

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6830

# ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL DISTRITO DE MÓRROPE

Región Lambayeque  
Provincia de Lambayeque  
Distrito de Mórrope



POR:

DANITZA SONIA MACHACA FERNANDEZ

BACLIMER QUISPE YANAPA

JOSEMANUEL F. CARPIO FERNANDEZ.

AGOSTO  
2018



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

**INGEMMET**

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

## ÍNDICE

1. ANTECEDENTES .....	4
1.2 Estudios anteriores.....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	5
2.1 Objetivos.....	5
2.2 Actividades .....	5
2.3 Equipo de trabajo. ....	6
2.4 Ubicación y Accesibilidad.....	6
2.5 Hidrología.....	6
3. GEOLOGÍA.....	8
3.1 Pleistoceno.....	8
3.2 Holoceno.....	8
4. HIDROGEOLOGÍA.....	10
5. HIDROQUÍMICA.....	12
5.1 Análisis de Resultados .....	12
5.2 Parámetros físico-químicos.....	12
5.3 Temperatura del agua (T).....	12
5.4 Conductividad eléctrica (CE).....	12
5.5 Potencial hidrogeno (pH).....	13
5.6 Análisis hidroquímico.....	16
5.7 Representación de datos.....	16
5.8 Facies hidroquímicas.....	19
5.9 Análisis de metales traza.....	21
5.10 Otros elementos .....	24
CONCLUSIONES.....	25
RECOMENDACIONES.....	26
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

  
Danitza Sonia Machaca Fernández 2  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP. N° 157541

## Relación de mapas e ilustraciones

### ANEXOS

Composición química de las aguas – Metales Totales

Composición química de las aguas – Metales Disueltos

### CUADROS

Cuadro 4.1 Fuentes inventariados en campo

Cuadro 4.2 Resistividades Eléctricas de la sección del subsuelo del Pozo La Piedra

Cuadro 5.1 Clasificación hidroquímica

Cuadro 5.2 Clasificación por contenido

### FIGURAS

Figura 2.1 Mapa de Ubicación.

Figura 3.1 Mapa Geológico.

Figura 4.1 Esquema de la sección del subsuelo del pozo La piedra, Mórrope, Lambayeque.

Figura 5.1 Mapa de parámetros fisicoquímicos del agua.

Figura 5.2 Mapa Hidroquímico.

Figura 5.3 Diagramas de Piper y Scatter de las fuentes de agua subterránea evaluadas en el distrito de Mórrope

Figura 5.4 Mapa de distribución de arsénico

### FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Depósitos yacimientos de valor económico

Fotografía 2: Depósitos aluviales cubiertos de sembríos de arroz.

### GRÁFICOS

Gráfico 5.1 Diagrama de comparación entre los valores de CE y los ECA 1(A1) Y 3

Gráfico 5.2 Diagrama de comparación entre los valores de pH y el ECA 1(A1).

Gráfico 5.3 Diagrama de comparación entre los valores de As y el ECA 1(A1).

Gráfico 5.4 Diagrama de comparación entre los valores de bario (Ba), molibdeno (Mo), arsénico (As), uranio (U) y plomo (Pb) con el ECA 1(A1).

## ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL DISTRITO DE MÓRROPE

### 1. ANTECEDENTES

La Gerencia Ejecutiva de Energía y Minas del Gobierno Regional de Lambayeque, mediante oficio N°000568-2018-GR.LAMB/GEEM [2820480-0], se dirige al presidente del consejo directivo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitando tomar acciones sobre estado de emergencia en el distrito Mórrope, en referencia al DECRETO SUPREMO N°047-2018-PCM, que declara el estado de emergencia en algunas localidades del distrito de Mórrope, provincia de Lambayeque por desastre de contaminación de agua para consumo humano.

Durante los trabajos de campo se contó con el apoyo logístico por parte de la Gerencia Ejecutiva de Energía y Minas del Gobierno Regional de Lambayeque y el apoyo en campo del Ing. Roger E. Inoñan Santisteban representante de la municipalidad distrital de Mórrope; adicionalmente se entrevistaron a pobladores, con la finalidad de obtener referencias históricas acerca del tiempo de explotación.

#### 1.2 Estudios anteriores

Se cuenta con varios trabajos de investigaciones en la región Lambayeque los cuales se tratan de temas como geología, minería, geodinámica, contaminación ambiental; dentro de ellos tenemos:

- **MCLCP-CITBM (2018) “Informe técnico de medición y análisis por fluorescencia de rayos X”**. En donde realizaron los análisis de tres muestras de aguas extraídas en el pozo de agua del centro poblado de Cruz del Médano y del pozo de agua la Tortolita. Mencionan que los valores del contenido de arsénico están por encima del límite establecido por la Normativa Peruana y la muestra de agua de la ribera del río Túcume no presenta contenido de arsénico o están por debajo de los límites de detección de su equipo de medición.
- **COEN - INDECI (2018) “Informe de emergencia contaminación por arsénico en el agua subterránea afecta al distrito de Mórrope – Lambayeque”**. Donde detalla los antecedentes y las acciones tomadas por las instituciones involucradas, frente a las aguas contaminadas.
- **INGEMMET (2017) “Prospección de recursos de rocas y minerales industriales en la región Lambayeque”**. Hace referencia a los yacimientos no metálicos que se desarrollan en el distrito Mórrope, describiendo su ocurrencia. Además, mencionan la presencia de varios elementos químicos.
- **INGEMMET (2007) “El estudio geoambiental de la cuenca del río Chancay Lambayeque”**. Evaluó la susceptibilidad a los movimientos en masa, peligros geológicos e hidrogeológicos. Aportó un análisis de línea base geoambiental de los recursos y potencialidades de la cuenca.
- **GAMARRA J. (2014) “Informe de Diagrfía Eléctrica del pozo La Piedra, Mórrope, Lambayeque”**. Donde detalló los estudios previos hechos antes de la perforación del pozo la Piedra a 200 m.
- **INGEMMET (1980) “Geología de los cuadrángulos de Bayóvar, Sechura, La redonda, Pta. la Negra Lobo de Tierra, las Salinas y Mórrope”**. Describe las formaciones geológicas que se encuentran dentro el distrito de Mórrope haciendo énfasis a las del Cenozoico (tablazos y los depósitos cuaternarios)

## 2. INTRODUCCIÓN.

El presente informe contiene el análisis e interpretación de la evaluación hidrogeológica realizada en las fuentes de agua subterránea afectadas ubicadas en el distrito Mórrope, según el decreto supremo N°047-2018-PCM.

El trabajo parte de la revisión bibliográfica basados en la carta geológica nacional, asimismo se apoyó en el informe de diagráfia eléctrica del pozo La Piedra, Mórrope Lambayeque desarrollado por el consorcio A&M para conocer e interpretar los distintos niveles que conforman el posible sistema acuífero.

El trabajo de campo consistió en el inventario y muestreo de pozos tubulares, se midieron parámetros físicos químicos a los pozos de tajo abierto, los datos fueron registrados en fichas, libreta de campo, mapas y fotografías.

Las muestras obtenidas se analizaron en el laboratorio de INGEMMET por el método de espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) y espectrometría de la masa por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) que dio como resultado la composición química de las aguas subterráneas.

El probable sistema acuífero multicapa contiene aguas de distinta composición química, para ello se tomó en cuenta el análisis de los aniones y cationes mayoritarios, así como los elementos traza, dándole especial énfasis al arsénico, debido a que la ocurrencia de este elemento en el distrito Mórrope es elevada. Cabe mencionar que este elemento frecuentemente está presente en el agua como arsénico (As) geogénico, el cual esta mayormente vinculado al entorno por disolución natural o desgaste de rocas.

### 2.1 Objetivos

#### a) Objetivo general

Realizar la evaluación de las aguas subterráneas del sector Mórrope, en función al decreto supremo N° 047-2018-PCM, que declara el estado de emergencia en algunas localidades del distrito de Mórrope, provincia y departamento de Lambayeque, por desastre, a consecuencia de contaminación de agua para consumo humano.

#### b) Objetivos específicos

- Realizar el inventario de fuentes de agua subterránea y toma de muestras para análisis químico (Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> y metales disueltos) e isotópico (Deuterio y Oxígeno-18).
- Realizar la medición de los parámetros físicos (T°, CE, TDS), químicos (pH, Oxígeno Disuelto) de las fuentes inventariadas.

### 2.2 Actividades

El estudio ha seguido las siguientes etapas: recopilación de información, registro de datos, caracterización hidroquímica, cálculo, análisis, además de conclusiones recomendaciones. Los registros de inventario se tomaron en campañas de campo, donde se realizó el inventario de fuentes de agua subterránea, midiendo in situ parámetros físico-químicos y tomando muestras de aguas según el protocolo de muestreo de INGEMMET; para los criterios de muestreo se consideró tomar la muestra

en flujo constante para conocer la relación agua-roca del sistema acuífero.

### 2.3 Equipo de trabajo

En la elaboración del presente reporte, participó Ing. Danitza Sonia Machaca Fernandez, geólogo Baclimer Quispe Yanapa y con el apoyo del Ing. Josemanuel F. Carpio Fernández.

### 2.4 Ubicación y Accesibilidad

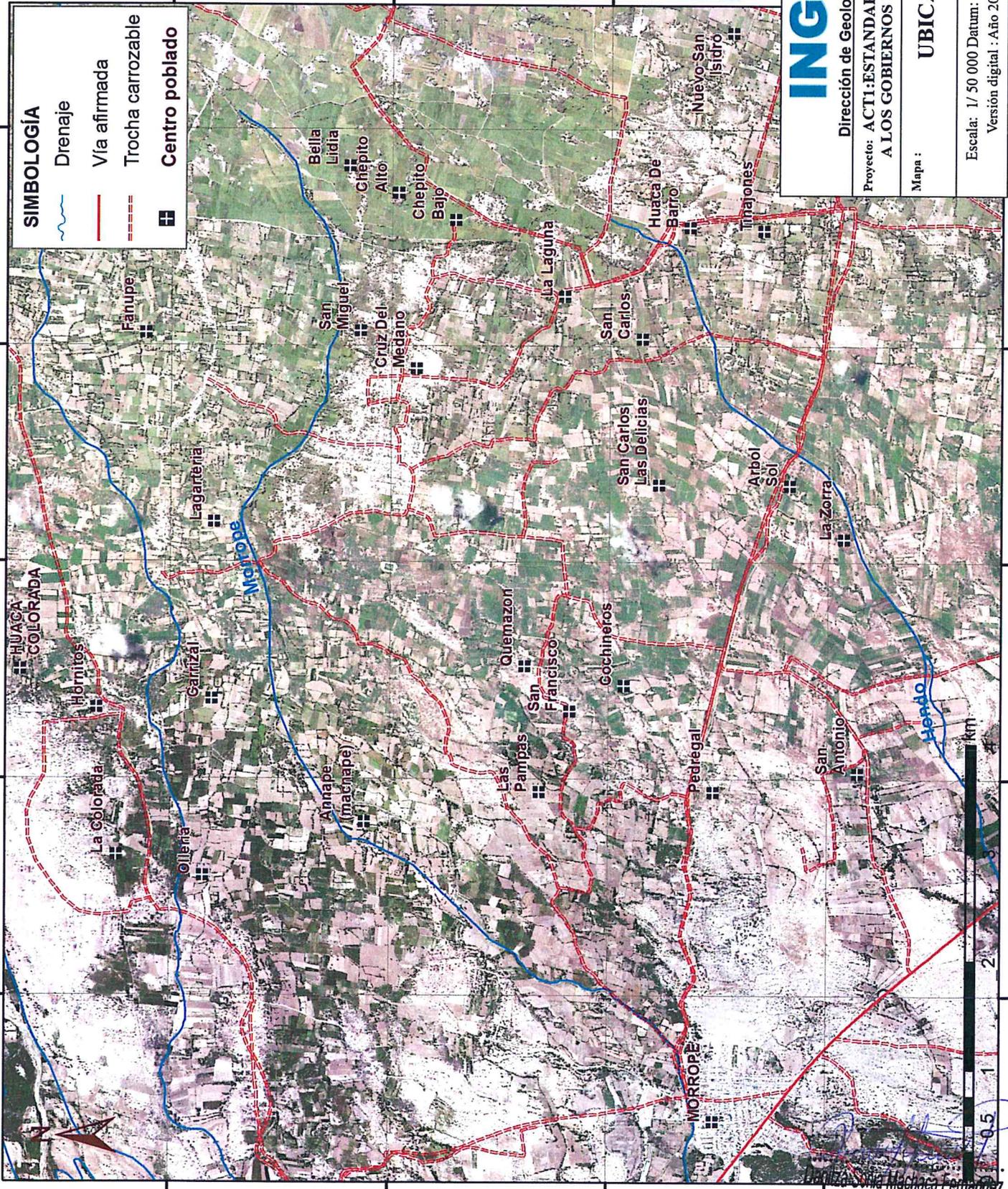
La zona de estudio se encuentra ubicada en el distrito Mórrope, región Lambayeque. La ciudad de Mórrope se ubica a una altura de 23 m.s.n.m, en las siguientes coordenadas UTM 609396E y 9278222N a 609025E y 9277210N. (Figura 2.1).

Es accesible por vía terrestre desde la ciudad de Chiclayo a una distancia de 32 Km. se llega a través de la carretera Panamericana Norte; por vía aérea existen vuelos comerciales con una duración de 1 hora y 30 minutos (aproximadamente desde el aeropuerto Jorge Chávez (Lima) hacia el aeropuerto Internacional Capitán FAP José A. Quiñones (Chiclayo).

### 2.5 Hidrología

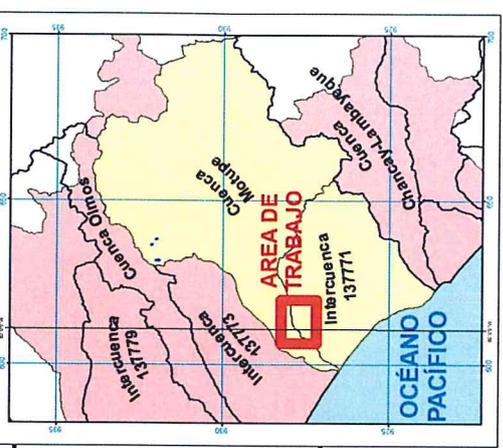
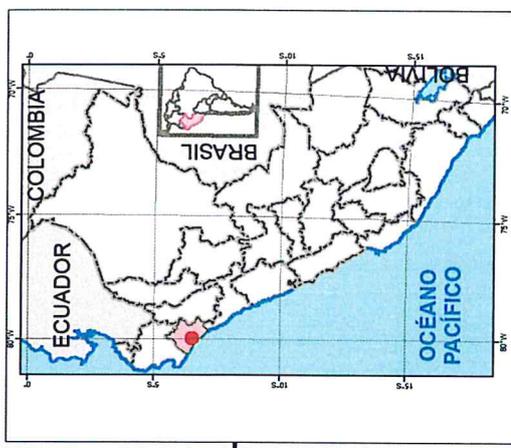
Dentro de un año hidrogeológico se diferencian las siguientes épocas:

- Época de avenidas, donde se desarrollan la mayor cantidad de precipitaciones permitiendo que se forme el río Mórrope mediante el excedente de los ríos Motupe y La Leche. El río La Leche desemboca al río Motupe en la parte Nor Oeste de la localidad de Íllimo.
- En época de estiaje el cauce del río Mórrope permanece seco, debido a la ausencia de lluvias; sin embargo, la demanda de agua es atendida por el partidor Cachinche, mediante el canal Túcume, a través de un sistema regulado.



**SIMBOLOGÍA**

	Drenaje
	Vía afirmada
	Trocha carrozable
	Centro poblado



**INGEMMET**

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Proyecto: ACT1:ESTANDARIZACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA  
A LOS GOBIERNOS LOCALES, REGIONALES Y NACIONAL

Mapa : **UBICACIÓN**

FIGURA N° **2.1**

Escala: 1/ 50 000 Datum: WGS 84 Zona 17Sur  
Versión digital : Año 2018 Lima - Perú

### 3. GEOLOGÍA

En base a lo descrito por Oscar Palacios y Natalio De La Cruz (1980) y la revisión del mapa integrado del cuadrángulo de Mórrope (2017), se puede decir que la zona de estudio anteriormente estuvo cubierta por el mar más allá de los límites actuales, habiéndose levantado la costa en forma de terrazas (Formación Tablazos), dejando al descubierto depósitos de variables espesores y de diversas litologías (depósitos lacustrinos, marinos, eólicos, aluviales) (Figura 3.1).

#### Cuaternario

##### 3.1 Pleistoceno

Al noroeste de Mórrope se localizan los remanentes de la Formación Tablazos, que está constituida por conglomerados lumaquéllicos o lumaquelas poco consolidadas en matriz bioclástica o arenisca arcósica, los litoclastos se componen de rocas de naturaleza variada. Los **depósitos lacustrinos** están constituidos por lodos o arcillas bituminosas grises - negras, mientras que, superficialmente se tienen arenas salobres. En la zona de Mórrope, estos depósitos constituyen yacimientos de evaporitas (fotografía 1).



Fotografía 1. Depósitos que generan yacimientos de valor económico (yeso y sal común), como resultado de hipersaturación de lagunas.



Fotografía 2. Depósitos aluviales cubiertos de sembríos de arroz.

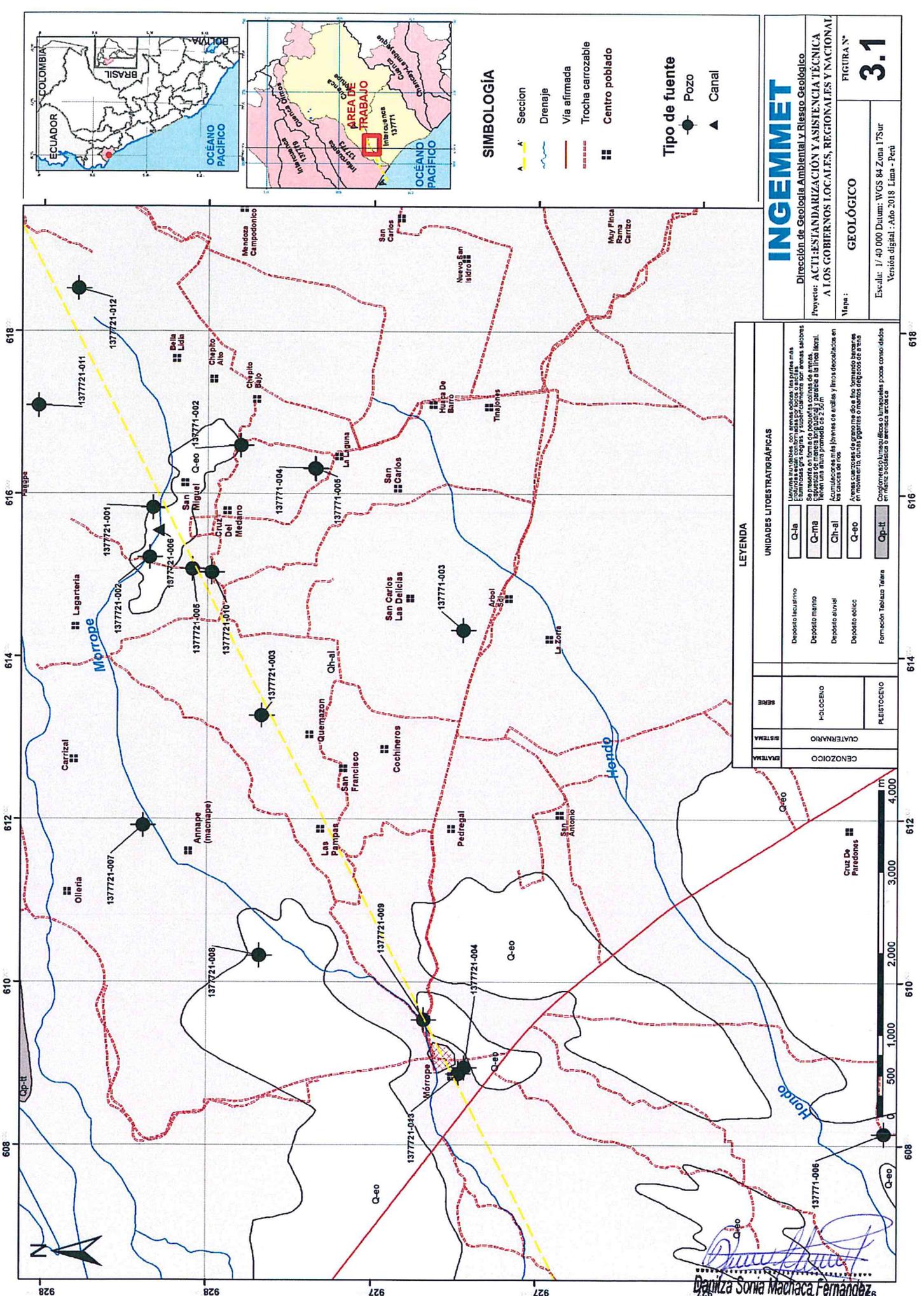
El depósito marino se presenta en forma de colinas de arenas dispuestas longitudinal y paralelamente a la línea litoral. Se extiende desde las salinas del distrito de Mórrope.

##### 3.2 Holoceno

En el distrito de Mórrope, el **depósito eólico** cubre extensas llanuras. Están constituidos por dunas de diferente tamaño y mantos delgados de arena (cuarzosas de grano medio a fino) semi consolidada.

Los **depósitos aluviales** son las acumulaciones más jóvenes, constituyen arcilla y limos depositados en lo largo del cauce del río Mórrope.

El distrito de Mórrope está emplazado sobre este depósito, donde se han desarrollado actividades agrícolas como el sembrío de arroz.



# INGEMMET

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
 Proyección: ACTI-ESTANDARIZACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA  
 A LOS GOBIERNOS LOCALES, REGIONALES Y NACIONAL

Mapa : GEOLOGICO  
 Escala: 1/40 000 Datum: WGS 84 Zona 17Sur  
 Versión digital : Año 2018 Lima - Perú

FIGURA N°  
**3.1**

## SIMBOLOGÍA

- A - A' Sección
- Drenaje
- Via afirmada
- Trocha carrozable
- Centro poblado

## Tipo de fuente

- Pozo
- ▲ Canal

## LEYENDA

SERIE	SISTEMA	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS
HOLOCENO	CUATERNARIO	Deposito lacustre
		Deposito medio
		Deposito aluvial
		Deposito eólico
PLEISTOCENO		Formación tabazo Taura

*[Signature]*  
**Daviza Sonia Machaca Fernandez**  
 INGENIERA GEOLOGA  
 CIP. N° 157541

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

Durante la campaña de campo realizada por INGEMMET, se registró de un total de 21 fuentes, de los cuales se seleccionaron 14 para realizar el muestreo. (cuadro 4.1)

Cuadro 4.1  
 Fuentes inventariados en campo

N°	Código	Nombre	Coordenadas		Cota	Tipo de fuente
			Este	Norte	m.s.n.m	
1	137771-001	Toma Cachinche *	631707	9278893	48	Punto de control
2	1377721-001	Tortolita (Tranca Fanupe) *	615833	9280661	37	Pozo tubular
3	1377721-002	Cruz del Medano - Proyecto Nuevo *	615219	9280701	38	Pozo tubular
4	137771-002	Cruce La Zenaida - Caserío Lagunas *	616598	9279600	35	Pozo tubular
5	1377721-003	Caserío Quemazon *	613275	9279342	24	Pozo tubular
6	1377721-004	IRHS-06 *	608950	9276870	22	Pozo tubular
7	137771-003	Caserío Arbolsol *	614327	9276900	19	Pozo tubular
8	1377721-005	Cruz del Medano Antiguo *	615077	9280184	49	Pozo tubular
9	1377721-006	Canal Mórrope	615549	9280601	33	Punto de control
10	137771-004	Caserío Lagunas Centro *	616318	9278705	32	Pozo tubular
11	1377721-007	Caserío Carrizal *	611924	9280773	31	Pozo tubular
12	1377721-008	Caserío Ananpe *	610327	9279361	32	Pozo tubular
13	137779-001	Salinas *	576203	9305607	7	Pozo tubular
14	1377721-009	Mórrope Principal *	609540	9277367	11	Pozo tubular
15	1377721-010	Cruz del Médano Parque Principal	615036	9279951	23	Pozo tajo abierto
16	1377721-011	Caserío Tranca Sasape	617089	9282062	31	Pozo tajo abierto
17	1377721-012	Los Pósitos	618531	9281580	38	Pozo tajo abierto
18	137771-005	Caserío Las Lagunas -Benito Sánchez	616309	9278694	30	Pozo tajo abierto
19	1377721-013	Mórrope Parque Central	608876	9276944	18	Pozo tajo abierto
20	137771-006	Cartagena	608145	9271739	12	Pozo tajo abierto
21	137771-007	Dos Palos	605661	9271813	11	Pozo tajo abierto

\*Fuentes seleccionadas para muestreo químico.

El área de estudio se encuentra sobre material poroso no consolidado, generalmente con buenas características para almacenar y transmitir agua, sin embargo, se desconoce el espesor de los distintos tipos de acuíferos (libre, semiconfinado y confinado) que componen el sistema del acuífero.

  
 Daritza Sonia Machaca Fernández 10  
 INGENIERA GEÓLOGA  
 CIP. N° 157541

Según el informe de diagráfia eléctrica en el pozo La Piedra, Mórrope, Lambayeque solicitado por Consorcio A&M Contratistas, se tiene las siguientes secuencias litológicas que se detallan en el cuadro 4.2 y en la figura 4.1.

Cuadro 4.2  
 Resistividades eléctricas de la sección del subsuelo del pozo La Piedra

Sección del Subsuelo	Litología	Permeabilidad	Salinidad
2.00-15.50	Arena arcillosa	Media	Media a baja
15.50-19.00		Baja	Media a baja
19.00-112.00	Intercalación de arcillas y arenas	Muy baja a nula	Alta
112.00-123.80	Arcilla	Nula	Alta
123.80-144.00	Intercalación de arcillas y arenas	Media a baja	Alta
144.00-154.00	Arcilla	Nula	Alta
154.00-162.80	Intercalación de arcillas y arenas	Media a baja	Media a baja
162.70-172.00	Arcilla	Nula	Media a baja
172.00-179.80	Arena y gravilla	Media	Media a baja
179.80-184.00	Arcilla	Nula	Media a baja
184.00-196.50	Arena y gravilla	Media	Media a baja

En la Figura 4.1 se diferencian los distintos tipos de acuíferos de composición variada, cabe mencionar que el acuífero que se encuentra a mayor profundidad es vulnerable a ser mezclado por los flujos de capa suprayacentes con distinta mineralización ya que las capas de baja permeabilidad presentan alta salinidad.

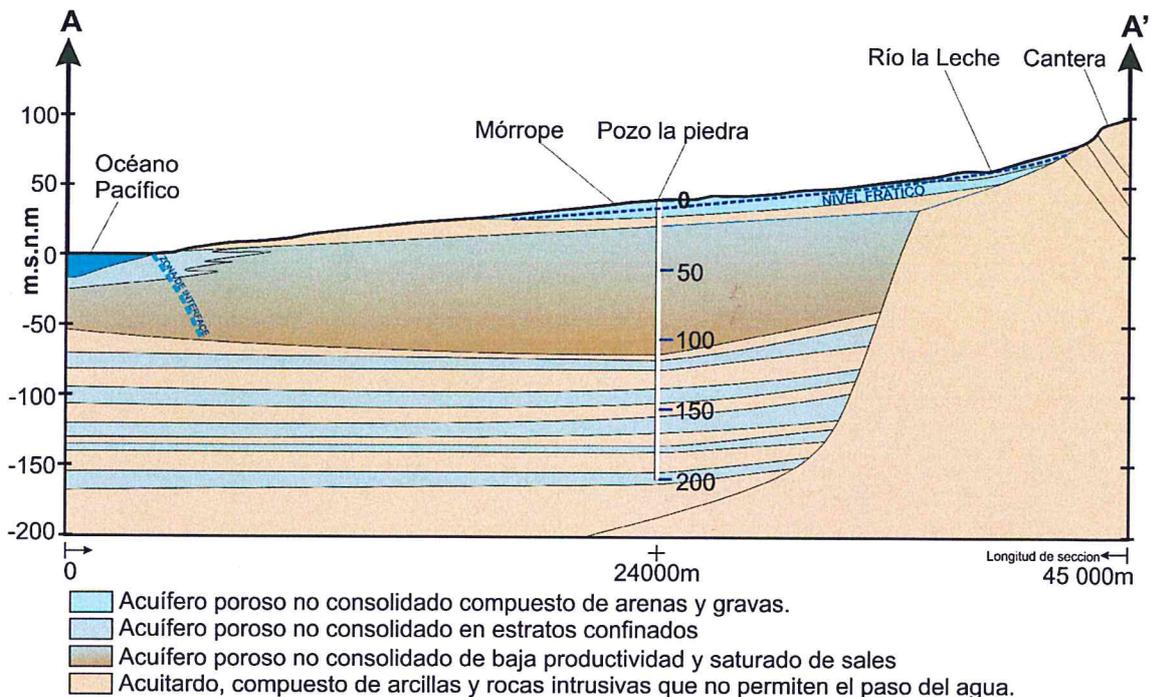


Figura 4.1 Esquema de la sección del subsuelo del pozo La Piedra, Mórrope, Lambayeque.

## 5. HIDROQUÍMICA

### 5.1 Análisis de Resultados

El análisis químico de las muestras recolectadas, se realizó en el laboratorio de INGEMMET, que comprendió determinar los iones, cationes mayoritarios (Ca, Na, Mg, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl) y metales disueltos (Fe, As, Pb, etc.), incidiendo en los metales pesados. Los Análisis, detalles, métodos y documentos adicionales se encuentran en el Anexo 1 del presente informe.

### 5.2 Parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos de las fuentes de agua subterránea se recolectaron *in situ*, empleando el multiparámetro previamente calibrado de acuerdo a los manuales del fabricante. Para el presente trabajo se recolectaron datos de temperatura del agua, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos y pH del agua.

### 5.3 Temperatura del agua (T)

La temperatura de las aguas subterráneas juega un papel importante y está en estrecha relación con los otros parámetros físico-químicos del agua. Las aguas subterráneas son poco variables en la temperatura (Custodio y Llamas, 1983).

La temperatura de las fuentes evaluadas varía entre 22.2°C hasta 30.5°C. Es necesario tener en cuenta que la variación de la temperatura influye en la solubilidad de las sales y elementos químicos como el arsénico entre otros. Así mismo, mientras más elevada sea su temperatura y siga en circulación por el medio, el agua subterránea tendrá mayor efecto de disolución, lo que se corrobora con valores de conductividad eléctrica.

### 5.4 Conductividad eléctrica (CE)

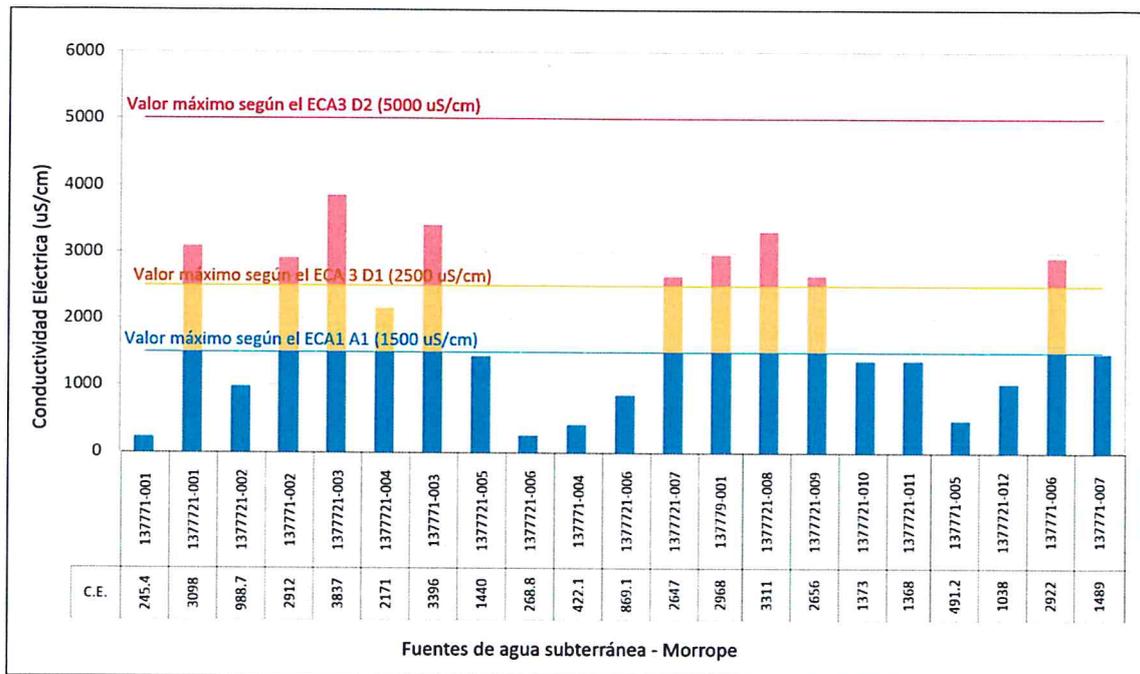
Este parámetro representa la capacidad del agua, a permitir el paso de la corriente eléctrica por el medio (Custodio, 2009), reflejando de manera cuantitativa la cantidad de sales disueltas y iones que tenga el agua. Su variación se debe al contacto de las aguas subterráneas con materiales solubles por efecto de la circulación en formaciones que contienen sustanciales cantidades de sólidos disueltos (sales, sulfatos, yeso etc.).

El sector evaluado por encontrarse sobre un material poroso no consolidado de distinta naturaleza, permite la formación de unidades hidrogeológica como acuíferos libres, confinados y semiconfinados. La CE de las aguas subterráneas de los acuíferos dependen de la sobreexplotación, del tipo de recarga y la actividad antrópica.

Los valores de conductividad varían de 245.40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (137771-001) a 3837.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1377721-003); los cuales pueden estar condicionados por: el tipo de actividad antrópica, ubicación topográfica, litología por donde circula el agua subterránea y la presencia de paleocanales lo que deberá evaluarse con estudios de geofísica y pruebas hidráulicas locales, los cuales permitirán un mayor entendimiento del comportamiento hidráulico del agua subterránea.

En el grafico 5.1 se observa la comparación entre los valores de CE y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para consumo humano (1-A1); para riego de vegetales (3-D1) y bebida de animales (3-D2). El diagrama Wilcox nos permite analizar el agua para riego (Anexo 2).

Los valores bajos de CE corresponden a puntos de control y los valores más altos corresponden a los pozos tubulares cuya profundidad es variable entre 40 a 200 m aproximadamente.



**Gráfico 5.1** Diagrama de comparación entre los valores de CE y los ECA 1(A1) Y 3.

En la gráfica 4.1 se aprecia que las fuentes: 1377721-001(Tortolita), 137771-002 (Cruce La Zenaida), 1377721-003 (Caserío Quemazón), 1377721-004 (IRHS-06), 137771-003 (Caserío Arbolsol), 1377721-007 (Caserío Ananpe), 137779-001 (Salinas), 1377721-008 (Mórrope Principal), 1377721-009 (Cruz del Medano Parque Principal) corresponden a pozos tubulares que sobre pasan el ECA A1 para consumo humano; cabe mencionar que estos pozos tienen distintas profundidades, volúmenes de extracción y litología, en consecuencia la composición y disolución de sales es variable, lo que se debe corroborar monitoreando los valores en distintas épocas del año (avenidas y estiaje). Así mismo se observa que lo pozos correspondientes a las barras pintadas en color rojo sobrepasan los valores del ECA3 D1 (riego de vegetales).

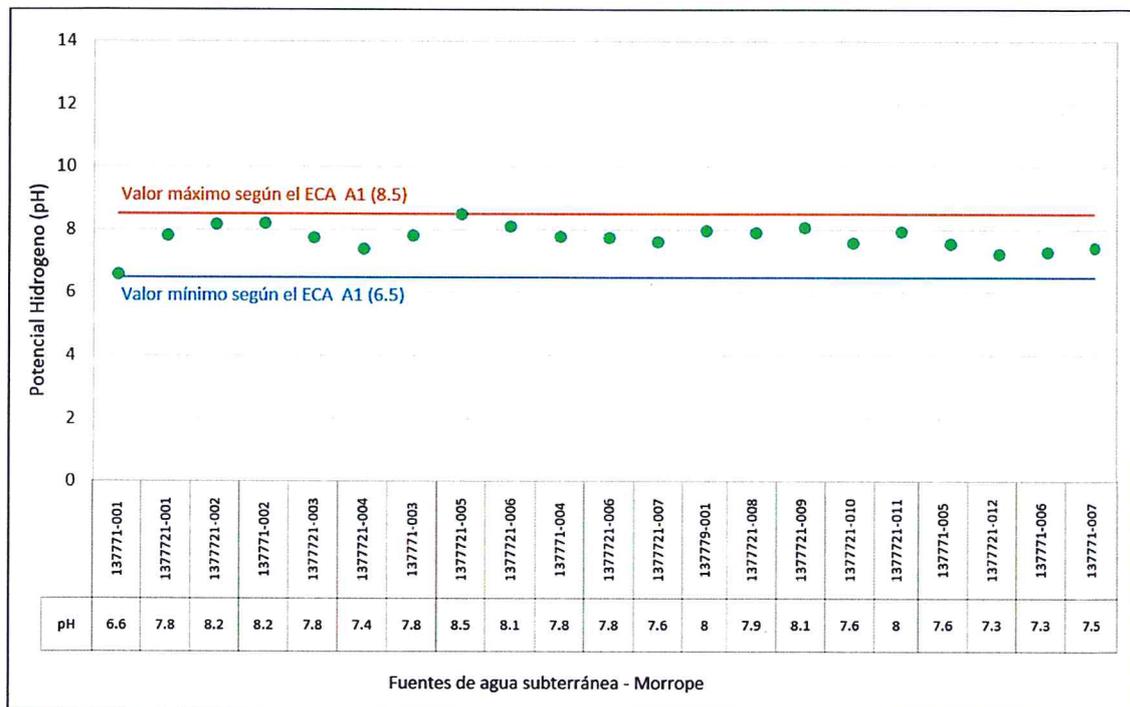
Los altos valores de C.E. probablemente es a causa de flujos intermedios y regionales, por lo que es necesario evaluar desde el área de recarga hasta el punto de extracción.

Los valores de Total de Solidos Disueltos (TSD) recolectados en campo, se hicieron a través de la medición directa (*in situ*) con equipos portátiles (multiparámetros), obteniéndose valores que varían de 120.70 a 1861.00 mg/L.

### 5.5 Potencial hidrogeno (pH)

El pH del agua subterránea suele encontrarse entre 6.5 y 8 (Martínez et al. 2006). La variación en los valores de pH en los pozos evaluados depende de distintos factores como: el área en donde se produce la recarga del agua subterránea; el contacto con distintas litologías lo que produce la oxidación y descomposición de los minerales o disolución de sales que constituyen las rocas.

En el gráfico 5.2 se observa la comparación entre los valores de pH y el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para consumo humano (ECA categoría 1 - Subcategoría A1). Los valores de pH de los puntos de control, pozos tubulares y tajo abierto evaluados, se encuentran dentro del rango establecido en el ECA.



**Gráfico 5.2** Diagrama de comparación entre los valores de pH y el ECA 1(A1).

Los valores de pH se encuentran próximos a la neutralidad los mismos que pueden generarse en condiciones reductores u oxidantes, lo cual deberá determinarse en futuros monitoreos fisicoquímicos.

En la figura 5.1 se presenta las fuentes de agua subterránea y punto de control que cuentan con muestreo, así como los parámetros fisicoquímicos tomados *insitu* (temperatura, potencial hidrogeno y conductividad eléctrica) para cada punto.



Daniela Sonia Machaca Fernández  
INGENIERA GEÓLOGA.  
CIP. N° 157541

## 5.6 Análisis hidroquímico

### Clasificación de las aguas

Para la clasificación de las aguas se ha tomado en cuenta los principales aniones (bicarbonato, carbonato, sulfato, cloruro) y cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio), correspondiendo a la clasificación geoquímica; siguiendo la metodología de la clasificación geoquímica de iones dominantes se desarrolló el cuadro 5.1.

**Cuadro 5.1**  
 Clasificación hidroquímica

N°	Código	Nombre	Tipo de fuente	Anión dominante	Catión dominante	Denominación
1	137771-001	Toma Cachiñche	Punto de control	HCO <sub>3</sub>	Ca	Bicarbonatada cálcica
2	1377721-001	Tortolita (Tranca Fanupe)	Pozo tubular	Cl-SO <sub>4</sub>	Na	Clorurada sódica
3	1377721-002	Cruz del Médano Proyecto Nuevo	Pozo tubular	HCO <sub>3</sub> -Cl	Na	Bicarbonatada sódica
4	137771-002	Cruce La Zenaida - Caserío Lagunas	Pozo tubular	SO <sub>4</sub> -Cl-HCO <sub>3</sub>	Na	Sulfatada sódica
5	1377721-003	Caserío Quemazón	Pozo tubular	Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	Na	Clorurada sódica
6	1377721-004	IRHS-06	Pozo tubular	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na	Clorurada sódica
7	137771-003	Caserío Arbolsol	Pozo tubular	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na	Clorurada sódica
8	1377721-005	Cruz del Médano Antiguo	Pozo tubular	Cl-HCO <sub>3</sub>	Na	Clorurada sódica
9	1377721-006	Canal Mórrope	Punto de control	HCO <sub>3</sub>	Ca	Bicarbonatada cálcica
10	137771-004	Caserío Lagunas Centro	Pozo tubular	HCO <sub>3</sub>	Ca	Bicarbonatada cálcica
11	1377721-007	Caserío Carrizal	Pozo tubular	HCO <sub>3</sub>	Na	Bicarbonatada sódica
12	1377721-008	Caserío Ananpe	Pozo tubular	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na	Clorurada sódica
13	137779-001	Salinas	Pozo tubular	Cl	Na	Clorurada sódica
14	1377721-009	Mórrope Principal	Pozo tubular	Cl	Na	Clorurada sódica

## 5.7 Representación de datos

### Mapa hidroquímico y diagramas de Stiff modificado

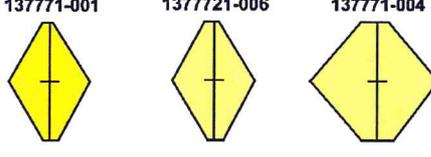
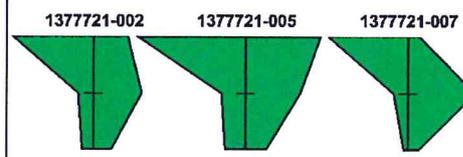
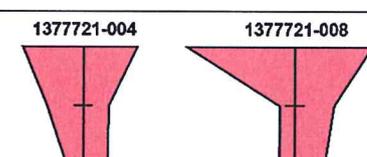
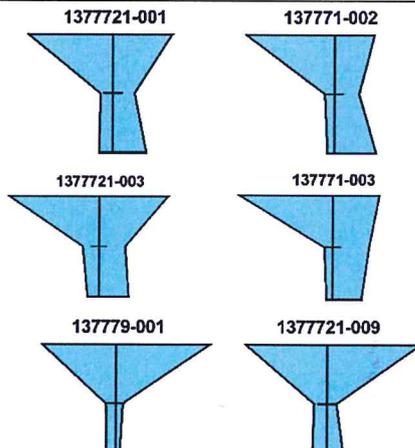
La representación gráfica de los iones mayoritarios, obtenidos a partir de los resultados químicos realizados, se realizan empleando el diagrama de Stiff modificado. En donde se representa los contenidos de sus componentes (Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Na, Ca, Mg) expresados en miliequivalentes por litro (meq/L).

Con estos diagramas, se elaboró el mapa hidroquímico (figura 5.2), en el cual se puede observar la evolución y predominancia de las concentraciones de los elementos anteriormente mencionados, diferenciando los diagramas por su color y escala gráfica.

  
 Daniza Sonia Máchaca Fernández  
 INGENIERA GEÓLOGA  
 CIP. N° 157541

Los diagramas de Stiff se han clasificado en 4 colores y a 4 escalas distintas, los cuales se detallan en el cuadro 5.2.

**Cuadro 5.2**  
 Clasificación por contenido

N°	Escala meq/L	Color de clasificación	Diagrama Stiff	Código de muestra
1	0 a 5	Amarillo		Toma Cachinche 137771-001 Canal Mórrope 1377721-006 Caserío Lagunas Centro 137771-004
2	5 a 10	Verde		Cruz del Medano Proyecto Nuevo 1377721-002 Cruz del Medano Antiguo 1377721-005 Caserío Carrizal 1377721-007
3	10 a 20	Naranja		IRHS-06 1377721-004 Caserío Ananpe 1377721-008
4	20 a 30	Azul		Tortolita (Tranca Fanupe) 1377721-001 Caserío Quemazon 1377721-003 Caserío Arbolsol 137771-003 Cruce Las Zenaida 137771-002 Salinas 137779-001 Mórrope Principal 1377721-009

- Los diagramas de Stiff de color amarillo corresponden a los puntos de control de agua superficial cuya renovación y flujo es constante. Respecto a la fuente caserío Lagunas Centro (137771-004) es un pozo tubular cuyo enriquecimiento iónico es leve, relacionado directamente al tipo de flujo y su litología del medio de circulación.
- Los diagramas de Stiff de color verde rojo y azul corresponden a los pozos con altas concentraciones y mayor enriquecimiento iónico; estas características corresponden a pozos tubulares de distintas profundidades los cuales pueden estar relacionados con distintos tipos de litología debido a las características de los tipos de acuíferos.

  
 Danitza Sonia Machaca Fernández  
 INGENIERA GEÓLOGA  
 CIP. N° 157541



**Daniela Sonia Machaca Fernández**  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP. N° 157541

## 5.8 Facies hidroquímicas

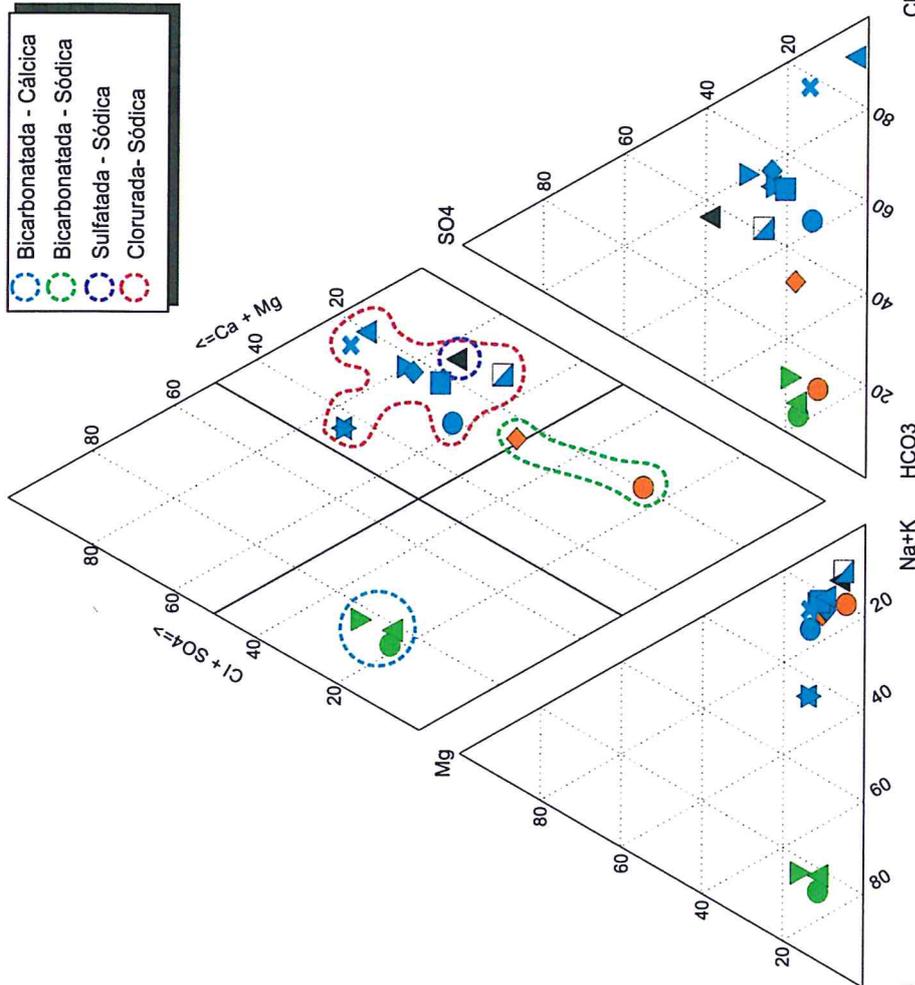
El diagrama de Piper, está formado por dos diagramas triangulares en la base y un rombo central. En cada triángulo equilátero se representa la concentración de los cationes y aniones al 100%, obteniéndose una ubicación por cada muestra en cada triángulo, luego; estos se proyectan al rombo superior, donde finalmente se aprecian las similitudes y diferencias con otras muestras, pero también al tipo (facie o familia) de agua al que pertenecen.

De las 14 muestras analizadas se tiene un predominio común de cuatro facies hidroquímicas: bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas, sulfatadas sódica y clorurada sódica.

- Las fuentes de predominancia bicarbonatada cálcica ( $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ), representan surgencias de agua subterránea muy jóvenes y corresponden a sistemas de flujo locales de muy corto recorrido, los bicarbonatos están relacionados a la reacción del  $\text{CO}_2$ , provenientes del suelo, que presentan una elevada concentración adquirida en los primeros metros de la infiltración (zona no saturada). Las fuentes que pertenecen a este tipo y facie corresponden a Toma Cachinche (137771-001), Canal Mórrope (1377721-006) y al pozo Caserío Lagunas Centro (137771-004), se infiere que este pozo extrae el agua del acuífero libre o subsuperficial, el cual podría estar recargándose de las infiltraciones locales, se demuestra en el diagrama e Scatter (figura 5.3).
- Las fuentes de predominancia bicarbonatada sódica ( $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ), representan surgencias de agua subterránea con mayor tiempo de residencia relativa en el acuífero, se infiere la presencia de un sistema de flujo intermedio en las fuentes Caserío Carrizal (1377721-007) y en Cruz del Médano proyecto Nuevo (1377721-002), esta última tiene un incremento del anión cloruro, esto indica que las surgencias podrían estar relacionada a sales, con mayor recorrido y tiempo de permanencia en el acuífero, es zona de posible mezcla.
- La fuente Cruce La Zenaida - Caserío Lagunas (137771-002) tiene predominancia sulfatada sódica ( $\text{SO}_4\text{-Na}$ ), representa surgencias de agua subterránea con mayor tiempo de permanencia en el acuífero, están relacionadas a flujo intermedio a regional, con tendencia a clorurada sódica por la predominancia el anión cloruro. Puede contener elementos iónicos elevados por el contacto de las aguas con la disolución de rocas lo que podrían relacionarse con un acuífero semiconfinado a confinado, mostrando un posible sector de mezcla de agua.
- Las fuentes de predominancia clorurada sódica ( $\text{Cl-Na}$ ) corresponden a las fuentes Salinas (137779-009) y Mórrope Principal (1377721-009) relacionadas a sistemas de flujos regionales de considerable recorrido, probablemente por la presencia de mares pretéritos, por lo que se infiere que el flujo podría estar alcanzando estratos más salinos que conforman parte de los acuíferos semiconfinado o confinado. Las fuentes Tortolita (Tranca Fanupe) (1377721-001) y Caserío Quemazón (1377721-003) tienen variaciones a facies cloruradas sulfatadas; asimismo las fuentes: IRHS-06 (1377721-04), Caserío Arbolsol (137771-003), Cruz del Médano Antiguo (1377721-005), Caserío Ananpe (1377721-008) tienen variaciones a facies cloruradas-bicarbonatadas y con contenidos mayoritarios del catión sodio, debido a una probable zona de mezcla.

Los diagramas de Stiff modificado y Piper; representan la misma clasificación de las aguas, de acuerdo a la clasificación geoquímica de iones predominantes.

**Diagrama Piper**



- Bicarbonatada - Cálcica
- Bicarbonatada - Sódica
- Sulfatada - Sódica
- Clorurada- Sódica

- 137771-001
- ▲ 137771-001
- ◆ 1377721-002
- ◆ 1377721-002
- ◆ 1377721-003
- ◆ 1377721-003
- ▲ 1377721-006
- ▲ 1377721-006
- ▲ 137779-001
- ▲ 137779-001
- 1377721-007
- 1377721-007
- 1377721-008
- 1377721-008
- 1377721-005
- 1377721-005
- ▲ 137771-004
- ▲ 137771-004
- ▲ 137771-004
- ▲ 137771-004
- ▲ 137771-004

**Diagrama Scatter**

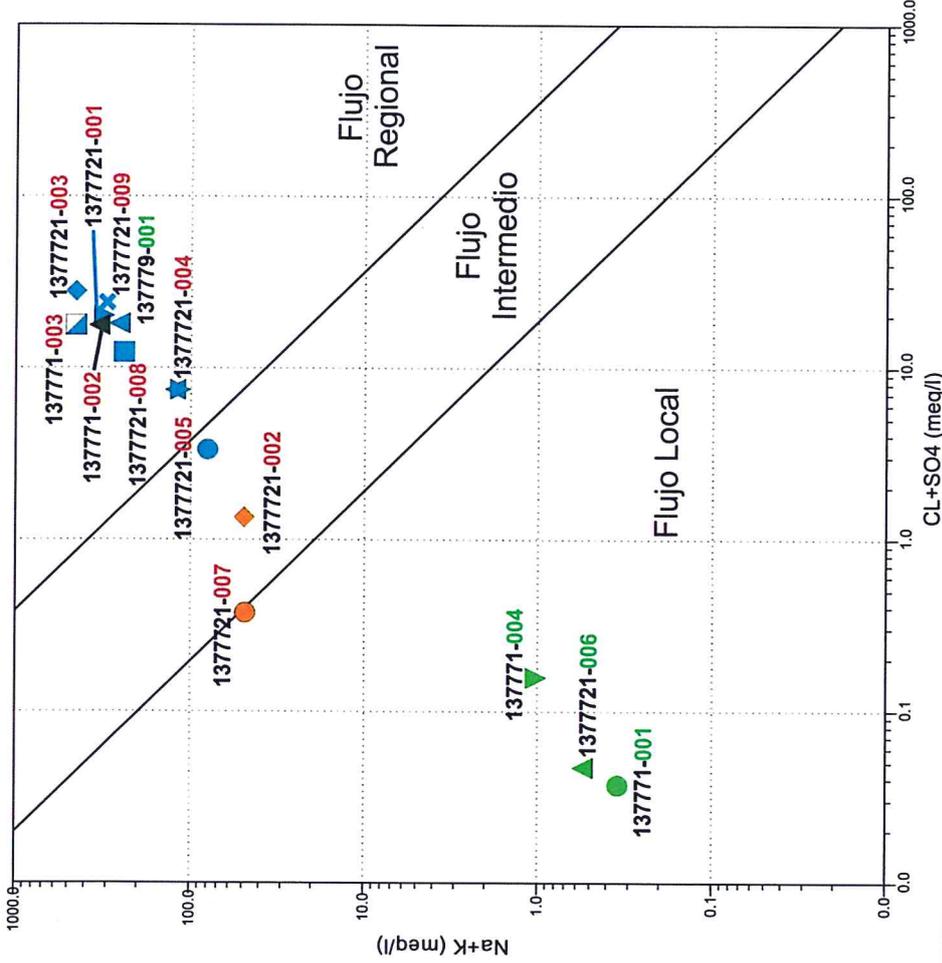


Figura 5.3 Diagramas de Piper y Scatter de las fuentes de agua subterránea evaluadas en el distrito de Mórrope.

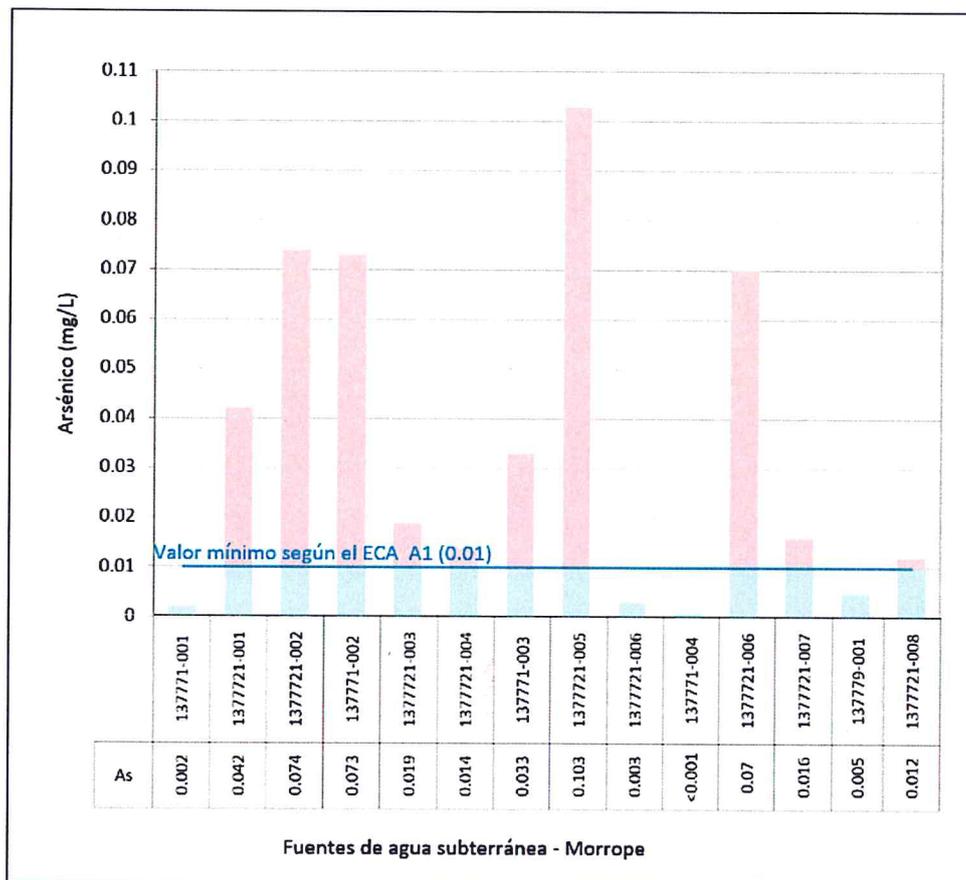
*[Signature]*  
Danitza Sonia Machaca Fernández  
INGENIERA GEOLOGA  
CIP. N° 157541

## 5.9 Análisis de metales traza

### Arsénico (As).

El As es un elemento ampliamente distribuido en el ambiente. A nivel mundial, existe información acerca de su presencia en agua subterránea en diferentes regiones, que ha sido relacionada principalmente a un origen denominado natural y que está asociado con la presencia de este elemento en ambientes geológicos diferentes: formaciones volcánicas, formaciones volcano-sedimentarias, distritos mineros, sistemas hidrotermales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias (Boyle et al., 1998; Smedley & Kinniburgh, 2002).

La presencia de As disuelto en las fuentes de agua subterránea evaluadas en el distrito de Morrope está entre 0.002 mg/L – 0.103 mg/L, siendo el valor máximo para consumo humano 0.01 mg/L. En el gráfico 5.3 se observa que 10 fuentes sobrepasan el límite establecido por los estándares de calidad ambiental (ECA) para la categoría 1, subcategoría A1.



**Gráfico 5.3** Diagrama de comparación entre los valores de As y el ECA, Cat. 1-subcategoría A1.

Las concentraciones de As en el agua subterránea pueden estar relacionadas con los fenómenos de transferencia de fase o dilución en el agua, que dependerán del régimen hidrogeológico y paleo-hidrogeológico del acuífero, así como de las condiciones geoquímicas. En condiciones naturales, las mayores concentraciones de As se encuentran en aguas subterráneas como resultado de la fuerte influencia de la interacción agua-roca y las condiciones favorables para la movilización y acumulación. (Bundschuh, 2004).

El origen del As en el distrito de Mórrope es incierto y por la magnitud del área afectada se podría inferir que se presenta en distintas capas del sistema acuífero, indicando que estos altos concentraciones de As podrían tener relación con las arcillas o con niveles evaporíticos.

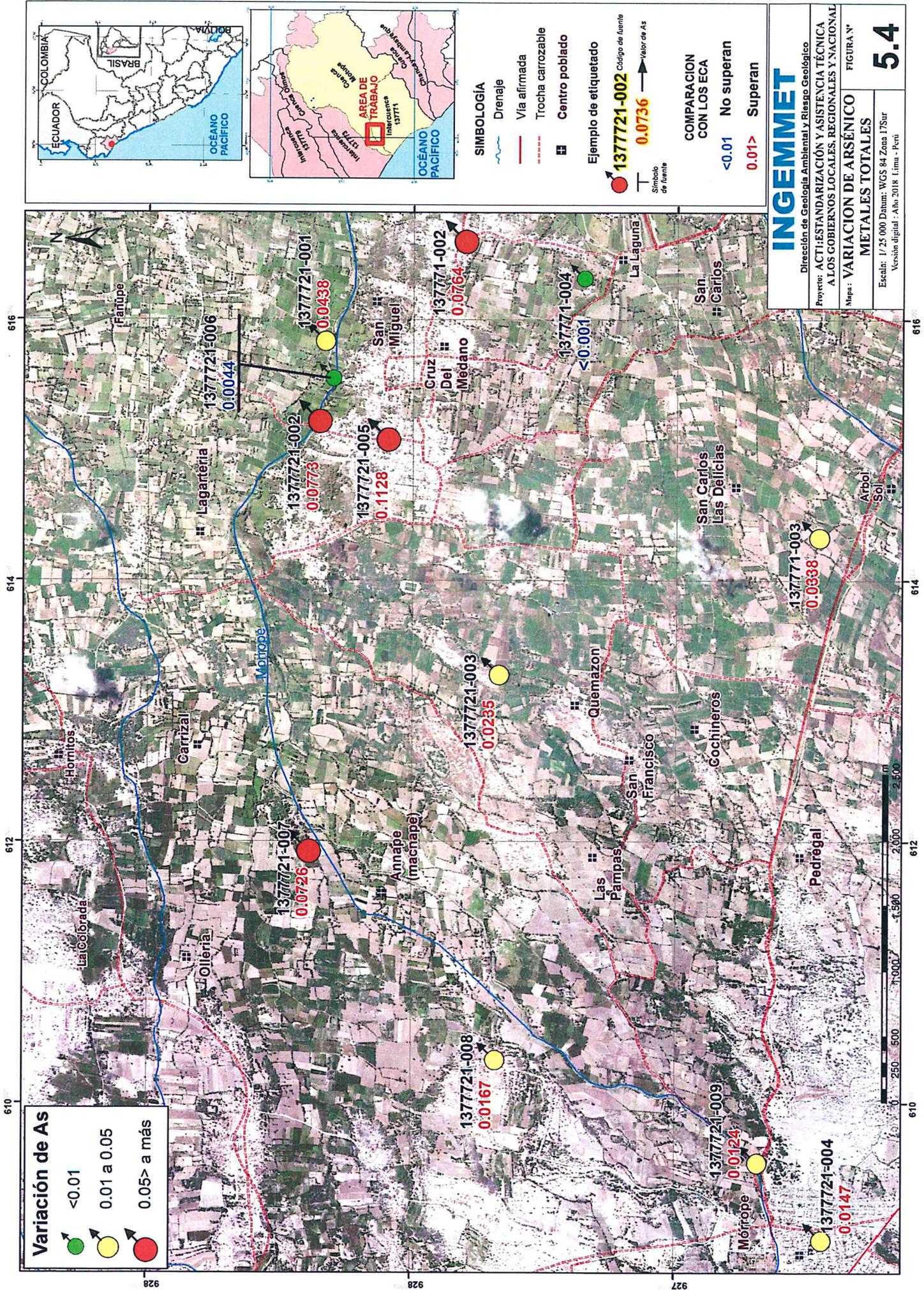
Los procesos evaporativos en ambientes áridos permiten el mantenimiento de valores altos de pH (grafico 5.2), así como concentraciones altas de otros elementos como Cl. Cabe mencionar que el arsénico también puede ser sorbido en los bordes de arcillas como montmorillonita, caolinita entre otros.

La normativa peruana evalúa las concentraciones totales de los elementos, en la figura 5.4 se observa las fuentes con alta concentración de arsénico total. En otros países el límite para el elemento arsénico en el agua es mayor a lo que establece la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El análisis elaborado por el centro de investigación de materiales avanzados de México en el 2013 elaboro una comparación sobre los valores guía de arsénico nacional e internacional permitidos, como resultado del análisis se diferencia distintos valores límites para arsénico, desde 0.01 mg/L hasta 0.05 mg/L.

En la figura 5.4 se plantea una escala de colores para cuantificar la presencia de arsénico total en el distrito de Mórrope. Los pozos Caserío Carrizal (1377721-007), Cruz del Médano Proyecto Nuevo (1377721-002), Cruz del Médano Antiguo (1377721-005) y Cruce La Zenaida - Caserío Lagunas (137771-002) son los que presentan mayores concentraciones de arsénico total, superior a 0.05mg/L. Por otro lado, las fuentes Tortolita (1377721-001), Caserío Quemazón (137771-003), Caserío Quemazón (1377721-003), Caserío Ananpe (1377721-008), Mórrope (1377721-009), IRHS-06 (1377721-004) presentan concentraciones desde 0.01 hasta 0.05mg/L, para lo cuales deben desarrollarse mayores investigaciones para verificar los valores de arsénico.

  
Danitza Sonia Machaca Fernández  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP. N° 157541



**Variación de As**

- <0.01
- 0.01 a 0.05
- 0.05 > a más

**SIMBOLOGÍA**

- Drenaje
- Vía afirmada
- Trocha carrozable
- Centro poblado
- Ejemplo de etiquetado

**COMPARACION CON LOS ECA**

- <0.01 No superan
- 0.01 > Superan

**INGEMMET**

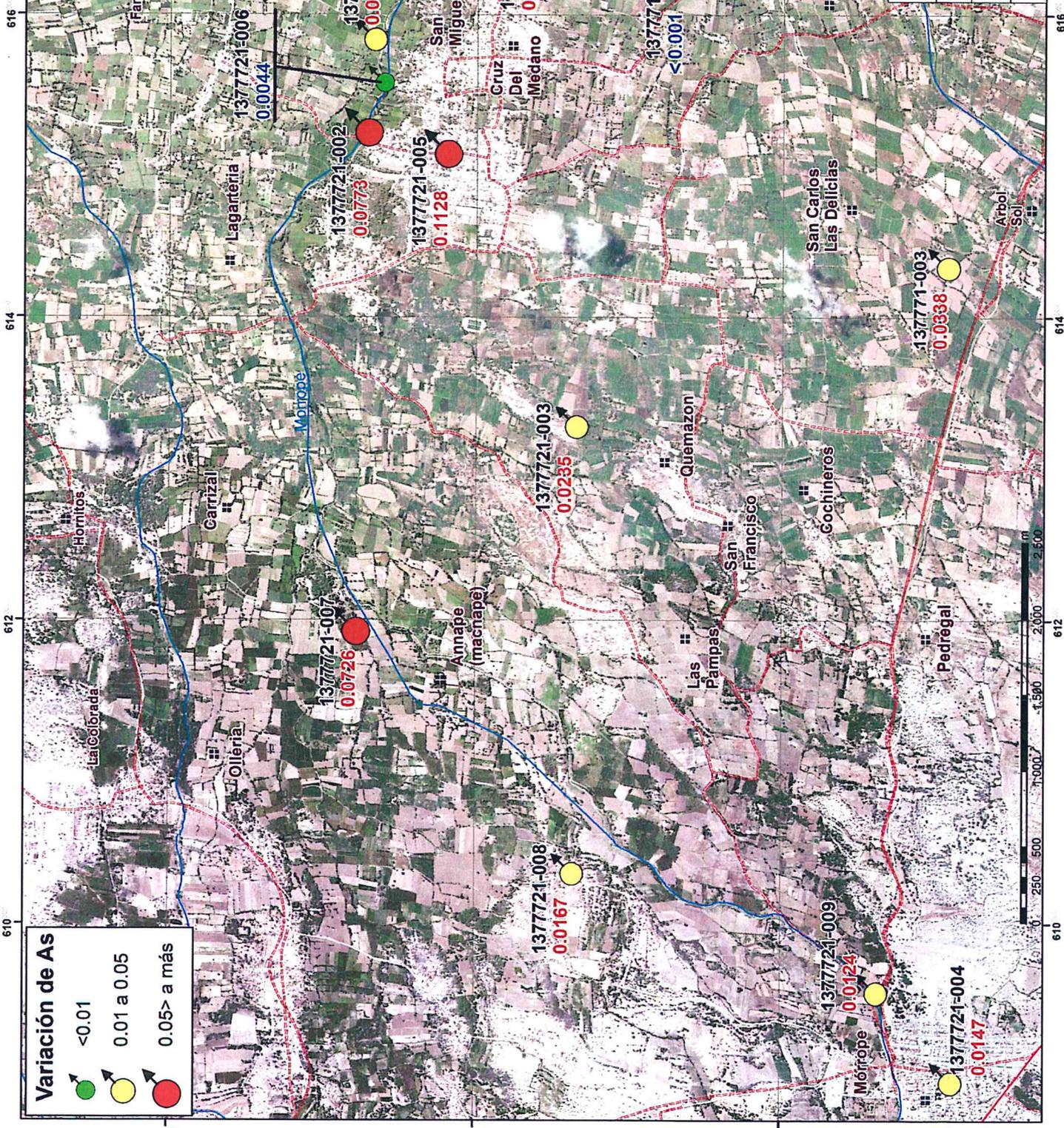
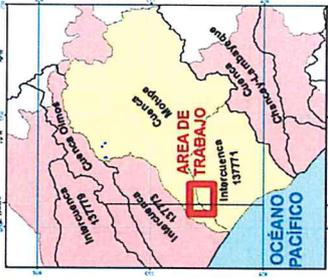
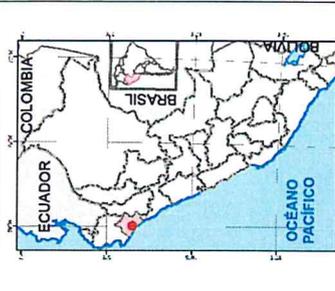
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Proyecto: ACTI: ESTANDARIZACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA A LOS GOBIERNOS LOCALES, REGIONALES Y NACIONAL

Mapa: VARIACION DE ARSENICO METALES TOTALES

FIGURA N° 5.4

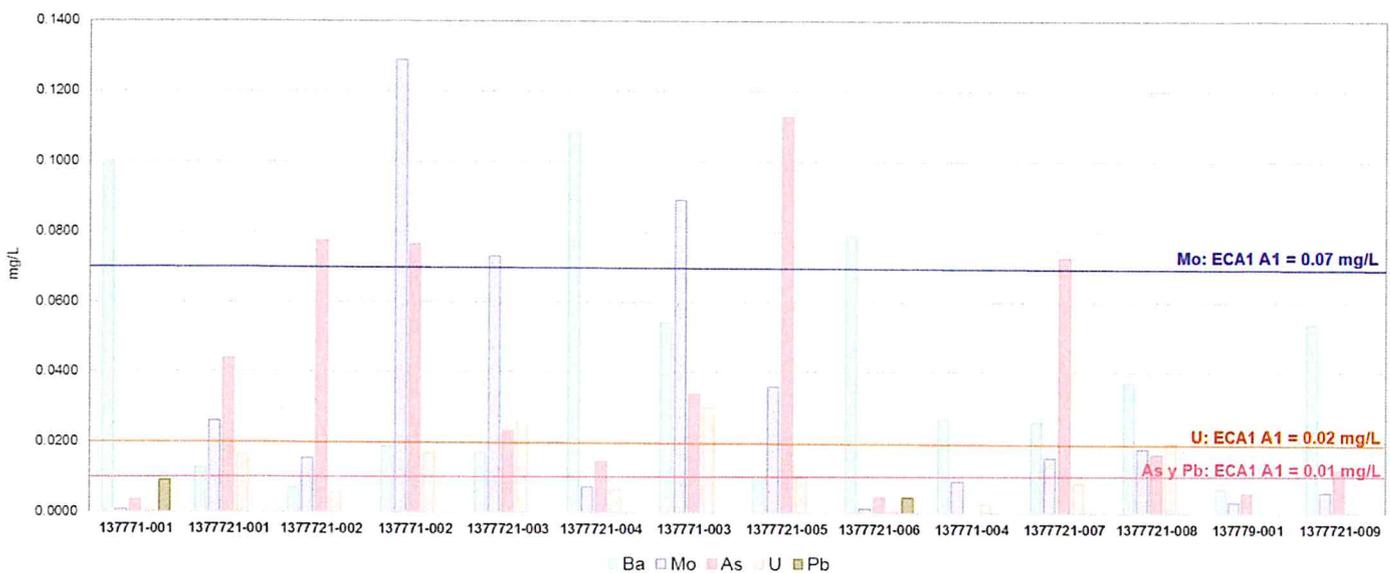
Escala: 1/25 000 Datum: WGS 84 Zona 17Sur Versión digital - Año 2018 Lima - Perú



### 5.10 Otros elementos

Los resultados químicos muestran la presencia de otros elementos que superan los estándares de calidad del agua como el molibdeno (Mo) y el uranio (U). En las fuentes Cruce La Zenaida - Caserío Lagunas 137771-002, Caserío Quemazón 1377721-003 y Caserío Arbolsol 137771-003 superan el límite de 0.07 mg/L establecido para el molibdeno y las dos 1377721-003 y Caserío Arbolsol 137771-003 superan a la vez el límite de uranio.

La presencia de otros elementos se debe a múltiples factores uno de ellos es la influencia de la actividad antrópica, asimismo se debe considerar que para el área de estudio no se tienen los valores de niveles estáticos y dinámicos para cada punto para poder evidenciar que existe una zona de transición o mezcla entre secciones del sistema acuífero a causa de una probable sobreexplotación.



**Gráfico 5.4** Diagrama de comparación entre los valores de bario (Ba), molibdeno (Mo), arsénico (As), uranio (U) y plomo (Pb) con el ECA 1(A1).

## CONCLUSIONES

1. Las características químicas de las fuentes de agua subterránea son variables, desde el momento de la infiltración y temporalmente según su permanencia en el acuífero. Cuando el agua fluye en forma lenta las cargas en sus moléculas pueden ser lo suficientemente fuertes, como para destruir las uniones que mantienen juntas a las moléculas de los minerales asociados a las rocas que son parte del sistema acuífero.
2. El área de estudio se encuentra sobre material poroso no consolidado, aparentemente con buenas características para almacenar y transmitir agua, sin embargo, se desconoce el espesor de los distintos tipos de acuíferos (libre, semiconfinado y confinado) que componen el sistema del acuífero de extracción.
3. En el distrito de Mórrope se evidenció altos valores de conductividad eléctrica como es el caso de las fuentes: Tortolita (1377721-001), Cruce la Zenaida (137771-002), Caserío Quemazón (1377721-003), IRHS-06 (1377721-004), Caserío Arbolsol (137771-003), Caserío Ananpe (1377721-007), Salinas (137779-001), Mórrope Principal (1377721-008), Cruz del Médano Parque Principal (1377721-009) corresponden a pozos tubulares que sobrepasan el ECA categoría 1, subcategoría A1, para consumo humano; cabe mencionar que estos pozos tienen distintas profundidades, volúmenes de extracción y litología, en consecuencia la composición y disolución de sales es variable.
4. De los resultados químicos, se evidenció un predominio de cuatro facies hidroquímicas: bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas, sulfatadas sódica y clorurada sódica, probablemente a causa de flujos intermedios y regionales.
5. En los resultados químicos se obtuvo altas concentraciones de arsénico, con valores que sobrepasan el ECA categoría 1 - subcategoría A1, estos presentan una composición química enriquecida, lo que indica que pertenecen a un flujo intermedio a regional, determina que las aguas tienen un gran recorrido y permanencia en el sistema acuífero. Las capas que componen el sistema acuífero tienen distintas características físico-químicos el cual presenta un sistema multicapa, donde podemos encontrar presencia de evaporitas, yeso y arcillas las cuales por naturaleza contienen arsénico otorgándoles dicho elemento a las aguas subterráneas.
6. Los pozos Caserío Carrizal (1377721-007), Cruz del Médano Proyecto Nuevo (1377721-002), Cruz del Médano Antiguo (1377721-005) y Cruce La Zenaida - Caserío Lagunas (137771-002), son los que presentan mayores concentraciones de arsénico total superior a 0.05mg/L. Por otro lado, las fuentes Tortolita (1377721-001), Caserío Quemazón (137771-003), Caserío Quemazón (1377721-003), Caserío Ananpe (1377721-008), Mórrope (1377721-009), IRHS-06 (1377721-004) presentan concentraciones desde 0.01 hasta 0.05mg/L.

  
Daritza Sonia Machaca Fernández 25  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP. N° 157541

## RECOMENDACIONES

1. Las autoridades competentes evalúen el sellado de los pozos que no cuenten con estudios detallados de estratificación ("logueo"), ya que es posible que se esté generando mezcla entre sus aguas provocando la influencia positiva o negativa de posibles acuíferos confinados.
2. Es indispensable desarrollar estudios técnicos detallados para la ejecución de un nuevo pozo, con el objeto de comprender el sistema acuífero y evitar la mezcla o afectación entre capas y/o secciones del sistema acuífero.
3. Se recomienda ampliar la zona de estudio con la elaboración de un inventario más detallado de fuentes de agua subterránea y el monitoreo de los caudales de extracción, así como la caracterización hidroquímica en épocas de avenida y estiaje, permitiendo precisar y delimitar zonas de recarga de acuíferos, puntos de interés hidrogeológico, para comprobar la variabilidad de los componentes iónicos.
4. Teniendo en cuenta que la zona de estudio presenta una alta vulnerabilidad debido a su condición de acuífero libre (superficialmente), se debe realizar un mapa de vulnerabilidad, empleando un método para detallar la relación entre el suelo y los contaminantes existentes en la zona, de esta manera también se podrá zonificar la red de saneamiento básico y la disposición final de los residuos sólidos y líquidos del distrito de Mórrope.
5. Para entender la propagación del arsénico en un acuífero, debe contarse con información adicional sobre los materiales que lo componen y las respectivas interacciones entre roca y agua, así como los patrones de flujo del agua subterránea (velocidad y dirección de flujo), por tal motivo se debe crear una base de datos con la información de los estudios técnicos de los pozos del distrito de Mórrope, dando especial relevancia a la información del logueo hidrogeológico, pruebas hidráulicas, resultados geofísicos para que la autoridad competente pueda definir las características del acuífero.
6. La población más afectada se encuentra en el área rural, por ello se requiere que las autoridades de salud, ambiente y de saneamiento planifiquen los servicios de aprovisionamiento de agua.
7. Las autoridades competentes deben controlar el uso de elementos químicos (herbicidas, plaguicidas y pesticidas que contienen nitratos) para la agricultura, para evitar la carga de minerales (elementos químicos) en el acuífero libre superficial, pudiendo contaminar acuíferos más profundos irremediablemente.
8. Las propuestas de abastecimiento de agua, deben contemplar medidas de mitigación para la protección de las fuentes de agua.
9. Realizar un Plan de Manejo de Residuos Sólidos de las localidades mencionadas en el presente estudio, para evitar la contaminación de fuentes superficiales.
10. Es necesario definir la distribución del arsénico con la profundidad y relacionarlo con la correspondiente distribución espacial de parámetros clave tales como pH, Eh, temperatura, TSD, oxígeno disuelto, iones principales, a través de monitoreo físico-químico constante y así poder elaborar modelos conceptuales y numéricos que permitirá identificar la evolución de elementos presentes en el agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARYYA, S. K. LAHIRI, S. RAYMAHASHAY, B. C. BHOWMIK, A. (2000). Arsenic toxicity of groundwater in parts of the Bengal basin in India and Bangladesh: the role of Quaternary stratigraphy and Holocene sea-level fluctuation Environmental Geology 1127 1137 39.
- BENITEZ, M; OSICKA, R.; GIMENEZ, M.; GARRO, O. (2000) - Arsénico total en aguas subterráneas en el centro-oeste de la provincia de Chaco. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- BHATTACHARYA, P., CHATTERJEE, D., JACKS, G.: (1997). Occurrence of As-contaminated groundwater in alluvial aquifers from the Delta Plains, eastern India: option for safe drinking water supply. Int. J. Water Res. Dev. 13 págs.79-92.
- BHATTACHARYA, PROSUN CHATTERJEE, DEBASHIS JACKS, GUNNAR (1997). Occurrence of Arsenic-contaminated Groundwater in Alluvial Aquifers from Delta Plains, Eastern India: Options for Safe Drinking Water Supply International Journal of Water Resources Development
- BRANNON, J.M., PATRICK, W.H.: (1987). Fixation, transformation, and mobilization of arsenic in sediments. Environ. Sci. Technol. 21 págs.450-459.
- BOYLE D, TURNER R & HALL G. (1998)- Anomalous arsenic concentrations in groundwaters of an island community, Bowen Island, British Columbia. Environmental Geochemistry and Health, 20: 199-212.
- BUNDSCHUH, J., FARIAS, B., MARTIN, R., STORNILO, A. BHATTACHARYA, P., CORTES, J., BONORINO, G., ALBOUY, R., (2004) - Groundwater arsenic in the Chaco-Pampean Plain, Argentina: case study from Robles county, Santiago del Estero Province: Applied Geochemistry, 19, 231-243.
- BUNDSCHUH, J; GIMÉNEZ, E; GUEREQUIZ, R; (2004) Fuentes geogénicas de arsénico y su liberación al medio ambiente.
- CARPIO, M., TORRE, J. & FUENTES, J. (2017) - Prospección de recursos de rocas y minerales industriales en la región Lambayeque. INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 41, 275 p., 2 mapas.
- CASTANI G. (1975); Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas.; Ed. Omega S.A. España. 731 pp.
- CASTANI G. (1986); Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas.; Ed. Omega S.A. España. 665 pp.
- CORTÉS, C. (2017). Transferencia de arsénico en el sistema agua suelo - maíz de zea I. cultivados en la quebrada de Camiña, norte de Chile, Rev Soc Quím.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. (1996); "Hidrología Subterránea"; Ed. Omega. Tomo I y II Barcelona, 2347 pp.
- CUSTODIO, E. (1997). Recarga de Acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre (Aquifer recharge: general aspects about process, Evaluation and uncertainty). En: La Evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica. Las Palmas de Gran Canaria. 1997. AIH-GE.19-39.
- DELGADO J., MEDINA J., VEGA M., CARRETERO C. & PARDO R. (2009). Los Minerales de la Arcilla y el Arsénico en los Acuíferos de la Tierra de Pinares, Valladolid. Macla N° 11. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía.

- DIAZ, A. & RAMIREZ, J. (2009) - Compendio de roca y minerales industriales en el Perú. INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 19,482 p.
- ESCUDEY, R.; FRAILE, J.; JORDANA, S.; RIBERA, F.; SANCHEZ V. & VAZQUEZ, E. (2009) – Hidrogeología: conceptos básicos de hidrología subterránea. Barcelona: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 768 p.
- FERNÁNDEZ, L., VEGA, M, CARRETERO, M., PARDO, R, DEBÁN, L. Y BARRIO, V (2004) - Hidrogeología de los acuíferos de la zona Valledado-Mata de Cuéllar (Segovia) afectados por altos contenidos de arsénico. Abstract VIII Simp. Hidrogeol., Zaragoza. p 45-50.
- FOSTER, S., VENTURA M. & HIRATA, R. (1993) - Poluição das águas subterráneas: um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimiento de água potável. Sao Paulo: Instituto Geológico, 55 p.
- GAMARRA J. (2014) Informe de Diagrama Eléctrico en el pozo la Piedra, Mórrope, Lambayeque.
- LLAMAS, J. (1993) – Hidrología general: principios y aplicaciones Bilbao: Universidad del País Vasco, 635 p.
- MANNING, B.A., SUAREZ, D.L.: (2000). Modeling arsenic(III) adsorption and heterogeneous oxidation kinetics in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 64, págs.128-137.
- MARTINEZ, E.; MARTINEZ, P. & CASTAÑO, S. (2006) - Fundamentos de hidrogeología. Madrid: Mundi-Prensa, 284 p.
- MEINZER, O.E (1923) - Outline of ground-water hydrology, with definitions. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 494, 71 p.
- MEINZER, O.E (1923) – The occurrence of ground water in the United States, with a discussion of principles. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 489, 321 p.
- ORTEGA, M. (2008) Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México.
- PALACIOS O., CRUZ N, PECHO V. & VELA C. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Bayóvar, Sechura, La redonda, Pta. la Negra Lobo de Tierra, las Salinas y Mórrope. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 93p.
- PAZ, M. (1988); Reconocimiento Geológico de Salinas de Cabo Verde Lambayeque informe empresa de la sal, 19.
- PRICE, M. (2003) - Agua subterránea, México: Limusa, 341 p.
- SMEDLEY P & KINNINBURGH D. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry, 17: 517-568.
- STRUCKMEIER, W & MARGAT, J. (1995); "Hydrological maps a guide and a Standard Legend"; Ed. Van Acken GmbH. Hannover, 193 pp. Venecia Herrera Apablaza 1.2.3\*, Cristian Carrasco Farías 1.2, Patricia Sandoval Cárcamo.

## ANEXOS

  
Daniza Sonia Machaca Fernández 29  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP. N° 157541

ANEXO 1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS

CÓDIGO	NOMBRE	METALES TOTALES																				
		Al mg/l	As mg/l	B mg/l	Ba mg/l	Cd mg/l	Co mg/l	Cu mg/l	Cr mg/l	Fe mg/l	Li mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	S mg/l	Sb mg/l	Se mg/l	Sr mg/l	U mg/l	V mg/l	Zn mg/l
137771-001	Toma Cachinche	11.904	0.0036	<0.05	0.0992	0.0026	0.0067	0.0171	0.0092	7.454	0.0185	0.21843	0.00093	0.00944	0.009	6.54	<0.0008	<0.002	0.2581	0.00059	0.0198	0.0144
1377721-001	Tortolita (Tranca Fanupe)	<0.005	0.0438	0.389	0.0128	<0.0002	0.00023	0.0009	<0.001	0.033	0.0159	0.02764	0.02624	<0.0007	<0.0005	155.97	<0.0008	0.0028	1.22494	0.01671	0.0406	0.0073
1377721-002	Cruz del Medano Poyecto Nuevo	0.0079	0.0773	0.176	0.0071	<0.0002	0.0014	0.0014	<0.001	0.017	0.0062	0.02514	0.01546	0.00218	<0.0005	29.13	<0.0008	<0.002	0.38574	0.00575	0.0398	0.04
137771-002	Cruce La Zenaida - Caserio Lagunas	0.0078	0.0764	0.895	0.0188	<0.0002	0.00057	0.0009	<0.001	0.013	0.00927	0.07798	0.12891	<0.0007	<0.0005	194.58	<0.0008	<0.002	0.89722	0.01692	0.0832	0.0079
1377721-003	Caserio Quemazon	<0.005	0.0235	0.612	0.0171	<0.0002	0.00042	0.0028	<0.001	0.015	0.01958	0.12309	0.07297	<0.0007	<0.0005	160.45	<0.0008	<0.002	1.53666	0.02565	0.0289	0.006
1377721-004	IRHS-06	0.0074	0.0147	0.282	0.1082	<0.0002	0.00022	0.0011	<0.001	0.027	0.01027	0.00082	0.00735	<0.0007	<0.0005	75.64	<0.0008	<0.002	1.20061	0.00659	0.0178	0.002
137771-003	Caserio Arbolsol	<0.005	0.0338	0.903	0.0543	<0.0002	0.0008	0.0008	<0.001	<0.01	0.01912	0.00494	0.08906	<0.0007	<0.0005	151.89	<0.0008	<0.002	0.74325	0.03002	0.0412	0.0011
1377721-005	Cruz del Medano Antiguo	0.0072	0.1128	0.255	0.0106	<0.0002	0.00022	0.0007	<0.001	0.817	0.00568	0.04274	0.03603	<0.0007	<0.0005	33.32	<0.0008	<0.002	0.63152	0.01021	0.0548	0.0019
1377721-006	Canal Mórrope	8.193	0.0044	0.059	0.0792	<0.0002	0.00221	0.0112	0.0035	4.556	0.01133	0.19789	0.00132	0.0045	0.004	7.32	<0.0008	<0.002	0.24177	0.00071	0.0164	0.0092
137771-004	Caserio Lagunas Centro	<0.005	<0.001	0.079	0.0268	<0.0002	0.00022	<0.0005	<0.001	0.018	0.00172	0.04589	0.00902	<0.0007	<0.0005	12.54	<0.0008	<0.002	0.42067	0.00255	0.0043	0.0045
1377721-007	Caserio Carrizal	0.0092	0.0726	0.229	0.026	<0.0002	0.0007	0.0007	<0.001	0.011	0.00603	0.05466	0.01571	<0.0007	<0.0005	17.83	<0.0008	<0.002	0.18522	0.00867	0.0354	0.0049
1377721-008	Caserio Ananpe	0.0097	0.0167	0.35	0.0371	<0.0002	0.0014	0.0014	<0.001	0.013	0.01608	0.02813	0.01819	<0.0007	<0.0005	90.42	<0.0008	0.0033	1.07749	0.01964	0.034	0.004
137779-001	Salinas	0.0054	0.0057	0.183	0.007	<0.0002	0.011	0.011	<0.001	0.124	0.03044	0.00867	0.00314	<0.0007	<0.0005	16.59	<0.0008	<0.002	0.69469	<0.0001	0.0081	0.0011
1377721-009	Mórrope Principal	0.0083	0.0124	0.281	0.0538	<0.0002	0.00028	0.0015	<0.001	0.266	0.05018	0.01846	0.00595	<0.0007	<0.0005	78.19	<0.0008	<0.002	2.45924	0.0002	0.0071	0.006

*Daniela Sonia Machaca Fernández*  
INGENIERA GEÓLOGA  
CIP. N° 157541

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS

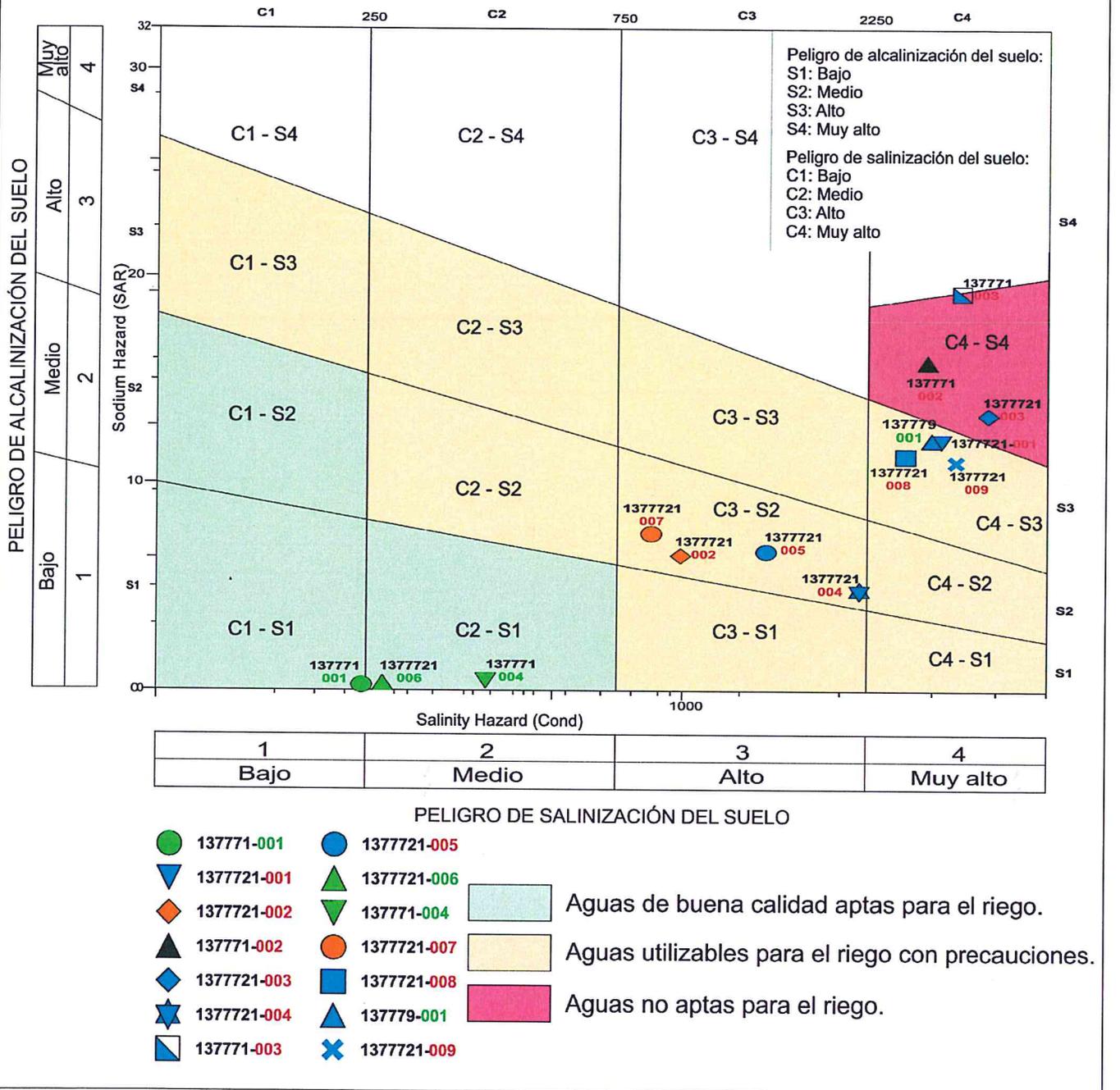
METALES DISUELTOS

CÓDIGO	NOMBRE	Al (dis) mg/l	As (dis) mg/l	B (dis) mg/l	Ba (dis) mg/l	Cd (dis) mg/l	Co (dis) mg/l	Cu (dis) mg/l	Cr (dis) mg/l	Fe (dis) mg/l	Li (dis) mg/l	Mn (dis) mg/l	Mo (dis) mg/l	Ni (dis) mg/l	Pb (dis) mg/l	S (dis) mg/l	Sb (dis) mg/l	Se (dis) mg/l	Sr (dis) mg/l	U (dis) mg/l	V (dis) mg/l	Zn (dis) mg/l
137771-001	Toma Cachinche	0.0373	0.0018	<0.05	0.0266	<0.0002	<0.0002	0.0028	<0.001	0.016	0.00519	0.00143	0.00081	<0.0007	6E-04	6.31	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.00031	0.0018	<0.001
1377721-001	Tortolita (Tranca Fanupe)	<0.005	0.0424	0.341	0.0115	<0.0002	<0.0002	0.0007	<0.001	<0.01	0.0144	0.02586	0.02264	<0.0007	<0.0005	151.19	<0.0008	<0.002	0.01586	0.0373	0.0066	
1377721-002	Cruz del Medano Poyecto Nuevo	0.0059	0.0736	0.152	0.0068	<0.0002	<0.0002	0.0005	<0.001	<0.01	0.00573	0.02392	0.01408	<0.0007	<0.0005	28.09	<0.0008	<0.002	0.0005	0.0057	0.0365	0.0252
137771-002	Cruce La Zenaida - Caserio Lagunas	<0.005	0.0728	0.82	0.0179	<0.0002	0.00056	0.0009	<0.001	<0.01	0.00897	0.07744	0.11725	<0.0007	<0.0005	187.6	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.01637	0.0762	0.0043
1377721-003	Caserio Quemazon	<0.005	0.0187	0.455	0.0132	<0.0002	0.00038	0.0019	<0.001	<0.01	0.01542	0.10043	0.05351	<0.0007	<0.0005	159.76	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.02028	0.0225	0.0044
1377721-004	IRHS-06	<0.005	0.0139	0.244	0.1022	<0.0002	0.0002	0.001	<0.001	<0.01	0.00949	0.00063	0.00671	<0.0007	<0.0005	75.06	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.00634	0.0165	0.0019
137771-003	Caserio Arbolso	<0.005	0.0325	0.811	0.0521	<0.0002	<0.0002	0.0007	<0.001	<0.01	0.01842	0.00482	0.08151	<0.0007	<0.0005	150.17	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.02864	0.0399	<0.001
1377721-005	Cruz del Medano Antiguo	<0.005	0.1034	0.223	0.0105	<0.0002	<0.0002	0.0006	<0.001	<0.01	0.00567	0.04012	0.03274	<0.0007	<0.0005	32.52	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.01011	0.0535	0.0014
1377721-006	Canal Mórrope	0.0393	0.0033	<0.05	0.0336	<0.0002	<0.0002	0.0023	<0.001	0.019	0.00565	0.00894	0.00119	<0.0007	<0.0005	7.09	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.0004	0.0031	<0.001
137771-004	Caserio Lagunas Centro	<0.005	<0.001	0.07	0.0265	<0.0002	<0.0002	<0.0005	<0.001	<0.01	0.00168	0.04547	0.00818	<0.0007	<0.0005	12.46	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.00245	0.0041	0.0029
1377721-007	Caserio Carrizal	0.0051	0.0699	0.214	0.026	<0.0002	<0.0002	0.0006	<0.001	<0.01	0.00576	0.0531	0.01502	<0.0007	<0.0005	17.36	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.00863	0.0346	0.0028
1377721-008	Caserio Anampe	<0.005	0.0169	0.295	0.0346	<0.0002	<0.0002	0.0007	<0.001	<0.01	0.01505	0.02799	0.01647	<0.0007	<0.0005	90.06	<0.0008	0.0026	<0.0005	0.01857	0.0313	0.0013
137779-001	Salinas	<0.005	0.0063	0.174	0.0054	<0.0002	<0.0002	0.0005	<0.001	0.1	0.02806	0.00723	0.00266	<0.0007	<0.0005	16.4	<0.0008	<0.002	<0.0005	<0.0001	0.0055	0.0011
1377721-009	Mórrope Principal	<0.005	0.0119	0.249	0.0502	<0.0002	<0.0002	0.0011	<0.001	0.014	0.04749	0.01752	0.00523	<0.0007	<0.0005	76.07	<0.0008	<0.002	<0.0005	0.00019	0.0065	0.0039

  
 Daritza Sonia Machaca Fernandez  
 INGENIERA GEOLOGA  
 CIP. N° 157541

ANEXO 2

**DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE AGUAS PARA RIEGO**  
 Según el procedimiento de la U.S. Salinity Laboratory Staff  
 (modificado por Thorne y Peterson)



32

Daniza Sonia Machaca Fernández  
 INGENIERA GEOLOGA  
 CIP. N° 157541