <sup>-4</sup>		10 <sup>-4</sup> < K < 10 <sup>-2</sup>		10 <sup>-2</sup> < K < 10 <sup>0</sup>		1 < K < 50		50 < K < 500		K > 500

MB = muy baja, B = baja, Mo = moderada, M = mediana, A = alta, MA = muy alta

Cuadro N° 03: Clasificación hidrogeológica según los valores de conductividad hidráulica (K) - Fuente: Custodio & Llamas (1996)

Rango de K (m/d)	10 <sup>-7</sup>	3x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-2</sup>	5x10 <sup>0</sup>	4x10 <sup>2</sup>	3x10 <sup>5</sup>
Clasificación	IMPERMEABLE	POCO PERMEABLE	ALGO PERMEABLE	PERMEABLE	MUY PERMEABLE	
Clasificación de la formación	ACUICLUDO	ACUITARDO	ACUÍFERO POBRE	ACUÍFERO REGULAR A BUENO	ACUÍFERO EXCELENTE	
Ejemplos	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo arenoso Limo Arcilla limosa	Arena fina Arena limosa Caliza fracturada	Arena limpia Grava y arena Arena fina	Grava limpia	

Cuadro N° 04: Clasificación hidrogeológica según los valores de conductividad hidráulica (K) - Fuente: Benítez, 1963)

Valores (m/día)	Permeabilidad										
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
Clasificación hidrogeológica	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipos de material	Arcilla compacta Granito		Limoarenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia		

De acuerdo con los cuadros mostrados (02, 03 y 04), la clasificación de porosidad y la de conductividad hidráulica están más desarrolladas para materiales detríticos, dado que en rocas consolidadas las fracturas condicionan la presencia de estos parámetros (presentando rango de valores heterogéneos).

### ENSAYOS DE INFILTRACIÓN / CALCULO DE LA PERMEABILIDAD

La propiedad de un cuerpo o material de dejar pasar un fluido a través de él se denomina **permeabilidad (k)**, (permeabilidad intrínseca, específica, geométrica o coeficiente de permeabilidad), que depende del diámetro de las partículas y su coeficiente de forma (o sea, solamente de las características del medio).

Esta permeabilidad (**k**), comúnmente, se compara de forma cualitativa y depende del material que se evalúa, en el caso de rocas volcánicas, estas presentan características particulares, existen flujos de lava altamente afectados por fallas, fracturas y demás estructuras que condicionan las posibilidades de infiltración y circulación del agua y solo aparecen en lugares puntuales.

En el área de estudio, se calculó la tasa de infiltración mediante los ensayos del método directo o pruebas Lefranc. Este ensayo consiste en provocar una infiltración puntual de agua al subsuelo o roca, bajo una carga determinada, introduciendo un tubo de PVC (permeámetro) de diámetro fijo (2"); después de un tiempo (t), se mide el volumen de agua absorbida (descenso) en función de la carga hidráulica.

Los valores de conductividad hidráulica que se tiene con este tipo de ensayos varían con la heterogeneidad de la roca, la profundidad de penetración del tubo, el lugar específico (sobre suelo o afloramiento rocoso), el método aplicado (carga constante o variable), el número de ensayos efectuados y el método de tratamiento estadístico. A pesar de dichas variaciones, el ensayo es válido porque el valor de conductividad hidráulica de las formaciones geológicas no es un valor puntual, sino un rango de valores que caracteriza cada formación como se observa en los cuadros anteriormente mencionados.

Los ensayos de infiltración se realizaron bajo el método de carga constante (Figura N° 06), consiste en hacer pasar por el permeámetro de longitud “L”, un volumen de agua “Q”, en un tiempo “t”. Conociendo la altura de la carga de agua “h”, y la sección “A” (diámetro del tubo), el coeficiente de permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica “K”, se obtiene por la siguiente expresión (Castany, 1975):

$$K = \frac{QL}{At h}$$

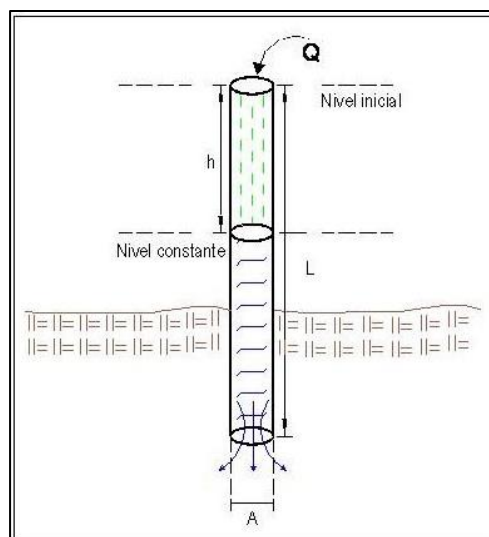


Figura N° 06: Esquema de ensayo de infiltración con carga constante.

En nuestra evaluación se realizaron 09 ensayos de infiltración, para conocer las condiciones de permeabilidad de los materiales litológicos in situ, cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 05, en el Anexo II, se muestra el procesamiento de cada ensayo de infiltración:

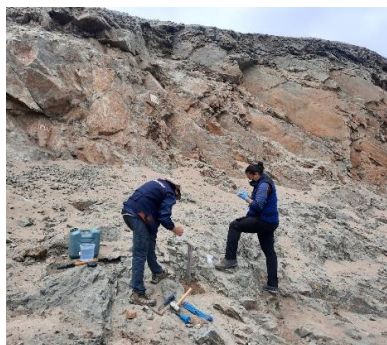
Cuadro N° 05: Resultados del procesamiento de los ensayos de infiltración realizados en el área de estudio

N°	Ensayo	Litología	Coordenadas UTM WGS-84			L (cm)	D (cm)	T (min)	K (m/d)
			N	E	Cota				
1	E-001	Deposito cuaternario: Marino (arenas, coquina y gravas)	8042884	251840	22	60	5.08	5	0.1345
2	E-002	Deposito cuaternario: Aluvial (Gravas arenas)	8045327	256696	233	60	5.08	5	0.1529
3	E-003	S.U. Punta Coles: Intrusiva (Diorita horbléndica), intensamente fracturado	8046070	251440	115	60	5.08	0	
4	E-004	S.U. Punta Coles: Intrusivo (Diorita horbléndica), fracturado	8049564	252729	114	60	5.08	1	0.0320
5	E-005	S.U. Ilo: Granodiorita horbléndica intensamente fracturado	8047450	257420	349	60	5.08	0	
6	E-006	Depósitos cuaternarios: Aluvial (Gravas, arenas blanquecinas)	8043864	254776	114	60	5.08	5	0.1657
7	E-007	S.U. Ilo: Intrusiva (Granodiorita horbléndica), intensamente fracturado	8049484	258080	116	60	5.08	5	0.2614
8	E-008	S.U. Punta Coles: Intrusivo (Diorita horbléndica fracturado)	8049745	251529	8	60	5.08	5	0.0383
9	E-009	S.U. Punta Coles: Intrusivo (Diorita horbléndica fracturado)	8045707	249930	19	60	5.08	5	0.0510

De acuerdo al Cuadro N° 05, observamos los datos de los ensayos de infiltración, se puede interpretar que en la zona de estudio existen determinados sectores que presentan condiciones litológicas con mayor permeabilidad del terreno, para poder entender mejor este comportamiento de los flujos en los ensayos de infiltración, describiremos para cada caso:



Los ensayos E-004, E-008 y E-009, cuyos resultados de permeabilidad son 0.0320, 0.0383 y 0.0510 m/day respectivamente, en comparación con los rangos de permeabilidad de los cuadros antes mencionados, nos indica que presentan baja permeabilidad o sectores poco permeables, estos corresponden a rocas intrusivas, que se encuentran ligeramente fracturadas de la Súper Unidad Punta Coles, en los sectores donde se realizaron dichos ensayos a pesar de encontrarse ligeramente fracturadas, se observa que las grietas se encuentran cerradas; además de presentar mayores volúmenes de cuerpos masivos de la roca intrusivas (diorita horbléndica), generando que la infiltración de los flujos de agua al momento del ensayo sean mínimas, calificando estos sectores como rocas impermeables (acuitardos), Fotografías N° 23, 24 y 25:



Fotografía N° 23



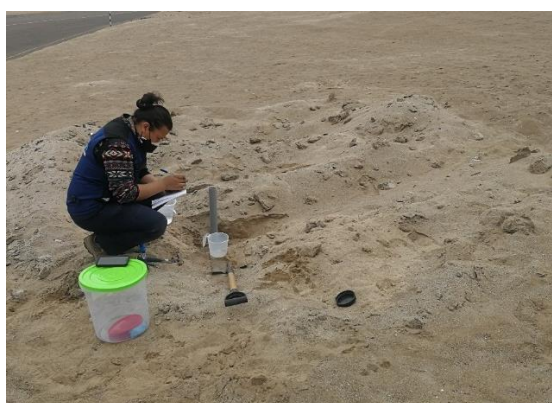
Fotografía N° 24



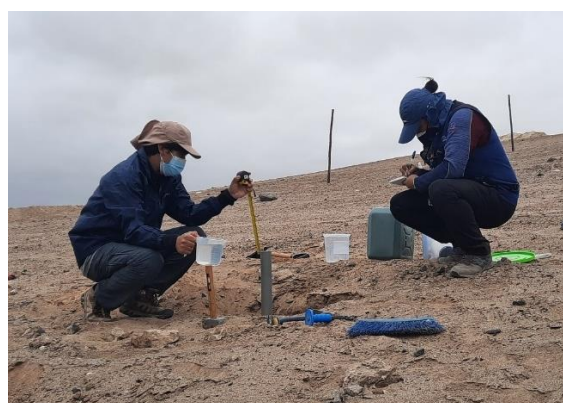
Fotografía N° 25

Fotografías N° 23, 24 y 25: Corresponden a los ensayos de infiltración: E-004, E-008 y E-009 respectivamente, sobre la Súper Unidad Punta Coles, sobre rocas dioritas horbléndicas fracturadas, presentando poca permeabilidad.

Los ensayos de infiltración E-001, E-002 y E-006, aumentan ligeramente el resultado de la permeabilidad, siendo sus valores de: 0.1345, 0.1529 y 0.1657 m/day respectivamente, esto se debe a que corresponden a depósitos cuaternarios, (marinos y aluviales), compuesto por gravas y arenas, con intercalaciones de estratos impermeables, debido a estas razones, por lo general adoptan el comportamiento de algo permeables, de poco interés hidrogeológico considerándolos acuíferos pobres. Fotografías N° 27, 28 y Figura N° 07.



Fotografía N° 27



Fotografía N° 28

Fotografías N° 27 y 28: Corresponden a los ensayos de infiltración: E-001 y E-006 respectivamente, sobre depósitos cuaternarios.



Figura N° 07: Corresponde al ensayo de infiltración E-002, nótese los diferentes niveles de estratos de arenas sueltas entre finos, medios y granos gruesos con grabas con cuerpos redondeados y subangulosos de hasta 15 cm de diámetro, y estratos de material limo arcilloso, que dan lugar a las barreras impermeables, en los círculos se observa el desarrollo del ensayo y la baja infiltración de la tasa de recarga por el tubo.

Los ensayos de infiltración E-003 y E-005; que, si bien es cierto, no se registraron datos debido a que los descensos del agua fueron en su totalidad, los mencionamos para dar a conocer que en estos sectores las infiltraciones son mayores.

Estos ensayos los analizamos de manera conjunta con el ensayo E-007, cuyo valor de permeabilidad resulto 0.2614 m/day, este último registro descensos de hasta 40 cm de altura; por consiguiente, podemos mencionar que estos 03 ensayos corresponden a sectores permeables, pero solo en sectores específicos de afloramientos donde las rocas intrusivas de las Súper Unidades Ilo (Granodiorita horbléndica) y Punta Coles (Diorita horbléndica) se encuentran intensamente fracturadas y fisuradas con grietas de hasta 2 cm de abertura; Figuras N° 08, 09 y 10.



Figura N° 08: Ensayos de infiltración E-003



Figura N° 09: Ensayos de infiltración E-005

Figuras N° 08 y 09: Se observan el desarrollo de los ensayos de infiltración E-003 y E-005 respectivamente, sobre rocas intrusivas de las súper unidades Punta Coles e Ilo respectivamente, que en estos sectores se observa que se encuentran fracturadas y fisuradas, con grietas abiertas; por los que, en estos ensayos, los volúmenes de agua se infiltraron en su totalidad.



Figura N° 10: Corresponde al ensayo de infiltración E-007, en la Súper Unidad Ilo, donde los descensos de la infiltración del agua llegaron a medir hasta 40 cm de altura, considerándolo como un sector permeable.

Por lo general, estas rocas intrusivas de las Super Unidades Ilo (Granodiorita horbléndica) y Punta Coles (Diorita horbléndica), están consideradas como acuitardos, debido a sus propiedades litológicas; sin embargo, en estos sectores donde se realizaron estos tres (03) ensayos de infiltración, nos da a conocer que existen zonas puntuales donde los flujos de agua se infiltra con facilidad y pueden discurrir en interior, (zonas permeables), se observó también que el grado de fracturamiento es mayor, por lo que las infiltraciones son mayores a través de las grietas y fisuras. Es posible que esta propiedad de las rocas, de presentar una porosidad secundaria (por fisuras), se de a consecuencia del comportamiento del sistema estructural en la zona de estudio.

Los sectores, donde se realizaron estos 03 ensayos (E-003, E-005 y E-007), las consideramos zonas permeables, por presentar las mayores infiltraciones y es probable que estén contribuyendo con la circulación y dirección de los flujos subterráneos; tal es el caso, del ensayo de infiltración E-003; que, en sus proximidades, afloran 05 manantiales, relativamente agrupados (13171-003, 13171-004, 13171-005, 13171-006 y 13171-014), y que son motivo de preocupación de la población. Cabe la posibilidad de que estas aguas estarían proviniendo del acuífero poroso no consolidado, cuya recarga directa es el río Ilo.

Estos datos de permeabilidad, junto con el inventario de fuentes de agua subterránea, contribuyen a la clasificación del mapa hidrogeológico; así mismo, se consideró el componente litológico como elemento principal para la caracterización.

### 3.2. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Para conocer las propiedades hidrogeológicas de las rocas y suelos dentro del área de estudio, se ha realizado una caracterización hidrogeológica tomando como base la litología, los puntos de la surgencia de aguas subterráneas, las condiciones de descarga y los ensayos de infiltración.

Estos parámetros nos han permitido establecer un mapa hidrogeológico, ayudados también de los cuadros anteriores (02, 03 y 04), se evalúa la capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas en las formaciones geológicas, diferenciándose 4 unidades hidrogeológicas:

- **Acuífero:** Formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea (permeable) en grandes cantidades, que puede ser aprovechada como recurso.
- **Acuitardo:** Formación geológica capaz de almacenar agua subterránea en su interior, pero que la transmite muy lentamente (semipermeable).
- **Acuicludo:** Formación geológica que almacena agua subterránea, pero no la transmite (impermeable).
- **Acuífugo:** Formación geológica que no almacena ni transmite agua subterránea (impermeable).

En nuestra zona de estudio solo se llegaron a identificar 02 unidades hidrogeológicas: los acuíferos y los acuitardos, se detalla en el siguiente Cuadro N° 06, donde se observa además los rangos de la conductividad hidráulica y porosidad, descrita por diferentes autores, de acuerdo a la descripción litológica, (Figura N° 11: Mapa hidrogeológico).

Cuadro N° 06: Caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas

FORMACIÓN GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	CONTROL ESTRUCTURAL	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (m/día)	POROSIDAD TOTAL (%)	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
Depósitos eólicos	Arena suelta	-	Arena <sup>(6)</sup> : 20	Arena <sup>(6)</sup> : 36	Acuífero poroso no consolidado
Depósitos aluviales	Gravas y arenas en matriz limoarcillosa semiconsolidadas	-	Grava <sup>(1,4)</sup> : 10 a 10 <sup>6</sup> , 10 <sup>2</sup> a 10 <sup>6</sup> Arena <sup>(1,4,6)</sup> : 0.01 a 10 <sup>3</sup> , 10 a 10 <sup>4</sup> , 0.5 a 20 Arcilla <sup>(1,4)</sup> : 10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-3</sup> , 10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-4</sup>	Grava <sup>(2,4)</sup> : 25 a 40 Arena <sup>(2,4,6)</sup> : 20 a 50, 30 a 40, 41 a 50 Arcilla <sup>(2,4,6)</sup> : 40 a 60, 45 a 60, 40 a 44	Acuífero poroso no consolidado
Depósitos marinos	Arena, coquina y gravas	-	Arena <sup>(1,4,6)</sup> : 0.01 a 10 <sup>3</sup> , 10 a 10 <sup>4</sup> , 0.5 a 20 Conglomerado <sup>(4)</sup> : 10 <sup>-4</sup> a 1	Arena <sup>(2,4,6)</sup> : 20 a 50, 30 a 40, 41 a 50 Conglomerado <sup>(4)</sup> : 5 a 25	Acuífero poroso no consolidado
Formación Millo	Conglomerados poco consolidados con matriz arenosa.	-	Conglomerado <sup>(4)</sup> : 10 <sup>-4</sup> a 1 Arenisca <sup>(1,4)</sup> : 3x10 <sup>-5</sup> a 1, 10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>2</sup>	Conglomerado <sup>(4)</sup> : 5 a 25 Arenisca <sup>(2,4,5)</sup> : 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25	Acuífero sedimentario
Formación Moquegua superior	Conglomerados inconsolidados, areniscas tobáceas. Arcosas, limos, yesos, sal y diatomita.	Poco compactado y fracturado	Conglomerado <sup>(4,7)</sup> : 10 <sup>-4</sup> a 1, 3,089 Limolita <sup>(1,4)</sup> : 10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup> , 10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>2</sup> Lutitas <sup>(1,4)</sup> : 10 <sup>-8</sup> a 10 <sup>-3</sup> , 10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>2</sup> Arenisca <sup>(1,4)</sup> : 3x10 <sup>-5</sup> a 1, 10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>2</sup>	Conglomerado <sup>(4)</sup> : 5 a 25 Limolitas <sup>(4)</sup> : 5 a 15 Lutita <sup>(2,4)</sup> : Intacta de 1 a 10 y fracturada de 30 a 50, 5 a 15 Arenisca <sup>(2,4,5)</sup> : 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25 Yeso <sup>(6)</sup> : 4	Acuífero sedimentario
Grupo Ambo	Conglomerado basal, areniscas intercaladas con lutita y limolitas.	Esporádicamente fracturado	Conglomerado <sup>(4)</sup> : 10 <sup>-4</sup> a 1 Arenisca <sup>(1,4)</sup> : 3x10 <sup>-5</sup> a 1, 10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>2</sup> Lutitas <sup>(1,4)</sup> : 10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup> , 10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>2</sup> Cuarcita <sup>(9)</sup> : 1.6x10 <sup>-6</sup>	Conglomerado <sup>(4)</sup> : 5 a 25 Arenisca <sup>(2,4,5)</sup> : 5 a 35, 5 a 20, 4 a 25 Lutitas <sup>(2,4)</sup> : Intacta de 1 a 10 y fracturada de 30 a 50, 5 a 15	Acuitardo sedimentario
Formación Chocolate Inferior	Lavas andesíticas color marrón rojizo.	Esporádicamente fracturado	Roca volcánica fracturada <sup>(1,3,4,7)</sup> : 0.1 a 10 <sup>6</sup> , 10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-5</sup> , 10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-2</sup> lavas andesíticas 0.12910 Calizas <sup>(1,4)</sup> : 10 <sup>-4</sup> a 1, 10 <sup>-2</sup> a 10	Lavas andesíticas <sup>(2,4)</sup> : 10 <sup>-2</sup> a 10, 10 <sup>-4</sup> a 50 Calizas <sup>(2,4,5)</sup> : 0.1 a 25, 1 a 10, 0.5 a 17	Acuitardo volcánico
S.U. Ilo	Granito y granodiorita horbléndica.	Afectado por fallas, Fracturado.	Sin fracturar <sup>(1)</sup> : 10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-5</sup> Fracturadas <sup>(1)</sup> : 10 <sup>-6</sup> a 25	Sin fracturar <sup>(2)</sup> : 0.01 a 1 Fracturadas <sup>(2)</sup> : 1 a 10	Acuitardo intrusivo
S.U. Punta Coles	Diorita horbléndica.	Afectado por fallas, Fracturado.	Sin fracturar <sup>(1)</sup> : 10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-5</sup> Fracturadas <sup>(1)</sup> : 10 <sup>-6</sup> a 25	Sin fracturar <sup>(2)</sup> : 0.01 a 1 Fracturadas <sup>(2)</sup> : 1 a 10	Acuitardo intrusivo

Fuente: Los valores de conductividad eléctrica y porosidad, son los resultados de diferentes autores (Sanders, 1998, Benítez, 1963, Gregory y Walling, 1985, Castany, 1963, Davies, 1969 y Peña & Ng 2012).

Seguidamente, describiremos cada unidad hidrogeológica, de acuerdo al cuadro N° 11.

## ACUÍFEROS

Según su litología, en la zona de estudio se llegó a clasificar dos (02) grupos; los acuíferos porosos no consolidados y acuíferos sedimentarios.

### ➤ Acuíferos porosos no consolidados

Conformados por los materiales que se encuentran rellenando los valles, la planicie costanera y los depósitos marinos. Son formaciones detríticas, no consolidadas, porosas y permeables, compuestas en su gran mayoría por depósitos recientes. En los depósitos aluviales, la litología predominante son gravas (de redondeada a subredondeada, y de angulosa a subangulosa) y arenas; las que, por sus propiedades permeables, facilitan la libre circulación y almacenamiento de aguas subterráneas en su interior. En estos depósitos también se encuentran sedimentos finos, a manera de horizontes limo arcillosos y esporádicos bancos de arcilla, que se comportan como estratos impermeables.

Cabe mencionar que, en el acuífero poroso no consolidado aluvial, cerca al sector donde se realizó el punto de aforo N° 04 (sector El Majuelo), se observó un pozo abandonado donde el nivel de agua se encuentra aproximadamente a 1.75 m de profundidad del nivel del suelo, esto nos indica que los niveles freáticos se encuentran a poca profundidad. El estado de este pozo constituye el ingreso potencial de agentes contaminantes que podrían degradar la calidad del agua subterránea (Fotografías N° 29 y 30).



Fotografías N° 29 y 30: Se observa un pozo abandonado en mal estado ubicado en el piso de valle (sector El Majuelo), muy cercano al punto de aforo N° 04, con un nivel del agua aproximadamente a 1.75 m de profundidad, indicando que los niveles freáticos se encuentran a poca profundidad.

Los acuíferos porosos no consolidados, conformados por los depósitos eólicos, están constituidos por arenas eólicas sueltas, gravas subredondeadas y arenas finas. Aunque presentan buenas condiciones de porosidad y permeabilidad, estos acuíferos son de escaso interés hidrogeológico porque no tienen una fuente de recarga directa debido a las escasas precipitaciones. El acuífero poroso no consolidado marino se encuentra en el litoral, conformada por arenas, coquinas y conglomerados, de la misma manera, no existe una recarga directa.

### ➤ Acuíferos Sedimentarios

Dentro de esta clasificación encontramos dos (02) formaciones: Formación Millo y Moquegua superior, ambas de naturaleza poco consolidadas. Estos materiales son productos de la erosión, transporte y deposición de rocas antiguas en cuencas sedimentarias.

- Acuífero Sedimentario Millo: La Formación Millo consiste de sedimentos poco consolidados, de matriz escasa, pero en ocasiones aparecen capas delgadas de areniscas arcósicas de grano grueso a muy grueso. Presentan una porosidad primaria considerable con ausencia de capas finas (materiales impermeables), por lo que se les consideraría de importancia para el almacenamiento de agua subterránea; sin embargo, por su ubicación geográfica y condiciones hidrometeorológicas (precipitación media total de 5 mm a 50 mm), no son favorecidas para su recarga natural.
- Acuífero Sedimentario Moquegua Superior: En nuestra zona de estudio, aflora en mínimas extensiones hacia el Noreste. De la misma manera, no existe recarga por lluvias (la precipitación anual es de 40 a 75 mm). Sus características moderadas de permeabilidad y porosidad nos permiten clasificarlo como acuífero sedimentario, de alto interés hidrogeológico, ya que presenta condiciones para efectuar propuestas de recarga artificial de acuíferos a partir de estudios más detallados.

## ACUITARDOS

Son materiales improductivos y semipermeables, en el área de estudio, se identificaron tres (03) unidades; El acuitardo sedimentario, representado únicamente por el Grupo Ambo, el acuitardos volcánicos, representado por la Formación Chocolate Inferior y finalmente los acuitardos intrusivos, conformados por las Super Unidades de Ilo y Punta Coles.

### ➤ Acuitardo Sedimentario Ambo

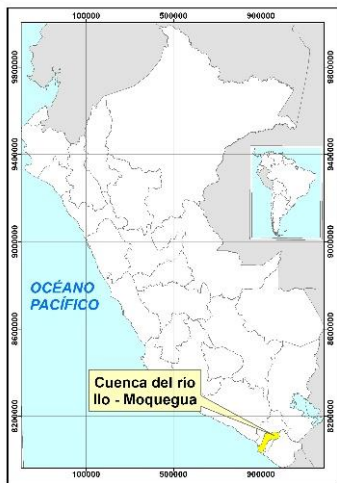
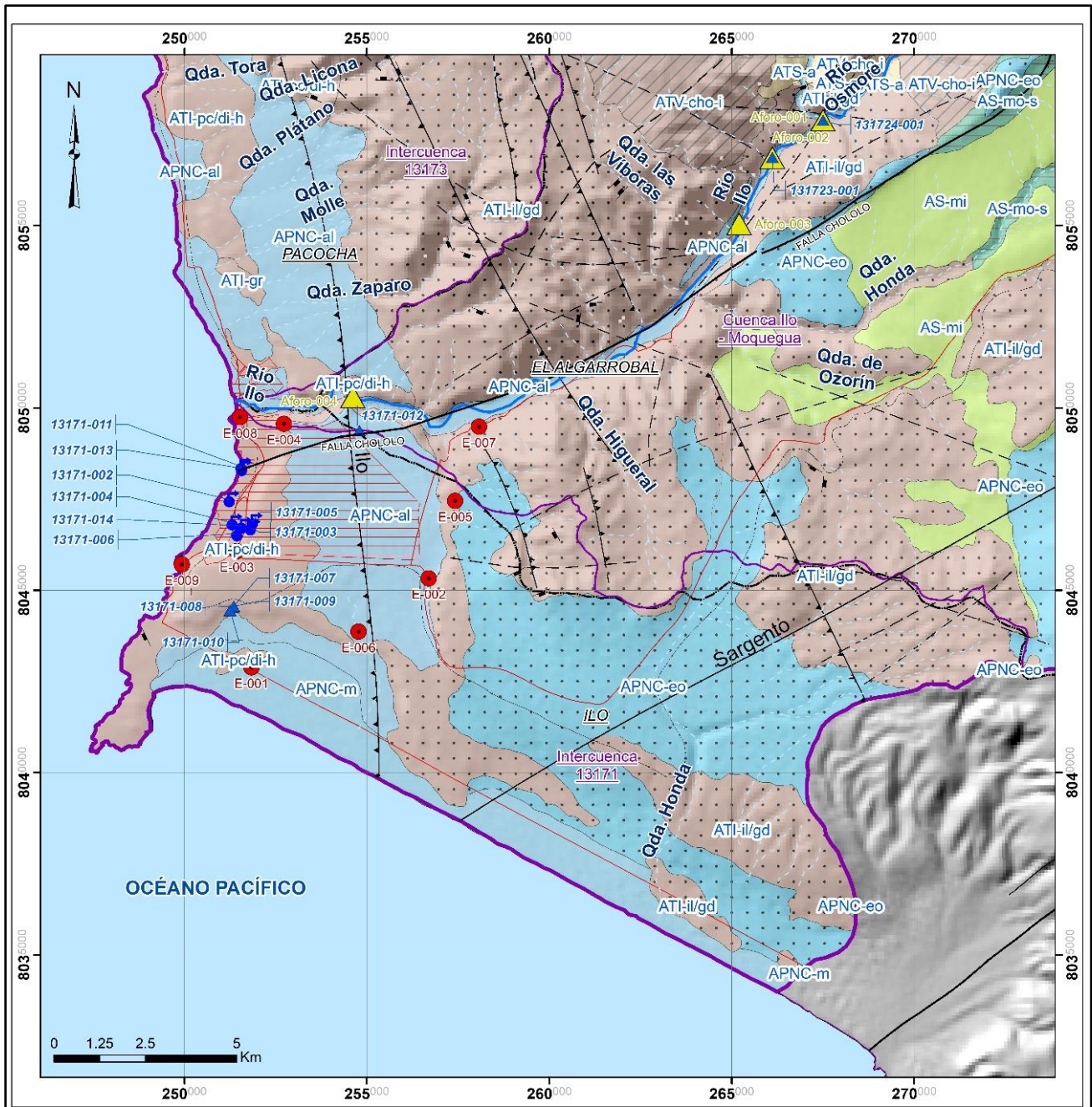
Esta unidad no es de interés hidrogeológico, aflora muy alejado de nuestra zona de evaluación, en una extensión muy reducida al Noreste, está conformada por rocas poco permeables de grano fino con esporádicas capas de arenisca.

### ➤ Acuitardo Volcánico Chocolate Inferior

En el mapa, aflora al Noreste, en los alrededores de la confluencia de la quebrada Guaneros y el río Ilo (alejada de nuestra zona de evaluación); Presentan moderada porosidad y escasas fracturas, cerradas, con características poco permeables y hasta impermeables, por estas razones no las consideramos de interés hidrogeológico.

### ➤ Acuitardos intrusivos

Estos acuitardos intrusivos están representados por las Super Unidades Ilo y Punta Coles, compuestos por granodiorita horbléndica y diorita horbléndica respectivamente, las manifestaciones de agua que brotaron (manantiales), surgen en la Super Unidad Punta Coles. Estas unidades, superficialmente se encuentran fracturadas y en ocasiones intemperizadas, lo cual genera el incremento de porosidad secundaria, producto del intemperismo y el tectonismo de la zona; sin embargo, en profundidad tienden a ser masivos y compactos; por consiguiente, el grado de fracturamiento va disminuyendo hasta desaparecer. Podemos indicar que estas fracturas y fisuras condicionan la circulación de los flujos subterráneos, dependiendo del grado de abertura en la que se encuentran; por consiguiente, existe solo sectores consideradas zonas permeables (grietas abiertas) y otras completamente impermeables (grietas cerradas), como se evidenció en los ensayos de infiltración.



**SIMBOLOGÍA**

- Ciudad de Ilo
- Asfaltado
- Afirmado
- No afirmado
- Trocha carrozable
- Ferrocarril
- Limite de la cuenca Ilo - Moquegua
- Limite de subcuencas
- Limite de distritos

**Estructural**

- Falla
- Falla inversa
- Lineamiento
- Rumbo y buzamiento de fracturas

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA / CLASIFICACIÓN	LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA
Depósito Edico	APNC-eo	Arenas sueltas.
Depósito Aluvial	APNC-al	Gravas y arenas mal seleccionadas en matriz limoarcillosa.
Depósito Marino	APNC-m	Arenas, coquina y gravas.
Fm. Millo	AS-mi	Conglomerados poco consolidados con matriz arenosa.
Fm. Moquegua superior	AS-mo-s	Conglomerados inconsolidados, areniscas tobáceas. Arcosas, limas, yesos, sal y diatomita.
Gpo. Ambo	ATS-a	Conglomerado basal, areniscas intercaladas con lutita y limolitas.
Fm. Chocolate Inferior	ATV-cho-l	Lavas andesíticas color marrón rajizo.
S.U. Ilo	ATI-gr	Granito
S.U. Punta Coles	ATI-il/gd	Granodiorita hornbléndica
S.U. Punta Coles	ATI-pc/di-h	Diorita hornbléndica

**Hidrogeología**

- Cauce permanente
- Cauce intermitente
- Cauce efímero
- Océano
- Mantamental
- Punto de Control
- Ensayos de Infiltración
- Puntos de aforo

**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y PETROLERO

**Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico**

ACTI: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

**MAPA HIDROGEOLÓGICO**      **FIGURA: 11**

Escala: 1:100 000 Datum: UTM WGS 84 Zona 19 Sur  
 Versión digital : Año 2022 Impreso: Enero 2023

Figura N° 11: Mapa hidrogeológico de la zona de estudio



### 3.3. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Un manantial es considerado como una manifestación natural de agua subterránea, que brota a superficie; por lo tanto, esta surgencia evidencia la presencia de flujos subterráneos a través de posibles acuíferos. Los manantiales se manifiestan a través de estructuras (fracturas, fallas, grietas, diaclasas), cambios de litología (de litología permeable a impermeable), o en lugares donde el nivel freático de un acuífero intercepta naturalmente a la superficie topográfica (condicionado por el relieve).

El inventario de fuentes de agua subterránea se realizó con el objetivo de determinar las zonas de descarga natural. Durante los trabajos de campo, se identificaron surgencias de agua subterránea que fluyen por debajo de las casas, que son motivo de preocupación de las autoridades y población, se contó con el apoyo de las autoridades involucradas y de los pobladores; Fotografía N° 31.



Fotografía N° 31: Visita a una obra en el sector Parque de la Familia, donde los brotes de agua se llegaron a canalizar a los sumideros principales de la ciudad.

Los trabajos de campo se realizaron del 05 al 16 de octubre del 2021, durante la campaña se levantó el registro de quince (15) fuentes de agua entre aguas superficiales y subterráneas, que corresponden a 7 puntos de control y 8 manantiales; Cuadro N° 07.

En las 15 fuentes trabajadas se realizó la toma de parámetros físicoquímicos (CE, TDS, temperatura, pH, oxígeno disuelto, resistividad, ORP y salinidad); así mismo, todas las fuentes se muestrearon para su respectivo análisis químico de aniones, metales disueltos y elementos traza por el método ICP Masa óptico lo que nos permitirá conocer las características hidroquímicas del agua; ver Anexo III (Base de datos general del Inventario de Fuentes, parámetros físicoquímicos y resultados químicos de las fuentes de agua).

Cuadro N° 07: Registro del Inventario de Fuentes de aguas superficiales y subterráneas.

N°	Código	Nombre	Tipo de Fuente	Norte	Este	Cota	Fecha	Hora
1	131724-001	Río Osmore 1	Punto de Control	8057889	267505	241	8/10/2021	10:05
2	131723-001	Río Osmore 2	Punto de Control	8056871	266117	215	8/10/2021	12:00
3	13171-002	Ortiz	Manantial	8047488	251229	16	8/10/2021	16:40
4	13171-003	Curva	Manantial	8046714	251813	119	9/10/2021	11:00
5	13171-004	Riel	Manantial	8046852	251314	34	10/10/2021	12:00
6	13171-005	Parque de la familia	Manantial	8046882	251864	123	11/10/2021	09:10
7	13171-006	Eva	Manantial	8046555	251443	55	11/10/2021	10:30
8	13171-007	Ite	Punto de Control	8044555	251351	105	12/10/2021	10:30
9	13171-008	Pasto grande	Punto de Control	8044555	251351	105	12/10/2021	10:50
10	13171-009	Mescla cruda	Punto de Control	8044555	251351	105	12/10/2021	11:15
11	13171-010	Cata Catas	Punto de Control	8044448	251252	92	12/10/2021	11:30
12	13171-011	Playa del diablo	Manantial	8048397	251558	5	12/10/2021	12:50
13	13171-012	Planta 2	Punto de Control	8049380	254796	189	13/10/2021	09:30
14	13171-013	Plaza Vea	Manantial	8048340	251570	10	13/10/2021	18:25
15	13171-014	Calicata	Manantial	8046762	251564	64	14/10/2021	09:15

En el Cuadro N° 07, se diferencian 02 tipos de fuentes, los puntos de control y manantiales. Los puntos de control corresponden a fuentes superficiales, estas se trabajaron para conocer de manera referencial y compararla los parámetros fisicoquímicos de las fuentes superficiales con las fuentes subterráneas, estas corresponden al río Osmore – Ilo (131724-001 y 131723-001) y las fuentes que abastecen de agua a las 02 plantas de tratamiento de agua potable para la ciudad de Ilo, corresponden a los puntos de control de Ite (13171-007), Pasto grande (13171-008), Mescla cruda (13171-009), Cata Catas (13171-010) y Planta 2 (13171-012).

El segundo tipo de fuentes corresponde a los manantiales, de mayor interés para el estudio, debido a que corresponden a los flujos subterráneos que brotaron a superficie, causando la preocupación de la población, estos puntos se les nombraron como se detalla: Ortiz de código 13171-002, Curva (13171-003), Riel (13171-004), Parque de la familia (13171-005), Eva (13171-006), Playa del diablo (13171-011), Plaza Vea (13171-013) y Calicata (13171-014).

Como se mencionó anteriormente, en el ítem que describe los ensayos de infiltración, existen zonas afectadas por fisuras que condicionan las circulaciones de los flujos subterráneos, estas características permeables de las rocas se evidencian solo en ciertos sectores. Es por estas fisuras abiertas, que los flujos de agua subterránea circulan de manera dinámica, expandiéndose y saturando el acuífero poroso no consolidado, esta dinámica de los flujos subterráneos puede estar generando erosiones y arrastrando sedimentos finos (arenas finas), generando vacíos en el interior de los suelos, causando el asentamiento del terreno; Fotografías N° 32 y 33.



Fotografía N° 32: Casa afectada por un hundimiento en la entrada principal.



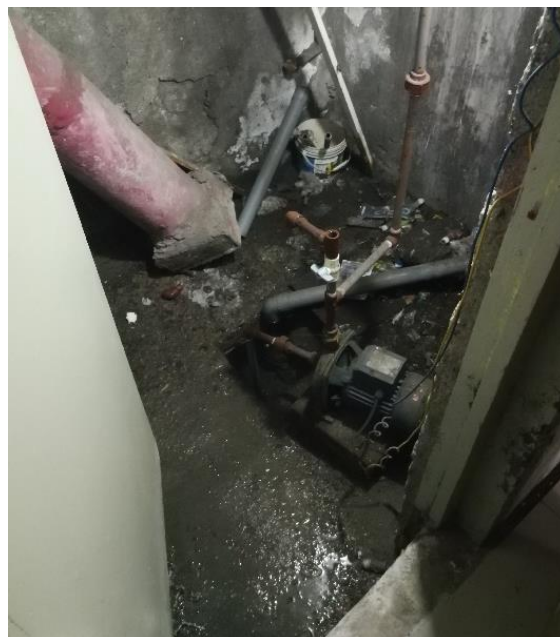
Fotografía N° 33: En el ingreso por la puerta principal, se evidencia este hundimiento del suelo que se desprende del vaciado de concreto del piso.

Relativamente cerca al domicilio afectado de las fotografías N° 32 y 33, afloran de manera polisurgente (una cerca de la otra), 06 manantiales (13171-002, 13171-003, 13171-004, 13171-005, 13171-006 y 13171-014); además, en este se registró las mayores permeabilidades por porosidad secundaria (ensayo de infiltración E-003); ver Figura N° 13, es probable que dichos flujos podrían estar influenciando a que se generen estos asentamientos. A continuación, describiremos dichos manantiales:

Manantial Ortiz (13171-002): Este flujo de agua brota dentro del domicilio del señor Ortiz, quien manifiesta que en temporadas de avenidas genera una inundación en el interior de la casa, que es controlado bombeando las aguas hacia el drenaje de saneamiento principal. La presencia de filtraciones, flujo continuo y humedad, se evidencia todo el año; Fotografías N° 34 y 35.



Fotografías N° 34: En el primer nivel de la casa del Sr. Ortiz, el agua emerge del suelo como generando un ducto natural, con poco caudal ( $< 1$  L/s), pero generando bastante humedad.



Fotografías N° 35: Las diversas filtraciones hace que los ambientes se llenen de agua rápidamente, se observa un motor que usa para evacuar la zona inundado al desagüe principal, en temporada de avenidas es bien perjudicial.

Manantial Curva (13171-003): En esta ubicación, las filtraciones de agua, se manifiestan como polisurgente, se evidencian más de un punto de surgencia a lo largo de unos 20 metros aproximadamente, en este sector se observa que dichas filtraciones brotan por la porosidad secundaria de las rocas intrusivas de la Súper Unidad Punta Coles, de acuerdo a los ensayos de infiltración, estos sectores presentan fisuras y fracturas que favorecen a la circulación de los flujos de agua; Fotografía N° 36.



Fotografía N° 36: Manantial polisurgente Curva, se observa las surgencias a través de fisuras de muy baja escorrentía (en algunos sectores por goteo), con promedio de 0.5 L/s

Manantial Riel (13171-004): Similar al punto anterior, este manantial surge sobre rocas intrusivas de la Súper Unidad Punta Coles, fracturadas y fisuradas, con el mismo comportamiento de los flujos subterráneos (polisurgente); Fotografías N° 37 y 38.



Fotografía N° 37: Manantial Riel, Las mínimas escorrentías y la zona húmeda da lugar a una vegetación muy local.



Fotografía N° 38: A pocos metros del manantial Riel, también se evidencian otras manifestaciones de agua, a través de filtraciones que siguen las ramificaciones de las fisuras abiertas, considerándola un manantial polisurgente.

Manantial Parque de la Familia (13171-005): Este punto se registró, en una obra urbana en el sector llamado Parque de la Familia, debido a las excavaciones, se encontraron zonas húmedas, con filtraciones y flujos de agua, estos fueron canalizados evacuándolos hacia los canales de saneamiento, este manantial presenta las mismas manifestaciones de los manantiales anteriores, (polisurgente); Fotografías N° 39 y 40.



Fotografía N° 39: Durante las excavaciones de la obra, en la zona Parque de la Familia, se evidenciaron manifestaciones de agua.



Fotografía N° 40: Interior de un sumidero, bajo las obras del sector del Parque de la Familia, el manantial del mismo nombre alcanza los 2 L/s, luego de juntarse todas las filtraciones a un ducto principal, se hicieron obras con drenes de filtración, recolección y evacuación del agua.

Manantial Eva (13171-006): Este punto al igual que el manantial Parque de la Familia, se visitó durante la construcción de una vivienda, del mismo modo se encontró zonas húmedas, filtraciones de agua, que vienen siendo drenadas y evacuadas hacia el ducto de saneamiento principal, los flujos de agua subterránea cumplen los mismos comportamientos y condiciones de circulación; Fotografía N° 41.



Fotografía N° 41: Construcción de la casa de la Sra. Eva, de igual forma, se están drenando los flujos de agua que aparecieron al hacer las excavaciones; en el tubo anaranjado se observó el flujo de agua que se está evacuando hacia el desagüe principal de la calle.

Manantial Calicata (13171-014): En este punto, se aprovechó un terreno abierto, para realizar una calicata, además de que versiones de los pobladores, mencionaban que también encontraron presencia de agua cuando hicieron una excavación; entonces, con apoyo de la municipalidad, se reabrió una calicata para conocer el tiempo de recuperación del nivel freático en este sector, permitiéndonos saber cómo se encuentra los niveles de saturación en el acuífero poroso no consolidado. Una vez concluida la excavación, se notó una rápida recuperación en un breve tiempo, lo que nos indica que la circulación de los flujos subterráneos son muy dinámicos; posteriormente se protegió y se dejó un día para que decanten los sedimentos y proceder con el muestreo respectivo; así mismo, al estabilizarse se pudo medir la recuperación alcanzada del nivel freático, que fue 1.30 m de profundidad, por debajo de la superficie del terreno, esta zona saturada se encuentra condicionada bajo la porosidad primaria de los materiales cuaternarios del acuífero poroso no consolidado. Fotografías N° 42, 43, 44 y 45.





Fotografía N° 42: Momento de la ampliación de la calicata.



Fotografía N° 43: Evidencia del nivel freático a poca profundidad



Fotografía N° 44: Trabajos de muestreo luego de la deposición de los sedimentos.



Fotografía N° 45: El nivel freático se encuentran 1.30 m de profundidad.

Manantial Playa del Diablo (13171-011) y Manantial Plaza Vea (13171-013): Estos 02 manantiales, afloran muy cerca una de la otra, como si se tratase de una sola fuente de comportamiento polisurgente, muy similar a los anteriores casos, el manantial Plaza Vea se trata de filtraciones encontradas al momento de la construcción del establecimiento, y que fueron drenadas y descargadas por bombeo; el manantial Playa del Diablo, aflora a pocos metros del litoral, abriéndose paso sobre las arenas de la playa del mismo nombre; al igual que el manantial calicata, los flujos subterráneos circulan a través de una porosidad primaria de los depósitos cuaternarios; Figura N° 12.

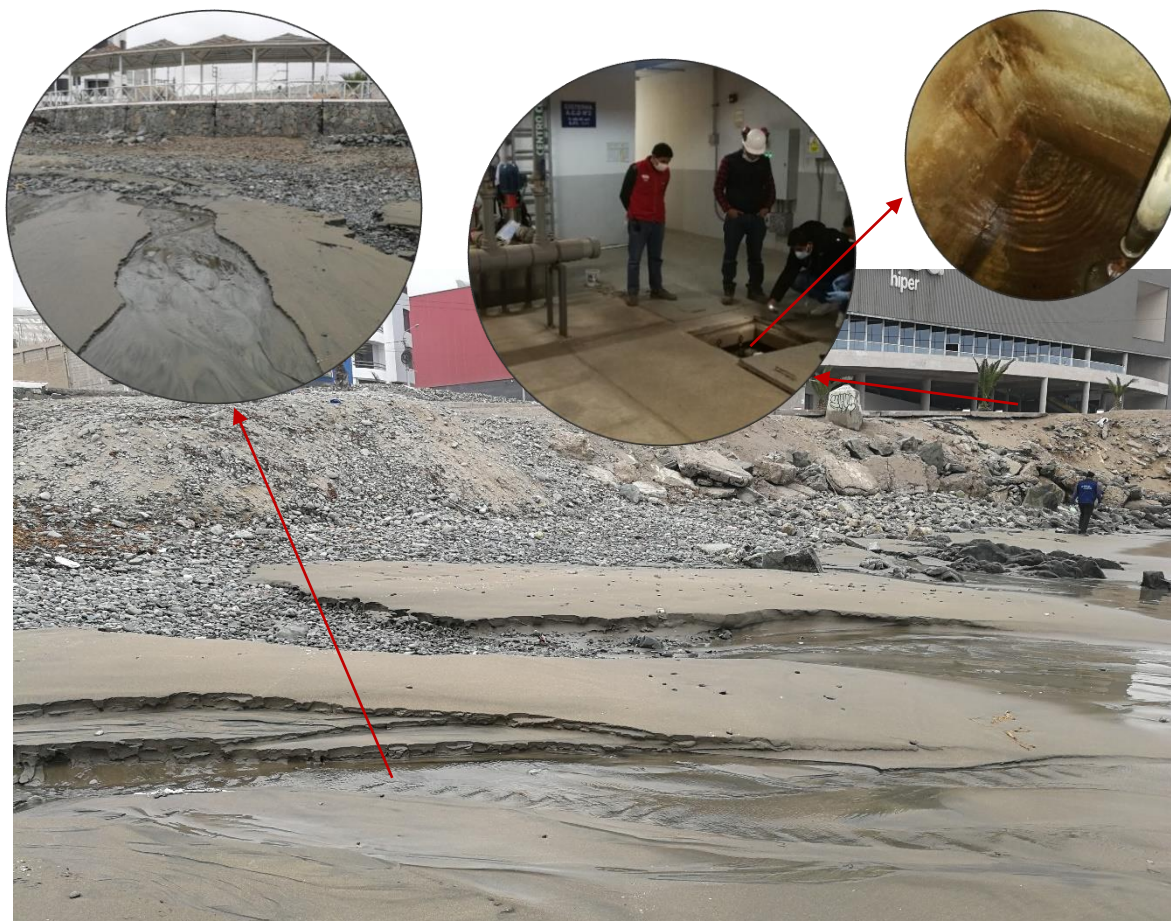


Figura N° 12: Se muestran ambos manantiales, a pocos metros del mar, en la playa del Diablo, el manantial, con el mismo nombre se observa detalladamente en el primer círculo; en la foto principal, hacia el fondo se observa el establecimiento del centro comercial plaza Vea, en su primer nivel se observa los sumideros y pozo que recolecta los resúmenes de las filtraciones de agua (círculos).

Durante los trabajos de campo los manantiales presentaron escorrentías bajas, debido a filtraciones y presentar un comportamiento polisurgente, por lo que se tuvo dificultades para medir los caudales; sin embargo, se pudo realizar el siguiente registro, Cuadro N° 08.

Cuadro N° 08: Registro de caudales aproximados.

N°	Código	Nombre	Tipo de Fuente	Fecha	Hora	Caudal (L/s)
1	13171-002	Ortiz	Manantial	8/10/2021	16:40	0.5
2	13171-003	Curva	Manantial	9/10/2021	11:00	0.5
3	13171-004	Riel	Manantial	10/10/2021	12:00	1
4	13171-005	Parque de la familia	Manantial	11/10/2021	09:10	2
5	13171-006	Eva	Manantial	11/10/2021	10:30	0.5
6	13171-011	Playa del diablo	Manantial	12/10/2021	12:50	0.5
7	13171-013	Plaza Vea	Manantial	13/10/2021	18:25	0.5
8	13171-014	Calicata	Manantial	14/10/2021	09:15	-

### 3.4. ANÁLISIS DE AFOROS Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA RÍO - ACUÍFERO

El comportamiento natural de un acuífero poroso no consolidado de piso de valle se encuentra recargado por los aportes del río principal, con los niveles freáticos encontrándose en equilibrio y podríamos afirmar que se encuentran en un nivel horizontal. El acuífero poroso del valle de Ilo es angosto y alargado, cumpliendo este comportamiento de recarga, la misma que es aprovechada para la agricultura local; Fotografía N° 46.



Fotografía N° 46: Parte baja del acuífero poroso no consolidado del valle de Ilo, hacia la desembocadura del río principal. Se observa una vegetación zonificada, con plantaciones y agricultura local, siendo abastecido por agua, superficialmente por canales captados del río principal y subterránea a través de pozos.

El acuífero poroso no consolidado, tiene como principal agente de recarga, a las aguas superficiales del río Osmore o Ilo, y de manera secundaria, en menor proporción, por las aguas de riego de las zonas agrícolas, canales y extraídas por pozos del mismo acuífero, convirtiéndolo en un ciclo cerrado.

Para entender el comportamiento del río principal Ilo y su relación con el acuífero poroso no consolidado del piso de valle, analizaremos el sistema río – acuífero, para esto ubicamos estratégicamente cuatro (04) puntos, para realizar la medida del caudal del río; de esta manera, conocer posibles variaciones e identificar sus causas, ya sea por las condiciones geológicas y/o estructuras o captaciones de agua.

Entre las 04 medidas de aforos (del aforo 01 al aforo 04), encontramos 03 tramos, los cuales las describimos a continuación.

**TRAMO 01:** Entre los puntos de aforo N° 01 y N° 02, el comportamiento hidráulico varía, en el punto de aforo N° 01, con un valor de 523 L/s, (Fotografía N° 47), desciende considerablemente hasta 363 L/s, en el punto de aforo N° 02, (Fotografías N° 48) esto se debe a que en este tramo, el río principal es captado y conducida por un canal, hacia la Planta de Tratamiento de Agua Potable que abastece a la ciudad de Ilo (145 L/s, tratados en la PTAP Pampa Inalámbrica, Estudio Tarifario 2020 – 2025, SUNASS, EPS ILO S.A.); Ver Figura N° 16. Si hacemos una diferencia de caudales, podríamos afirmar que aún existe cierto volumen de agua, de 15 L/s que estarían infiltrándose en el terreno, nos estaría indicando que el río Ilo se comporta como un río perdedor; es decir, la escorrentía superficial del río recarga al acuífero, como se observa en la Figura N° 13, donde se muestra un nivel freático que se encuentra a poca profundidad; también se estaría dando el caso del Figura N° 14, donde se observa que el nivel freático se puede encontrar a niveles un poco más profundos. Estas filtraciones se deben al grado de porosidad que presentan los acuíferos porosos no consolidados del piso de valle que permiten el paso del agua.

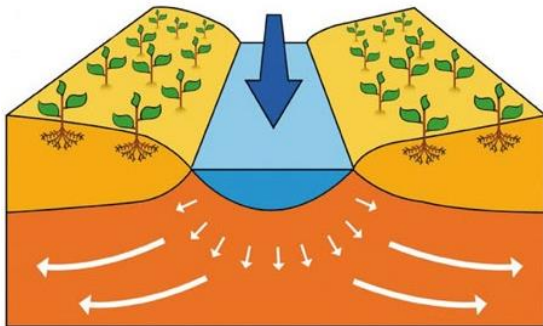


Figura N° 13: Representación esquemática del nivel freático somero recargado por el río.

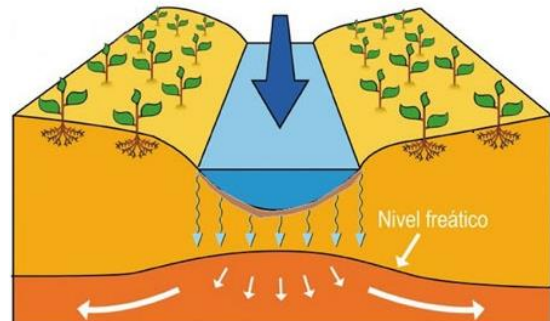


Figura N° 14: Representación esquemática del nivel freático, un poco más profundo, recargado por el río.



Fotografía N° 47: Aforo N° 01 del río Ilo – Osmore, con 523 L/s.



Fotografía N° 48: Aforo N° 02 del río Ilo – Osmore, con 363 L/s.

TRAMO 02: Este tramo corresponde, entre los puntos de aforo N° 02 (363 L/s) y el punto de aforo N° 03 (243 L/s; Fotografía N° 49), en donde se aprecia un descenso del caudal de 120 L/s, que el río Ilo estaría perdiendo, y que se estaría infiltrando en el terreno. Este comportamiento, se debe al mismo caso anterior del tramo 01, el de un río perdedor, a consecuencia de la porosidad primaria del acuífero, (Figura N° 13 y 14); también cabe la posibilidad de que en ciertos tramos las infiltraciones podrían estar siendo condicionadas por el sistema estructural del área de estudio, debido a la cercanía de la Falla activa Chololo, pero se requiere mayores estudios, sobre todo geofísicos, para confirmar el exactamente este grado de afectación de los cursos naturales de las escorrentías superficiales y consecuentemente subterráneos; Ver Figura N° 16.



Fotografía N° 49: Aforo N° 03 del río Ilo – Osmore, con 243 L/s.

**TRAMO 03:** Finalmente el último tramo, entre los puntos de aforo N° 03 (243 L/s) y el punto de aforo N° 04 (251 L/s; Fotografía N° 50), donde el caudal se mantiene casi constante con un ligero incremento de 8 L/s, nos indica que el drenaje principal ya se encuentra en equilibrio, constante, hipotéticamente adoptando el comportamiento de un río ganador; es decir, el acuífero ya se encuentra saturado y estaría aportando ligeros flujos al cause principal, Figura N° 15; Ver Figura N° 16.



Fotografía N° 50: Aforo N° 04 del río Ilo – Osmore, con 251 L/s.

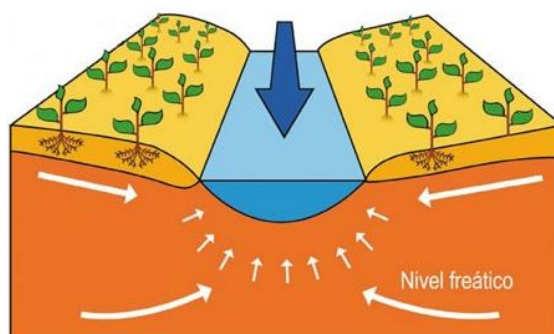
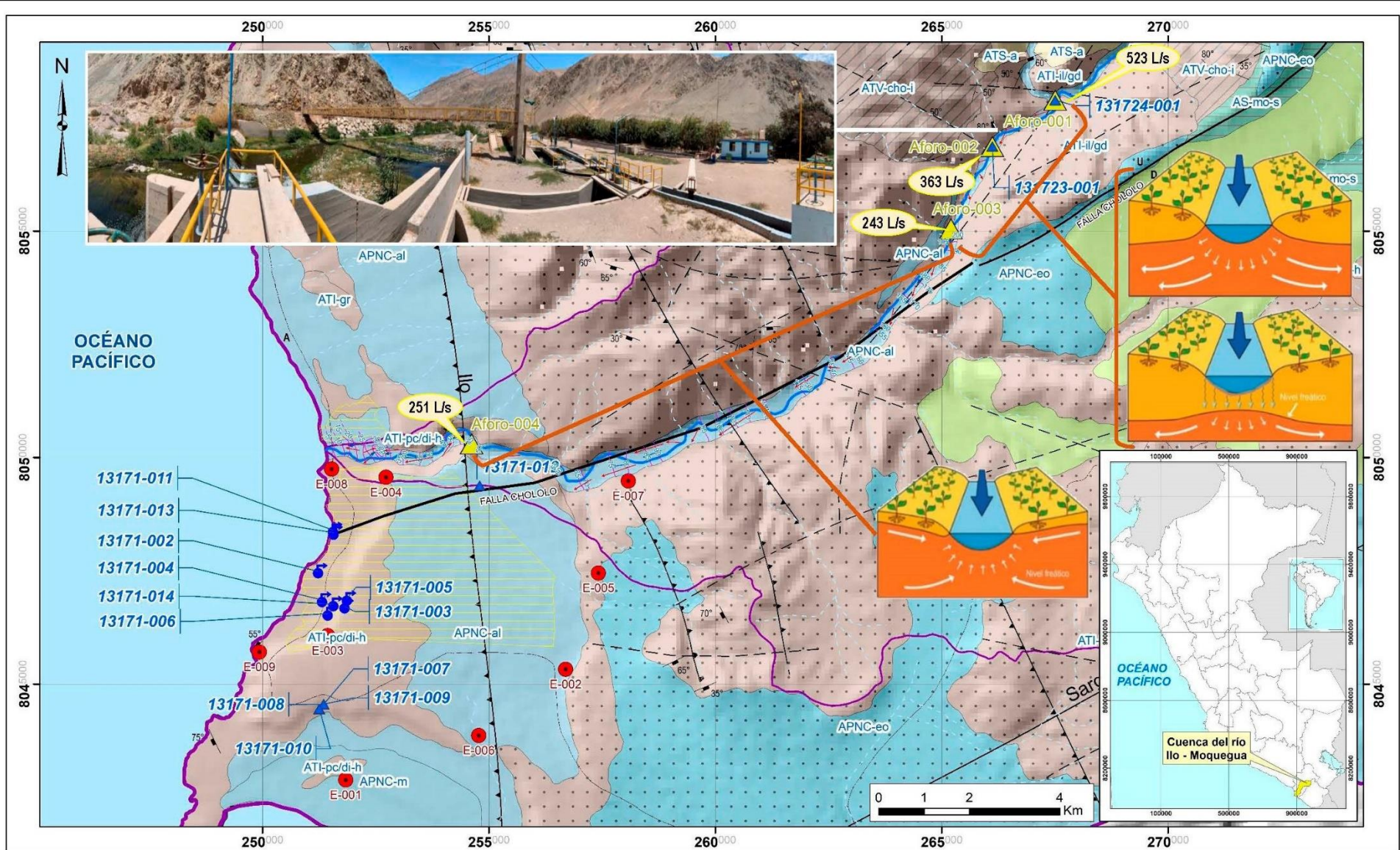


Figura N° 15: Representación esquemática del nivel freático en equilibrio con el nivel superficial del río, el acuífero estaría aportando al río una ligera recarga.

*Fuente: Las Figuras N° 13, 14 y 15, son extraídos del Boletín hidrogeológico de la cuenca del río Ilo - INGEMMET.*

En líneas generales, es importante tener un control de las variaciones hídricas superficiales, sobre todo en estos tramos de interés para la zona de estudio y durante las temporadas de estiaje y avenidas; así mismo, tener un registro de los niveles piezométricos en el acuífero poroso no consolidado de Ilo. De acuerdo al boletín hidrogeológico de la cuenca del río Ilo Moquegua, los datos de niveles piezométricos en este sector varían de 0.5 a 4.5 m de profundidad, (registro en noviembre del 2011). Estos controles nos permitirán conocer, el comportamiento de la recarga y saturación del acuífero poroso no consolidado y consecuentemente identificar zonas inundadas y/o surgencias de flujos subterráneos que puedan aparecer. Figura N° 16: Mapa de inventario de puntos Hidrogeológicos, también se puede observar la interacción hipotética de agua superficial y subterránea en acuíferos porosos no consolidados del piso de valle (Sistema río – Acuífero).



**SIMBOLOGÍA**

Asfaltado	Ciudad de Ilo	<b>Estructural</b>
Afirmado	Límite de la cuenca Ilo - Moquegua	Falla
No afirmado	Límite de subcuencas	Falla inversa
Trocha carrozable	Límite de distritos	Lineamiento
Ferrocarril		Rumbo y buzamiento de fracturas

**HIDROGEOLOGÍA**

Cauce permanente	Manantial
Cauce intermitente	Punto de Control
Cauce efímero	Ensayos de Infiltración
Océano	Puntos de aforo
Direcciones de Flujo Subterráneo (Estudio actual)	
Lineas Isopiezas	
Direcciones de flujo subterráneo	

*Hidrogeología de la cuenca del Ilo Moquegua: INGENMET, 2019 (Información piezométrica: INRENA, 2004)*

**INGEMMET**  
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOMINERÍA Y METALURGIA

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

ACTH: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

**MAPA DE INVENTARIO DE PUNTOS HIDROGEOLOGICOS**

Escala: 1/75 000 Datum: UTM WGS 84 Zona 19 Sur  
 Versión digital : Año 2022 Impreso: Enero 2023

**FIGURA: 16**

#### IV. ASPECTOS HIDROQUÍMICOS

En esta parte hablaremos sobre las características químicas de las aguas, para poder entender su posible procedencia y/o alteraciones de los flujos de agua, previa interpretación de sus resultados químicos.

Es importante entender que cuando las aguas subterráneas afloran a superficie de manera natural (manantial o fuente termal) o artificial (pozo, piezómetro, sondaje), procedentes de un acuífero, presentan características químicas que reflejan la interacción agua-roca que existió en su recorrido. Durante la infiltración, el agua tiene una característica química definida, luego, durante su paso por el acuífero (ya como agua subterránea), puede verse modificada por distintos procesos (disolución, precipitación, intercambio iónico, mezclas, etc.), que se evidencia al momento que aflora a superficie.

El tiempo de residencia y la distancia de recorrido del flujo subterráneo caracterizan la familia hidroquímica del agua; conociendo estas características químicas, y ayudados del conocimiento hidrogeológico, litológico y estructural, se puede interpretar su recorrido y procedencia, ya sea sus orígenes por precipitación, agua superficial, infiltración, contaminación, etc.

De las 15 fuentes de agua registradas en el presente estudio, todas se llegaron a muestrear. Para el análisis químico se consideró a los iones mayoritarios (K, Na, Ca, Mg, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, CO<sub>3</sub> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), elementos que se encuentran en su composición iónica del agua, que adquiere durante su recorrido por el acuífero (Cuadro N° 09).

El registro de datos de los resultados generales del análisis químico incluyendo los parámetros físico-químicos medidas in situ, se muestran en el Anexo III. Estos análisis se realizaron en el laboratorio del INGEMMET.

Cuadro N° 09: Resultados químicos de los valores analizados (iones mayoritarios) y parámetros físico-químicos (pH y conductividad eléctrica).

N°	Código	Nombre	Tipo de Fuente	pH	CE (µS/cm)	K (dis) (mg/L)	Na (dis) (mg/L)	Ca (dis) (mg/L)	Mg (dis) (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (dis) (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (dis) (mg/L)	CO <sub>3</sub> (dis) (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (dis) (mg/L)
1	131724-001	Río Osmore 1	Punto de Control	8.81	2307	9.5	228.6	229.1	33.4	451.5	526.9	<1	135
2	131723-001	Río Osmore 2	Punto de Control	8.86	2360	9.6	230.3	205.8	33.3	452.5	531.0	<1	90
3	13171-002	Ortiz	Manantial	7.45	10020	86.5	1637.7	342.1	80.9	2263.1	1929.1	<1	151
4	13171-003	Curva	Manantial	8.09	16890	184.5	3229.5	567.3	152.5	4163.1	4613.7	<1	53
5	13171-004	Riel	Manantial	7.73	8451	67.7	1403.7	406.4	68.7	1882.8	2072.4	<1	154
6	13171-005	Parque de la familia	Manantial	7.78	18070	185.6	3410.2	569.8	166.8	4845.4	3922.5	<1	77
7	13171-006	Eva	Manantial	7.52	20480	160.3	3592.9	730.9	206.8	5807.3	3846.6	<1	71
8	13171-007	Ite	Punto de Control	8.26	2256	30.0	270.6	151.4	38.2	480.9	426.5	3	201
9	13171-008	Pasto grande	Punto de Control	8.01	2360	10.1	236.4	229.6	34.6	419.3	538.2	1	155
10	13171-009	Mescla cruda	Punto de Control	8.14	2286	22.9	252.2	172.1	36.1	456.8	490.6	2	187
11	13171-010	Cata Catas	Punto de Control	7.39	2312	16.4	243.3	203.3	36.2	455.2	546.8	<1	137
12	13171-011	Playa del diablo	Manantial	7.43	12010	91.6	2021.0	324.2	95.6	3400.8	1259.4	<1	153
13	13171-012	Planta 2	Punto de Control	7.64	2355	10.3	240.3	221.7	36.0	472.5	568.5	<1	118
14	13171-013	Plaza Vea	Manantial	6.67	25480	205.1	4432.3	744.4	239.6	7949.3	2696.3	<1	219
15	13171-014	Calicata	Manantial	7.53	22800	170.6	4435.5	777.0	175.2	7446.0	4048.8	<1	75

En el cuadro N° 10, se muestra el cálculo del balance de cargas, para corroborar que los resultados químicos son aceptables, el error admisible se consideró en el rango de +/- 10%.



Cuadro N° 10: Balance de cargas de los iones mayoritarios.

N°	Código	Nombre	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3	Σ Cationes	Σ Aniones	% Error
			meq/l									
1	131724-001	Río Osmore 1	0.24	9.94	11.46	2.78	12.72	10.98	2.21	24.42	25.91	-2.96
2	131723-001	Río Osmore 2	0.25	10.01	10.29	2.78	12.75	11.06	1.48	23.32	25.28	-4.03
3	13171-002	Ortiz	2.22	71.20	17.11	6.74	63.75	40.19	2.48	97.27	106.41	-4.49
4	13171-003	Curva	4.73	140.41	28.37	12.71	117.27	96.12	0.87	186.22	214.26	-7.00
5	13171-004	Riel	1.74	61.03	20.32	5.73	53.04	43.18	2.52	88.81	98.74	-5.29
6	13171-005	Parque de la familia	4.76	148.27	28.49	13.90	136.49	81.72	1.26	195.42	219.47	-5.80
7	13171-006	Eva	4.11	156.21	36.55	17.23	163.59	80.14	1.16	214.10	244.89	-6.71
8	13171-007	Ite	0.77	11.77	7.57	3.18	13.55	8.89	3.30	23.29	25.78	-5.07
9	13171-008	Pasto grande	0.26	10.28	11.48	2.88	11.81	11.21	2.54	24.90	25.58	-1.35
10	13171-009	Mescla cruda	0.59	10.97	8.61	3.01	12.87	10.22	3.07	23.17	26.19	-6.12
11	13171-010	Cata Catas	0.42	10.58	10.17	3.02	12.82	11.39	2.25	24.18	26.46	-4.50
12	13171-011	Playa del diablo	2.35	87.87	16.21	7.97	95.80	26.24	2.51	114.39	124.54	-4.25
13	13171-012	Planta 2	0.26	10.45	11.09	3.00	13.31	11.84	1.93	24.80	27.09	-4.42
14	13171-013	Plaza Vea	5.26	192.71	37.22	19.97	223.92	56.17	3.59	255.15	283.69	-5.30
15	13171-014	Calicata	4.37	192.85	38.85	14.60	209.75	84.35	1.23	250.67	295.33	-8.18

#### 4.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

##### ➤ Conductividad eléctrica

Este parámetro físico-químico nos indica la capacidad del agua, de permitir el paso de la corriente eléctrica por este medio (Custodio & Llamas, 1996), reflejando de manera cuantitativa la mayor o menor cantidad de sales o iones disueltas que están presentes en el agua, cuanto mayor son los iones, mayor es la conductividad eléctrica, y viceversa.

Los valores de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas pueden variar en el transcurrir del acuífero, sobre todo en los de piso de valle, debido a la litología, sobreexplotación por pozos, el tipo de recarga, actividad antrópica que se encuentra sobre ella, entre otras.

En el Figura N° 17, se observa las variaciones de este parámetro, con una notoria diferencia de los valores de conductividad eléctrica entre los dos (02) tipos de fuentes de agua. En los puntos de control, los valores de conductividad eléctrica son bajas entre 2256 a 2360  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en comparación con las de los manantiales que presentan valores de conductividad eléctrica superiores a 8451  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , llegando hasta los 25480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , correspondiente al manantial 13171-013, que se encuentra debajo del centro comercial Plaza Vea. Estas altas concentraciones de los manantiales, hace que sean más salinos, se les puede considerar aguas salobres, esto podría deberse a que los manantiales están siendo afectadas por la zona de interfaz, lugar donde se mezclan las aguas dulces con las aguas saladas del mar que asciende cuando sube la marea.

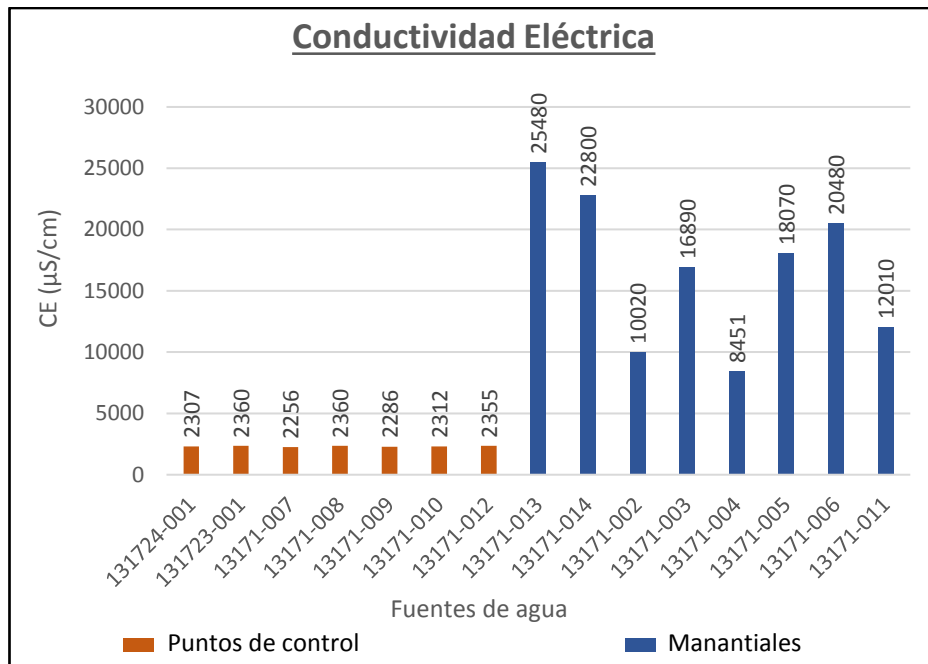


Figura N° 17: Variación de la conductividad eléctrica en las fuentes de agua.

➤ pH

El pH del agua es una medida adimensional, que refleja el grado de acidez del agua o si es básica. El pH del agua subterránea suele encontrarse entre 6.5 y 8 (Martínez et al., 2006), aunque en algunos casos puede ser más ácido o básico. En el Figura N° 18, se muestra los datos de pH de todas las fuentes en general; observamos, que tanto los puntos de control como los manantiales, se encuentran en el rango de 6.67 a 8.26; por las que, les consideramos como aguas neutras, a excepción del río Osmore que en sus dos registros presenta una mínima tendencia a la alcalinidad (valores de 8.81 y 8.86), los resultados para estos parámetros son considerados normales.

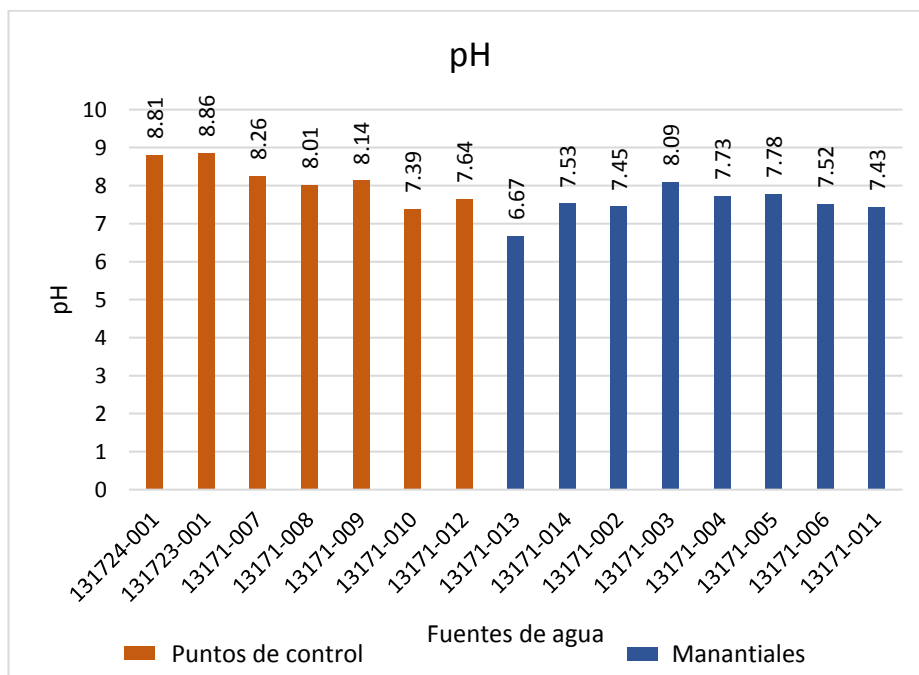


Figura N° 18: Variación de pH en las fuentes de agua.

## 4.2. ANÁLISIS QUÍMICO

Para la clasificación de las aguas se tomó en cuenta los iones mayoritarios: aniones (bicarbonato, carbonato, sulfato, cloruro) y cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio), que son considerados para la clasificación geoquímica, como iones dominantes (Custodio & Llamas, 1996). Para la interpretación de datos, nos valemos de los diagramas hidroquímicos, de Stiff y de Piper, cuyo empleo es práctico para las interpretaciones. La elaboración de los diagramas (Stiff y Piper), se elaboraron en el programa de AquaChem.

### ➤ Diagramas de Stiff

La representación gráfica de los datos de los iones mayoritarios, lo visualizamos mediante los diagramas de Stiff modificado, los mismos que se observan en el mapa hidroquímico (Figura N° 21). Estos diagramas están representados por un polígono, donde cada vértice indica las concentraciones de sus componentes (Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Na, Ca, Mg) expresados en miliequivalentes por litro (meq/L). Estos gráficos nos muestran la evolución y predominancia de las concentraciones de dichos elementos. Para una mejor visualización en su representación gráfica y por el grado de concentración, se elaboraron 04 grupos de polígonos diferenciados por colores, como se observa en la leyenda del mapa hidroquímico; Figura N° 19:

- Polígono de color anaranjado, con concentraciones de 0 a 25 meq/L, (7 muestras).
- Polígono de color amarillo, con concentraciones de 0 a 100 meq/L, (2 muestras).
- Polígono de color azul, con concentraciones de 0 a 200 meq/L, (4 muestras).
- Polígono de color verde, con concentraciones de 0 a 300 meq/L, (2 muestras).

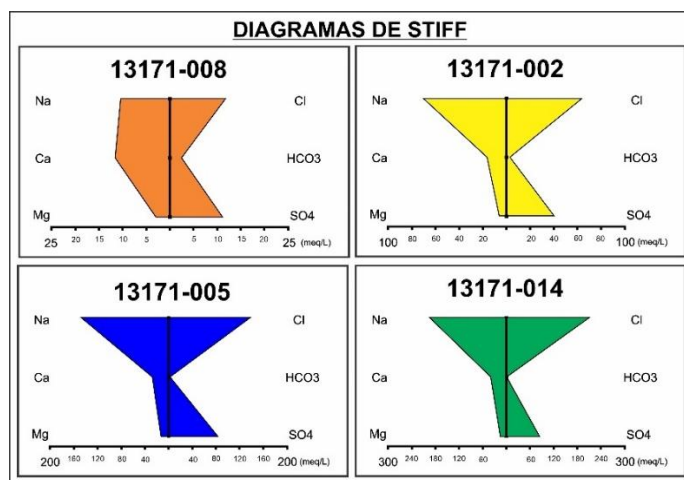


Figura N° 19: Diagramas de Stiff, que se diferencian por el grado de concentraciones de los iones mayoritarios, representados por colores.

En los diagramas de Stiff, los polígonos de color anaranjado, indica las mínimas concentraciones de iones en el agua (de 0 a 25 meq/L), y corresponden a los puntos de control, confirmando el bajo contenido de iones disueltos o la baja mineralización (2256 a 2360  $\mu$ S/cm).

Los otros tres colores, amarillo, (de concentraciones con límite de 0 a 100 meq/L), azul (de concentraciones con límite de 0 a 200 meq/L) y verde (de concentraciones con límite de 0 a 300 meq/L), representan a los manantiales y señalan las mayores concentraciones iónicas.

En los polígonos amarillos, podemos encontrar al manantial Riel de código: 3171-004, con 8451  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el manantial Ortiz, de código 13171-002, con 10020  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que se caracterizan por presentar altas concentraciones iónicas.

En los de color azul, encontramos al manantial Playa del diablo (13171-011), con 12010  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el manantial la Curva (13171-003), con 16890  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el manantial Parque de la familia (13171-005), con 18070  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el manantial Eva (13171-006), con 20480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Este incremento, es directamente proporcional con la conductividad eléctrica, que de la misma manera van aumentando.

Finalmente, los de color verde, donde están representados los manantiales Plaza Vea (13171-013), con 25480  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y Calicata (13171-014), con 22800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ambas de concentraciones iónicas más elevadas, considerándolas aguas salinas.

En líneas generales, hemos podido observar que todos los manantiales presentan altas concentraciones de iones y/o sales, especialmente de cloro y sodio, esto se debe a que los flujos subterráneos circulan en el acuífero poroso no consolidado disolviendo sales de los depósitos aluviales, eólicos y marinos; por otra parte, cabe la probabilidad que, por su cercanía al litoral, estén siendo afectadas por la zona de interfaz o zona de mezcla.

Observando los diagramas, podemos nombrar a cada fuente de acuerdo a las concentraciones de iones mayoritarios, permitiéndonos conocer la facie hidroquímica a la que pertenece y que se corrobora con el ploteo de las fuentes en el diagrama de Piper.

En el cuadro N° 11, podemos observar, que las facies hidroquímicas de los manantiales y de los puntos de control, guardan relación en su composición mineralógica de Cloruradas Sulfatadas Sódicas, con una ligera variación del calcio para el caso de los puntos de control, esto nos indica que las aguas subterráneas, guardan relación con las aguas superficiales, y que proceden de las filtraciones a través del acuífero poroso no consolidado, cuya recarga principal es el río Ilo.

Cuadro N° 11: Facies hidroquímicas de las fuentes de agua.

N°	CÓDIGO	NOMBRE	TIPO DE FUENTE	pH	CE	FACIES	NOMBRE FUENTE
1	131724-001	Río Osmore 1	Punto de Control	8.81	2307	Cl-SO4-Ca-Na	Clorurada Sulfatada Cálcica Sódica
2	131723-001	Río Osmore 2	Punto de Control	8.86	2360	Cl-SO4-Ca-Na	Clorurada Sulfatada Cálcica Sódica
8	13171-007	Ite	Punto de Control	8.26	2256	Cl-SO4-Na-Ca	Clorurada Sulfatada Sódica Cálcica
9	13171-008	Pasto grande	Punto de Control	8.01	2360	Cl-SO4-Ca-Na	Clorurada Sulfatada Cálcica Sódica
10	13171-009	Mescla cruda	Punto de Control	8.14	2286	Cl-SO4-Na-Ca	Clorurada Sulfatada Sódica Cálcica
11	13171-010	Cata Catas	Punto de Control	7.39	2312	Cl-SO4-Na-Ca	Clorurada Sulfatada Sódica Cálcica
13	13171-012	Planta 2	Punto de Control	7.64	2355	Cl-SO4-Ca-Na	Clorurada Sulfatada Cálcica Sódica
14	13171-013	Plaza Vea	Manantial	6.67	25480	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica
15	13171-014	Calicata	Manantial	7.53	22800	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica
3	13171-002	Ortiz	Manantial	7.45	10020	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica
4	13171-003	Curva	Manantial	8.09	16890	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica
5	13171-004	Riel	Manantial	7.73	8451	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica
6	13171-005	Parque de la familia	Manantial	7.78	18070	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica
7	13171-006	Eva	Manantial	7.52	20480	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica
12	13171-011	Playa del diablo	Manantial	7.43	12010	Cl-SO4-Na	Clorurada Sulfatada Sódica

➤ Diagrama de Piper

El diagrama de Piper, (Figura N° 20), está representado por dos triangulares equiláteros en la base y un rombo en la parte central, en los triángulos se ubican cada fuente, de acuerdo a las concentraciones de cationes y aniones, luego se proyectan al rombo superior, donde se observan las similitudes o diferencias con otras muestras, identificando el tipo de agua al que pertenecen, familia o facie hidroquímica.

Como se pudo ver anteriormente, se distinguen 02 grupos de facies hidroquímicas: Las Cloruradas Sulfatadas Cálcidas Sódicas que corresponden a los puntos de control y las Cloruradas Sulfatadas Sódicas que corresponden a los manantiales, los mismos que se muestran en el diagrama de Piper.

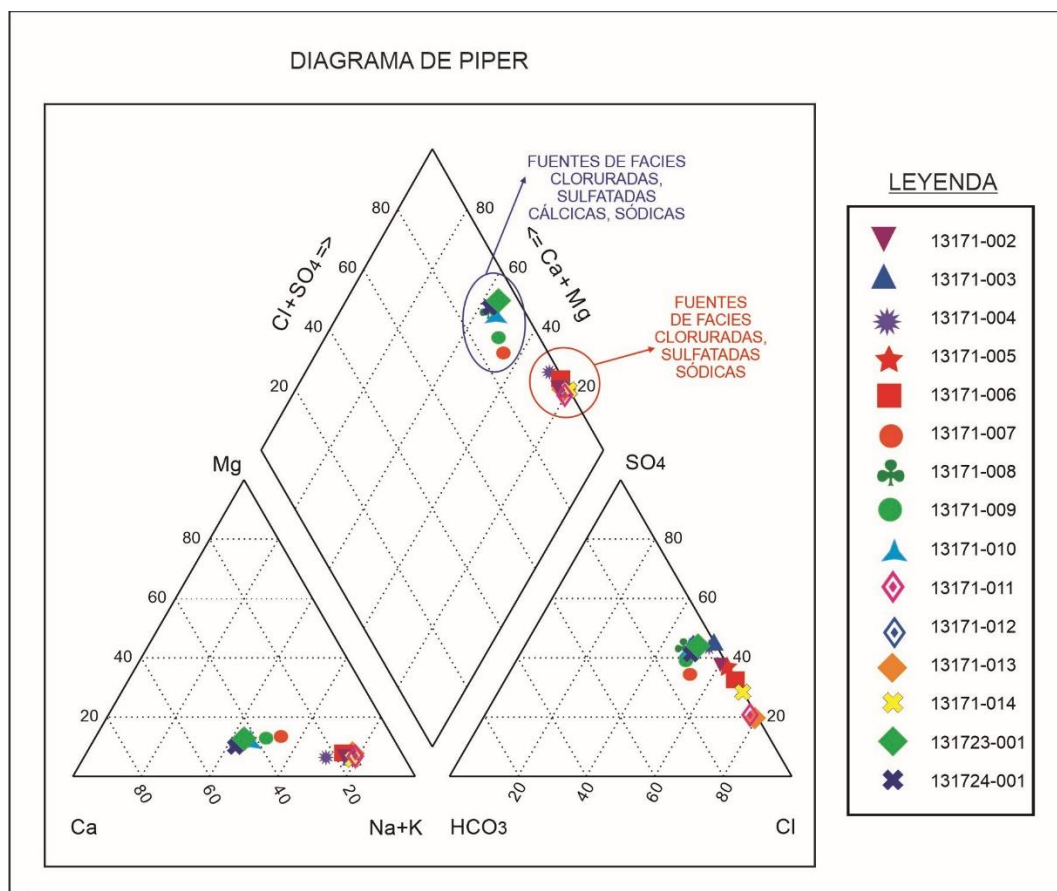


Figura N° 20: Diagrama de Piper de los manantiales y puntos de control.

La composición química para ambos tipos de fuentes de agua, nos indica que guardan relación, en el triángulo catiónico las muestras de aguas tienen tendencia al sodio y en el triángulo aniónico las aguas tienen tendencia al cloro y ligeramente al sulfato.

La tendencia clorurada, se podría interpretar que los flujos han estado en circulación subterránea por un largo tiempo de recorrido; pero en este caso, por la ubicación cercana a la Costa, los iones cloruro y sodio, se puede deber también, a que provienen de las disoluciones de las sales cristalizadas en los depósitos cuaternarios (eólicos y marinos) con el paso de las aguas. Por otra parte, el ligero incremento del anión sulfato, nos estaría indicando que los flujos circulan con un moderado tiempo de recorrido; sin embargo, en el valle de Ilo y en sectores de la ciudad de Ilo, los niveles freáticos del acuífero poroso no consolidado, se encuentran muy cercanos a la superficie (Calicata, 13171-014), por lo que los flujos subterráneos estarían en contacto con aguas que se infiltran, provenientes de actividades de riego (agricultura local, parques y áreas verdes), actividad doméstica, entre otros, por lo que ligeras variaciones del ion sulfato podrían deberse también a la actividad antrópica.

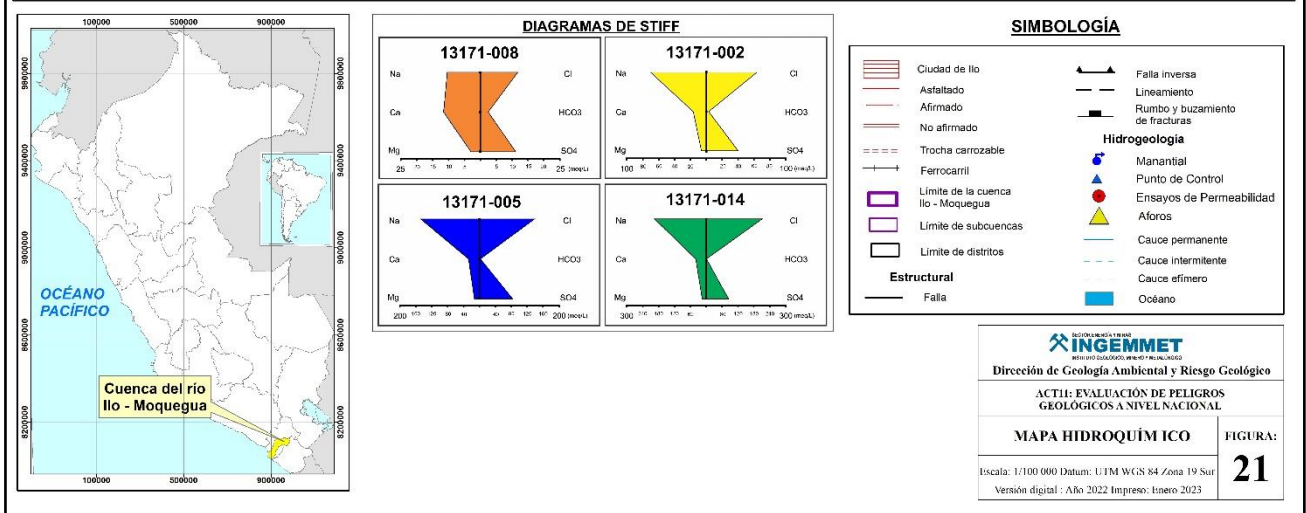
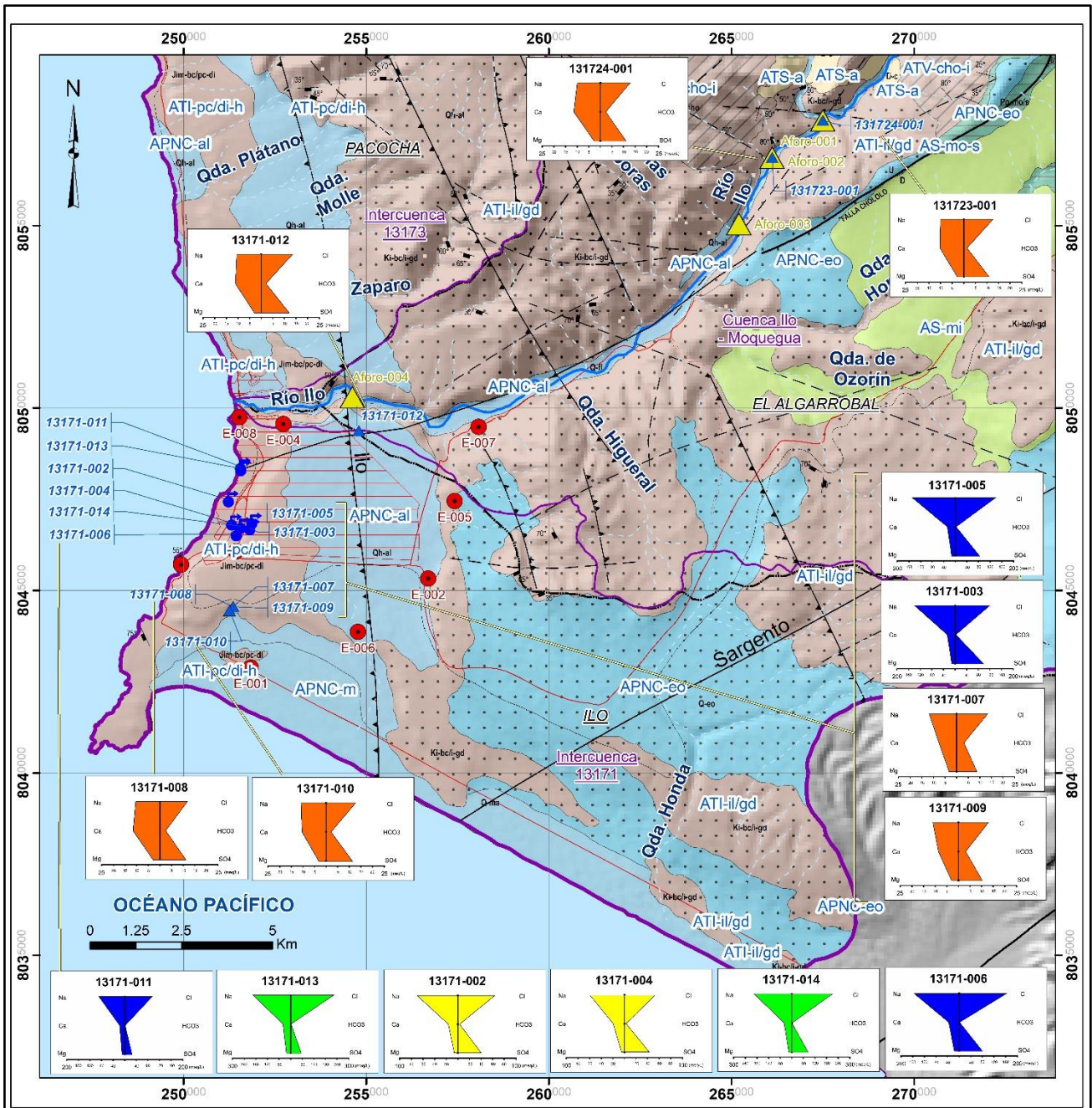


Figura N° 21: Mapa hidroquímico de las fuentes de agua en la zona de estudio.

## CONCLUSIONES

1. El área de estudio abarca la ciudad de Ilo y sus alrededores, extendiéndose hasta el distrito El Algarrobal, provincia de Ilo, departamento Moquegua. Hidrológicamente se encuentra hacia la parte Suroeste de la cuenca del río Ilo-Moquegua (13172), en la desembocadura del río Ilo, y extendiéndose al Sur, dentro de la intercuenca 13171, donde se ubica la población de Ilo. Según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge, identificamos cuatro (04) unidades ecológicas: Desierto superárido templado cálido, Desierto perárido templado cálido, Matorral desértico templado cálido y Desierto desecado templado cálido. En referencia a las unidades geomorfológicas, existen geoformas de carácter tectónico - degradacional y erosional (Unidades de montañas, colinas y lomadas) y geoformas de carácter deposicional y agradacional (Unidades de piedemonte, planicies, depresiones y otros). Estructuralmente existen dos (02) sistemas de fallas, el Sistema de Fallas Islay – Ilo (SFII) y el Sistema de Fallas Transversales a la Cordillera (NE-SO), ha esta última pertenece la falla geológica activa Chololo; estos sistemas estructurales dieron origen a rupturas de rocas, presentando sectores con mayor fracturamiento y fisuramiento.
2. Se realizaron nueve (09) ensayos de infiltración, de los cuales **E-004**, **E-008** y **E-009**, dan como resultados 0.0320, 0.0383 y 0.0510 m/day respectivamente, indica que el terreno presenta baja permeabilidad o sectores poco permeables, (rocas impermeables); los ensayos **E-001**, **E-002** y **E-006**, aumentan ligeramente el resultado de la tasa de infiltración, 0.1345, 0.1529 y 0.1657 m/day respectivamente, nos indica que el terreno es algo permeable; finalmente los ensayos **E-003** y **E-005**, cuyos descensos del agua fueron en su totalidad y el ensayo **E-007** (0.2614 m/day) corresponden a sectores permeables donde el terreno presenta mayores fracturadas y fisuradas, (porosidad secundaria). Coincidentemente, cerca al ensayo **E-003**, afloran de manera casi grupal, (una cerca de la otra) seis (06) manantiales.
3. Se registró quince (15) fuentes de agua, que corresponden a 7 puntos de control (flujos superficiales) y 8 manantiales (flujos subterráneos), estos últimos con caudales bajos (entre 0.5 y 1 L/s, a excepción del manantial 13171-005 de 2 L/s), estos manantiales provienen del acuífero poroso no consolidado, recargado por las filtraciones del río principal; así mismo, existen zonas fisuradas que están condicionando las direcciones de flujo subterráneo, debido a que las rocas presentan porosidad secundaria (fracturas, fisuras agrietadas), estas características permeables se evidencian solo en ciertos sectores, donde se realizaron los ensayos de infiltración.
4. Se distinguieron las siguientes unidades hidrogeológicas: **ACUÍFEROS**: Acuíferos porosos no consolidados y Acuíferos Sedimentarios, (Acuífero Sedimentario Millo y Acuífero Sedimentario Moquegua Superior) y **ACUITARDOS**: Acuitardo Sedimentario Ambo, Acuitardo Volcánico Chocolate Inferior y Acuitardos intrusivos (Estas unidades, superficialmente se encuentran fracturadas y en ocasiones intemperizadas, lo cual genera el incremento de porosidad secundaria, producto de la meteorización y el tectonismo de la zona).
5. Se realizó cuatro (04) mediciones de aforo del río principal, en los primeros tramos, se observó que el río Ilo estaría recargando al acuífero, (comportamiento de un río perdedor), con un nivel freático que se encuentra a poca y/o mediana profundidad. Y posteriormente, en la parte baja, el acuífero ya se encontraría saturado y en equilibrio con la escorrentía superficial, con ligeros aportes de flujos de agua al cauce principal.

6. En el análisis de parámetros fisicoquímicos, para la conductividad eléctrica, los valores de los puntos de control, son bajas, entre 2256 a 2360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en comparación con los manantiales, con valores superiores a 8451  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , llegando hasta los 25480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , correspondiente al manantial 13171-013, denominado Plaza Veá. Estas altas concentraciones de iones y/o sales que los manantiales presentan, especialmente de cloro y sodio, se debe a que los flujos subterráneos circulan en el acuífero poroso no consolidado disolviendo sales de los depósitos aluviales, eólicos y marinos; es posible que, por su cercanía al litoral, estén siendo afectados por la zona de interfaz o zona de mezcla. Los datos de pH de todas las fuentes en general, (puntos de control y manantiales), se encuentran en el rango de 6.67 a 8.26, por las que les consideramos como neutras, a excepción del río Osmore que en sus dos registros presenta una mínima tendencia a alcalina (valores de 8.81 y 8.86), los resultados para estos parámetros son considerados normales.
7. En el análisis químico, se distinguieron dos (02) grupos de facies hidroquímicas, las Cloruradas Sulfatadas Cálcicas Sódicas que corresponden a los puntos de control y las Cloruradas Sulfatadas Sódicas que corresponden a los manantiales, esto nos indica que los flujos subterráneos guardan relación con los flujos superficiales por su composición mineralógica y que provienen de las filtraciones del río Ilo, pasando por el acuífero poroso no consolidado. Las tendencias de ion cloruro y sulfato, no solo estaría indicando que los flujos subterráneos presentan moderados a largos recorridos; sino que provienen también de las sales cristalizadas en los depósitos cuaternarios (eólicos y marinos), que están siendo disueltas con el paso de las aguas; respecto a la ligera tendencia del ion sulfato, esta proviene también, de las actividades de riego (agricultura local, parques y áreas verdes), actividad doméstica, entre otros, (actividad antrópica).



## RECOMENDACIONES

Continuar con los monitoreos hidrogeológicos: Fuentes de agua, (manantiales); así como, los niveles freáticos, (pozos y calicatas), en el acuífero poroso no consolidado; Implementar la instalación de una red de piezómetros de control; Estos monitoreos deben de realizarse en temporadas de estiaje y avenidas (ciclo hídrico).

Tener un mayor control del río Ilo, (por ser la principal fuente de recarga del acuífero), a través del monitoreo de aforos con más puntos de registro a lo largo del río, para seguir conociendo a detalle el comportamiento del sistema río – acuífero; de la misma manera, estos registros de aforo realizarlos durante todo un ciclo hídrico (estiaje y avenidas).

Continuar con los estudios estructurales a detalle, sobre todo el monitoreo y control de la Falla Chololo, para identificar posibles rupturas que pueda ocurrir a considerables distancias de la falla principal; y cómo, estarían afectando a las propiedades de permeabilidad de las rocas (porosidad secundaria). Complementar con estudios geofísicos, con métodos que nos permitan conocer el grado de fracturamiento de las rocas (tomografías eléctricas), para conocer también el comportamiento de los flujos subterráneos.

Realizar el monitoreo hidroquímico de los manantiales identificados, en épocas de estiaje y avenidas, para comprobar la variabilidad de los componentes iónicos mayoritarios; así mismo, tener un control del comportamiento de la zona de interface o zona de mezcla y cuanto estaría afectando una intrusión marina de existir el caso.



Ing. JOSÉ LUJÍS MORENO HERRERA  
Especialista en Hidrogeología  
INGEMMET



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## REFERENCIAS

- Estudio geofísico hidrogeológico del subsuelo zona Chalaca y áreas de influencia – Ilo. Entidad prestadora de servicios de saneamiento Ilo (EPS Ilo S.A.).
- Informe N° 30-06-2020-OEFA/DEAM-EAFG; Resultados de la inspección local realizada en el Centro de Educación Básica Alternativa Jose Pardo y Barreda, debido a la presencia de fisuras en el piso. Dirección de evaluación ambiental, del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA.
- Reporte de peligro inminente N° 001-/2021/COEP-Ilo, “Asentamiento diferencial en viviendas por flujo de aguas subterráneas en el distrito de Ilo.
- Boletín: “Hidrogeología de la cuenca del río Ilo - Moquegua”, Ng, W. Peña, F. Acosta, H; – INGEMMET.
- Informe Técnico N° A6459 “Falla Activa Chololo”, Provincia de Ilo, región Moquegua por MSc. Carlos Benavente Escobar; – INGEMMET.
- Informe neotectónico de la falla geológica activa Chololo, Región Moquegua – Provincia de Ilo, Benavente, C. Garcia, B. Rosell, L; – INGEMMET.
- Adams, J.I. (1906) - Caudal, procedencia y distribución de aguas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Boletín Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (2008) - Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, MR. (1983) “Hidrología subterránea.” Ed. Omega, Barcelona.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA: AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA CAÑETE-FORTALEZA AUTORIDAD LOCAL DEL AGUA CHILLÓN-RÍMAC-LURÍN Evaluación de la Veda del Acuífero Chilca.
- DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL (2002). Estudios de Riesgos Geológicos del Perú Franja N° 3. Lima. INGEMMET. Boletín 27 Serie “C” Geodinámica e Ingeniería Geológica. 373 p.
- Huaco, D., Huaco, P. y Espejo, G. (1975), Comportamiento del Suelo de Cañete Asociado al Sismo del 3 de octubre de 1974, Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Giesecke, A., Ocola, L. y Silgado, E. (1980), El Terremoto de Lima del 3 de octubre de 1974, Informe Preparado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur a UNESCO, Contrato SC/RP 601-013.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú, SENAMHI (2010) - Mapa de Precipitación Anual, Periodo Normal (Septiembre – Mayo). En INDECI, Atlas de Peligros del Perú 2101, Lima.

## **ANEXOS**

- ANEXO I
  - Informe Técnico N° A6459, “Falla activa de Chololo, provincia de Ilo, región de Moquegua”, C. Benavente; INGEMMET.
- ANEXO II
  - Ensayos de infiltración.
- ANEXO III
  - Base de datos de Inventario de Fuentes / Parámetros fisicoquímicos.
  - Base de datos de resultados químicos.