



**CARACTERIZACION
HIDROGEOQUIMICA DEL
ACUIFERO LURIN LIMA**

**HYDROGEO-CHEMICAL
CHARACTERIZATION OF
ACUIFERO LURIN-LIMA**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Presentado por:
D^a Sandra Melania Quispe Leon**

**Dirigido por:
Dra. D^a Irene De Bustamante Gutiérrez**

Alcalá de Henares, 17 de Setiembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme lograr uno de mis sueños y cuidarme en el camino de mi vida.

A la Universidad de Alcalá y Rey Juan Carlos, por realizar el Máster en Hidrología y Gestión de los Recursos Hídricos con modalidad semi-presencial, que ha permitido organizar mis horarios sin descuidar mi aspecto laboral y familiar.

A la Dra. Irene Bustamante, por aceptar ser mi tutora y guiarme en la elaboración de mi TFM nutriendo mis conocimientos y permitirme contar con su orientación oportuna.

A mi madre Emilia Leon, quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional y ha sido la persona que nunca ha dejado de alentarme y enseñarme desde pequeña la perseverancia y disciplina con su ejemplo.

A mi esposo Carlos Romero, que es mi compañero y fortaleza en los momentos difíciles, por brindándome la comprensión y el apoyo para culminar esta faceta de mi formación profesional.

A mi pequeña hija Fernanda, que con su reciente llegada a mi vida se ha convertido en mi motor de vida.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS.....	5
3. METODOLOGÍA.....	6
3.1. Bases de datos y Tratamiento de datos.....	6
3.2. Propiedades Físicas y Químicas del Agua Subterránea y sus Métodos de Análisis.....	9
3.3 Constituyentes Químicos del Agua Subterránea.....	11
3.4 Diagramas Hidroquímicos.....	14
3.6 Relaciones Iónicas del Agua Subterránea.....	15
4. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	16
4.1 Conductividad.....	16
4.2 Cloruros.....	20
4.3 Sulfatos.....	23
4.4 Nitratos.....	26
4.5 Familia de del Agua subterránea (Diagrama de Piper)	29
4.6 Índices Hidrogeoquímicos.....	31
5. CONCLUSIONES.....	33
6. BIBLIOGRAFÍA.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de Ubicación del área de Estudio- Acuífero Lurín.....	4
Figura 2. Diagrama de Piper con la distribución de la naturaleza química del agua.....	15
Figura 3. Técnica de elaboración del Diagrama de Piper.....	15
Figura 4. Conductividad Eléctrica en el Acuífero Lurín 2017- 2018.....	17
Figura 5. Plano de Isocoductividad- 2018.....	19
Figura 6. Concentración de Cloruros en el Acuífero Lurín 2017- 2018.....	21
Figura 7. Plano de Isocloruros- 2018.....	22
Figura 8. Concentración de Sulfatos en el Acuífero Lurín 2017- 2018.....	23
Figura 9. Plano de Isosulfatos – 2018.....	25
Figura 10. Concentración de Nitratos en el Acuífero Lurín 2017- 2018.....	27
Figura 11. Plano de Isonitratos – 2018.....	28
Figura 12. Diagrama de Piper Sector I -2017(izq.) y 2018 (der).....	30
Figura 13. Diagrama de Piper sector II- 2017 (izq.) y 2018 (der).....	30
Figura 14. Diagrama de Piper del Sector III-2017 (Izq.) y 2018 (der).....	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Validación de datos con evaluación de los % de Error – 2017.....	6
Tabla 2. Validación de datos con evaluación de los % de Error- 2018.....	7
Tabla 3. Pozos de Monitoreo del Acuífero Lurín.....	7
Tabla 4. Distribución de Pozos por Sector de Estudio (I, II, III).....	8
Tabla 5. Parámetros Analizados 2017.....	9
Tabla 6. Parámetros Analizados 2018.....	9
Tabla 7. Métodos de Análisis de propiedades Físicas y Químicas del Agua Subterránea.....	11
Tabla 8. Métodos de Análisis de los Cationes del agua Subterránea.....	12
Tabla 9. Métodos de Análisis de los Aniones del agua Subterránea.....	14
Tabla 10. Clasificación de familias empleando diagrama de Piper.....	29
Tabla 11. Relaciones Iónicas 2018.....	32

TABLA DE ABREVIATURAS Y ACRONIMOS

LMP	Límite máximo Permisible
D.S	Decreto Supremo
Km	Kilómetros
m.s.n.m	Metros Sobre Nivel del Mar
UTM	Universal Transverse Mercator
L/s	Litros por segundos
meq/L	Mili equivalentes /litros
$\mu\text{S/cm}$	Micro Siemens/cm
EEC	Equipo de Evaluación de Calidad
EASu	Equipo de Aguas Subterráneas
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SO_4^{-2}	Sulfatos
Ni^-	Nitratos
Cl^-	Cloruros
Ca^+	Calcio
Mg^{++}	Magnesio
OH^-	Hidróxido
B^{+3}	Boro
Br^-	Bromuro
PO_4^{-3}	Fosfato
Mn	Manganeso
Si	Sílice
Cu^+	Cobre
Fe^{+2}	Hierro
Q	Caudal
m	metros
<	menor que

RESUMEN

La caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el acuífero de Lurín se ha desarrollado, empleando una red de monitoreo compuesto de 20 puntos, donde cada uno de estos puntos representa un pozo, los cuales están repartidos en tres sectores que representan la cuenca alta, media y baja del acuífero de Lurín.

Se tomaron muestras de los 20 pozos, en los años 2017 y 2018 los cuales han sido sometidos a análisis físicos y químicos, obteniendo una variada información de parámetros para los años en mención.

Se han elaborado mapas de isoclasas, diagramas evolutivos, diagrama de Piper, y las relaciones iónicas, para evaluar al agua subterránea y determinar la caracterización hidrogeoquímica más precisa.

En la cuenca alta y media el agua es de muy baja mineralización, sin presentar intrusión marina o contaminación antropogénica, cumpliendo con el D.S N° 0.31-2012 S.A, siendo apta para consumo humano. La familia de aguas de estos sectores son 75% de tipo mixta Clorurada Cálcica- Magnésica (Ca-Mg-Cl) y 25% Sulfatada Cálcica (Ca-SO₄) obtenidas del diagrama de Piper.

En la cuenca baja, el agua es de baja mineralización teniendo en este grupo dos pozos (811 y 483) que se caracterizan por tener aguas salobres por su alta mineralización, al analizar las relaciones iónicas respectivas, se ha descartado intrusión marina lo cual nos lleva a concluir que estamos frente a una contaminación por actividades antrópicas, como posibles vertidos urbanos e industriales o actividades agrícolas. Las altas concentraciones de nitrato en 4 pozos de este sector nos indican contaminación orgánica por posible descomposición orgánica, contaminación urbana, industrial y ganadera. Los 4 pozos en mención están ubicados geográficamente cerca uno al otro, generando una zona contaminada.

Se ha determinado el tipo de familia de aguas empleando el diagrama de Piper, para la cuenca baja, teniendo como resultado aguas de tipo mixta Clorurada Cálcica- Magnésica (Ca-Mg-Cl) que representa al 50% de pozos y Sulfatada Cálcica (Ca-SO₄) el otro 50%.

El acuífero de Lurín se caracteriza por presentar dos familias de aguas en toda su cuenca, Mixta Clorurada Cálcica- Magnésica (Ca-Mg-Cl) y Sulfatada Cálcica (Ca-SO₄) según el análisis geoquímico a través del diagrama de Piper. El agua del

acuífero Lurín tiene las características de aguas continentales en su gran mayoría, a excepción de los 3 pozos de la cuenca baja que son indicadores de contaminación antrópica.

1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea de la cuenca de Lurín, es empleada para el abastecimiento de la población como fuente única para la población de Lurín, Pachacamac y Cieneguilla; población que día a día va en aumento debido al crecimiento demográfico.

En el valle de Lurín existe escasez de agua debido al déficit en sus reservas, que se ha incrementado en los últimos años por la perforación descontrolada de nuevos pozos y la sobreexplotación tanto de uso agrícola e industrial, evidenciado en el descenso de su nivel freático. El agua subterránea se emplea para riego de cultivos y para consumo humano. Actualmente las aguas subterráneas están presentándose con mala calidad incumpliendo con los LMP de agua para consumo humano, según la normativa peruana.

En este sentido se ve la necesidad de cubrir el consumo humano, teniendo conocimiento de la hidrogeoquímica del acuífero Lurín y ver si su calidad cumple con el D.S N° 0.31-2010 S.A “Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano”. Los procesos hidrogeoquímicos, ayudan a obtener una visión de la distribución y origen del agua subterránea, la interacción agua-roca, las mezclas e interconexiones de agua de diferentes orígenes (aguas superficiales y subterráneas, entre acuíferos), los fenómenos de intrusión salina y las influencias antropogénicas sobre la calidad del agua subterránea (Sánchez, et al, 2015).

El acuífero de Lurín está ubicado al Sur de la Ciudad de Lima, que pertenece a la costa central del país en el valle del río Lurín, aproximadamente a 70 km al sur de la ciudad de Lima (Ministerio de Agricultura, 2005). Políticamente comprende los distritos de Lurín, Pachacamac y Cieneguilla; provincia de Lima y Huarochirí, su extensión es desde la parte alta del valle que corresponde al distrito de Manchay hasta las inmediaciones del Océano Pacífico; en toda su longitud es atravesado por el Río Lurín. El Río Lurín nace a una altura de 4.500 a 5.000 m.s.n.m en la cordillera occidental y recorre alrededor de 90 km en dirección suroeste hasta el Océano Pacífico. En su cuenca colectora de 1.300 a 1.500 Km² de extensión, el valle se ensancha considerablemente antes de llegar al océano y ha formado un abanico aluvial deltaico cuya base en la costa tienen 10 km de longitud.

Geográficamente el área está comprendida entre las coordenadas del sistema Transversal Mercator- UTM siguiente:

Norte: 8.633.000m – 8.672.000m

Este: 289.000m – 316.000m

(Ministerio de Agricultura, 2005)

Se presenta la figura N°1 donde se observa la ubicación de nuestra área de estudio.

En el área de estudio están identificadas 5 cinco unidades hidrogeológicas: afloramiento rocoso, depósitos aluviales, depósitos coluviales, depósitos eólicos, depósitos marinos (Ministerio de Agricultura, 2005).

La calidad del agua es influenciada por los procesos geoquímicos que ocurre entre la interacción de los minerales que conforman la unidad acuífera y el agua subterránea.

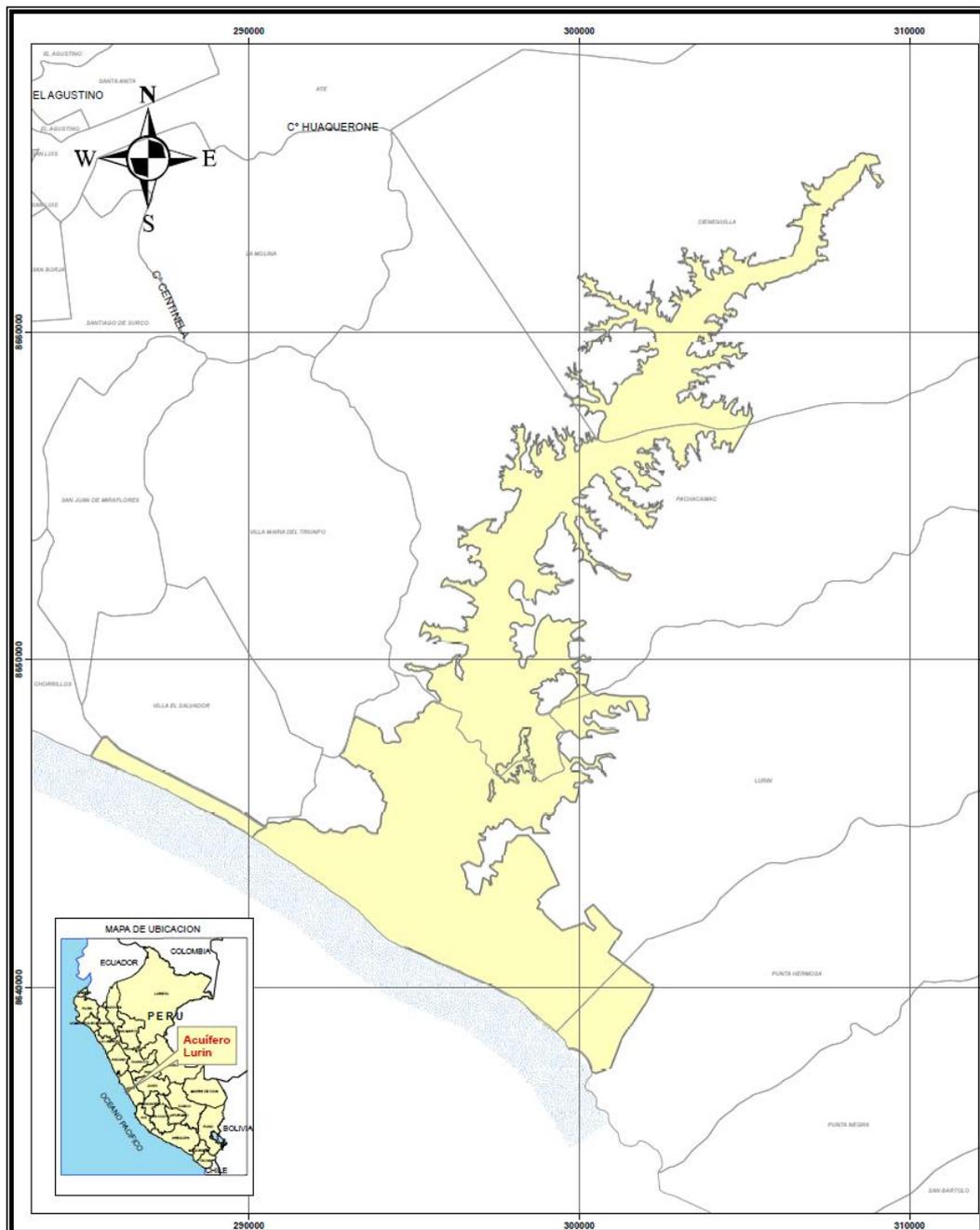


Figura N° 1.-Plano de Ubicación del área de Estudio- Acuífero Lurín

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

* Realizar la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea del acuífero de Lurín, para tener una visión de la interacción entre roca-agua de la zona así como posible intrusión salina e influencia de la contaminación antropogénica del agua subterránea.

OBJETIVO ESPECIFICO:

*Identificar el tipo de agua existente en la cuenca alta, media y baja del acuífero Lurín, según la composición química predominante.

*Obtener información de los parámetros físicos y químicos que resultan del monitoreo realizado en los años 2017 y 2018, en la cuenca del río Lurín.

*Analizar y evaluar la distribución de la conductividad, cloruros, sulfatos y nitratos sobre el acuífero de Lurín, empleando la técnica de isoclinas; así como la variación existente entre los años 2017 -2018.

3. METODOLOGÍA

3.1. Bases de datos y Tratamiento de datos

En el estudio hidroquímico del agua subterránea la red de muestreo a considerar corresponde a pozos tubulares. Los datos recopilados, son resultados de los análisis físicos y químicos del agua subterránea, correspondiente al muestreos de 20 pozos profundos, realizados en el año 2016-2017-2018 cuyos caudales de producción van de 7 L/s hasta 45 L/s. Los pozos están distribuidos sobre el área del valle de Lurín y son destinados al abastecimiento de agua potable, los parámetros analizados son conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Sodio (Na^{+}), Potasio (K^{+}), Sulfatos (SO_4^{-2}), Nitratos (Ni^{-}), Cloruros (Cl^{-}), Dureza total, y Alcalinidad. Las unidades de medida son en mg/L, las cuales serán transformadas a meq/L para la evaluación correspondiente.

En la validación de datos se muestra en la (Tabla N° 1 y Tabla N° 2) que corresponde a los datos del año 2017 y 2018 respectivamente. Se ha considerado el porcentaje de error entre la suma y diferencia de aniones y cationes; el cual tiene que ser menor del 10%; la ecuación empleada es la siguiente:

$$\text{Error}(\%) = \left(\frac{(\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones})}{(\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones})} \right) \times 100$$

Tabla N°1.- Validación de datos con evaluación de los % de Error-2017

SECTOR	POZO		CATIONES					ANIONES				Σ ANIONES	Σ CATIONES	%ERROR < 10 %
			Calcio Ca+2	Magnesio Mg+2	Sodio Na+	Potasio K+	Dureza Total	Sulfatos SO4-2	Nitrato NO3-	Cloruros Cl-	alcalinidad			
			meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L			
SECTOR I	867*	Cieneguilla 13	3.69	1.95	1.22	0.05	5.32	1.39	0.13	1.86	2.60	5.98	6.59	4.85
	357*	Cieneguilla 1	3.80	3.08	1.16	0.06	6.38	1.33	0.11	1.80	3.00	6.25	7.60	9.74
	773*	Cieneguilla 11	3.65	1.73	1.42	0.03	5.10	1.89	0.13	1.35	3.06	6.44	6.55	0.87
	774*	Tambo Viejo 2	6.08	3.43	1.20	0.14	8.96	3.41	0.39	2.43	4.58	10.81	10.30	-2.43
SECTOR II	861*	Manchay Bajo P-1**	4.11	2.12	1.24	0.08	5.88	1.35	0.35	1.66	2.68	6.05	7.19	8.63
	862*	Picapietra P-2	5.36	2.98	1.66	0.09	7.86	1.83	0.21	2.73	3.28	8.05	9.61	8.80
	863*	Manchay Bajo P-3	4.62	3.40	1.21	0.07	7.46	1.48	0.19	2.20	3.42	7.29	8.74	9.05
	864*	Manchay Bajo P-6	3.92	1.27	3.36	0.03	4.98	2.69	0.21	1.77	2.90	7.57	8.37	5.02
SECTOR III	315*	Pachacamac 2	6.70	2.30	1.30	0.04	8.58	2.87	0.37	2.25	2.66	8.16	9.92	9.76
	329*	J.C.Tello 2	10.85	4.44	3.56	0.08	15.90	4.52	4.97	5.77	3.60	18.86	19.54	1.77
	346*	Jose Galvez 2	3.82	2.39	1.33	0.29	5.82	2.35	0.18	2.00	2.82	7.35	7.45	0.65
	673*	Villa Salvador P-3	3.92	1.87	1.49	0.22	5.48	1.52	0.21	1.52	2.92	6.17	7.19	7.64
	674*	Villa Salvador P-4	3.59	2.14	1.54	0.10	5.38	1.46	0.16	1.38	2.86	5.86	7.03	9.06
	365*	Lurin 2	3.28	4.56	1.79	0.05	7.10	1.62	0.15	2.68	2.96	7.41	8.94	9.40
	483*	Jose Galvez 3	16.20	8.07	2.76	0.05	22.98	3.10	1.21	18.28	2.56	25.15	25.79	1.26
	671*	Villa Salvador P-1	3.22	2.81	1.04	0.04	5.58	1.56	0.26	1.52	2.56	5.90	6.65	6.01
	672*	Villa Salvador P-2	5.22	4.85	1.25	0.04	9.28	2.56	0.65	3.30	2.92	9.42	10.57	5.73
	675*	Villa Salvador P-5	4.02	2.95	1.24	0.03	6.50	1.62	0.31	1.77	2.92	6.63	7.78	8.00
	803*	Huertos de Lurin 3	3.98	4.73	2.05	0.05	7.94	1.64	0.21	3.63	2.86	8.35	10.04	9.22
	811*	Nuevo Lurin 2	15.48	6.55	2.80	0.09	20.96	6.41	0.50	12.14	3.12	22.17	23.85	3.64

Tabla N° 2.-Validacion de datos con evaluación de los % de Error-2018

SECTOR	POZO		CATIONES					ANIONES				Σ ANIONES	Σ CATIONES	%ERROR
			Calcio Ca+2	Magnesio Mg+2	Sodio Na+	Potasio K+	Dureza Total	Sulfatos SO4-2	Nitrato NO3-	Cloruro Cl-	alcalinidad			
			meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L			
ID	NOMBRE													
SECTOR I	867*	Cieneguilla 13	3.40	2.22	1.34	0.05	5.24	2.14	0.10	1.32	2.50	6.07	6.64	4.49
	357*	Cieneguilla 1	4.05	2.55	1.55	0.14	6.16	1.71	0.32	1.86	3.06	6.95	7.85	6.07
	773*	Cieneguilla 11	4.30	2.22	1.51	0.06	6.16	1.81	0.29	1.92	3.16	7.18	7.74	3.75
	774*	Tambo Viejo 2	6.65	3.05	1.78	0.08	9.18	3.62	0.21	3.04	4.00	10.87	11.04	0.74
SECTOR II	861*	Machay Bajo P-1**	4.15	2.63	1.44	0.06	6.32	2.83	0.29	1.55	2.60	7.27	7.82	3.66
	862*	Picapedra P-2	4.90	3.87	2.01	0.06	8.14	3.08	0.18	2.48	2.84	8.58	10.22	8.73
	863*	Manchay Bajo P-3	4.40	2.22	2.27	0.06	6.28	2.10	0.21	2.06	2.74	7.11	8.61	9.55
	864*	Manchay Bajo P-6	3.85	2.22	1.77	0.05	5.72	1.81	0.18	1.66	3.02	6.67	7.55	6.17
SECTOR III	315*	Pachacamac 2	6.40	4.86	3.07	0.04	10.52	3.58	0.40	6.06	2.76	12.80	13.63	3.15
	329*	J.C.Tello 2	6.05	3.87	2.25	0.05	9.28	4.64	0.89	3.61	2.86	12.00	11.59	-1.74
	346*	Jose Galvez 2	3.45	2.80	1.47	0.04	5.78	2.77	0.16	1.69	2.82	7.44	7.28	-1.06
	673*	Villa Salvador P-3	4.05	2.63	1.83	0.04	6.26	1.67	0.24	1.86	2.94	6.71	8.13	9.59
	674*	Villa Salvador P-4	3.60	2.88	1.52	0.14	5.98	2.60	0.18	1.66	2.90	7.34	7.64	1.98
	365*	Lurin 2	4.30	3.70	2.30	0.13	7.40	2.29	0.19	2.87	3.06	8.42	9.83	7.74
	483*	Jose Galvez 3	18.55	11.69	3.93	0.09	28.36	9.85	1.27	21.04	2.38	34.54	32.37	-3.24
	671*	Villa Salvador P-1	3.95	2.80	1.59	0.05	6.28	2.89	2.24	1.92	2.80	9.85	7.92	-10.87
	672*	Villa Salvador P-2	7.00	4.77	2.40	0.07	11.04	3.46	1.03	5.49	2.88	12.86	13.51	2.46
	675*	Villa Salvador P-5	3.95	2.96	1.77	0.05	6.42	1.62	0.29	1.94	3.26	7.12	8.24	7.29
	803*	Huertos de Lurin 3	5.10	4.03	2.63	0.06	8.48	2.71	0.24	5.15	2.78	10.88	11.17	1.29
	811*	Nuevo Lurin 2	17.35	6.34	3.79	0.28	22.64	9.39	0.56	11.69	3.42	25.06	26.72	3.19

Los Pozos seleccionados se caracterizan porque no exceden una profundidad de 101 m, y tienen una distribución que abarca la cuenca superior, media y baja del río Lurín.

A continuación se muestra la tabla N° 3, donde se identifica los pozos monitoreados asignándole un número y nombre con su respectiva ubicación, profundidad y caudal (Q).

Tabla N° 3.-Pozos de Monitoreo del Acuífero Lurín

POZO		UTM (WGS84)		Profundidad	Q
ID	NOMBRE	(X)ESTE	(Y)NORTE	(m)	(L/s)
867*	Cieneguilla 13	306180	8662146	56.5	21
357*	Cieneguilla 1	304893	8661680	50	15
773*	Cieneguilla 11	307091	8662724	65	18
774*	Tambo Viejo 2	302805	8660053	24	5
861*	Machay Bajo P-1**	297649	8653099	100	27
862*	Picapedra P-2	297636	8652290	100	35
863*	Manchay Bajo P-3	298183	8653130	101	25
864*	Manchay Bajo P-6	298434	8653881	100	27
315*	Pachacamac 2	297409	8647586	70.5	12
329*	J.C.Tello 2	294183	8646864	70.5	27
346*	Jose Galvez 2	294692	8646842	47.5	45
673*	Villa Salvador P-3	294569	8646645	80	30
674*	Villa Salvador P-4	295023	8647174	80	30
365*	Lurin 2	295263	8644587	80	7
483*	Jose Galvez 3	294344	8647059	75	23
671*	Villa Salvador P-1	294492	8646200	79.4	30
672*	Villa Salvador P-2	294380	8646469	80	33
675*	Villa Salvador P-5	294946	8647884	50.5	13
803*	Huertos de Lurin 3	295229	8644564	80	32
811*	Nuevo Lurin 2	295408	8644006	98	16

Los resultados de los parámetros analizado en el 2017 y 2018 se presentan en las tablas N°5 y N° 6 respectivamente, los resultados son emitidos por el Equipo de Evaluación de Calidad-EEC y Laboratorios externos acreditado, lo cual es proporcionados al Equipo de Aguas Subterráneas- EASU de la empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima y Callao - SEDAPAL.

Los puntos de muestreo han sido distribuidos en 3 sectores (ver Tabla N° 4):

Sector I----- Cuenca Alta

Sector II-----Cuenca Media.

Sector III-----Cuenca Baja

Tabla N° 4.- Distribución de Pozos por Sector de Estudio (I, II, III)

SECTOR	Nº POZO	NOMBRE
SECTOR I (Cuenca Alta)	867	Cieneguilla 13
	357	Cieneguilla 1
	773	Cieneguilla 11
	774	Tambo Viejo 2
SECTOR II (Cuenca Media)	861	Machay Bajo P-1
	862	Picapiedra P-2
	863	Manchay Bajo P-3
	864	Manchay Bajo P-6
SECTOR III (Cuenca Baja)	315	Pachacamac 2
	329	J.C.Tello 2
	346	Jose Galvez 2
	673	Villa Salvador P-3
	674	Villa Salvador P-4
	365	Lurin 2
	483	Jose Galvez 3
	671	Villa Salvador P-1
	672	Villa Salvador P-2
	675	Villa Salvador P-5
	803	Huertos de Lurin 3
811	Nuevo Lurin 2	

Tabla Nº 5.- Parámetros Analizados 2017

	POZO		FECHA DE ANALISIS DE IONES	Calcio Ca+2	Magnesio Mg+2	Sodio Na+	Potasio K+	Sulfatos SO4-2	Dureza Total (l)	Nitrato NO3-	Conductividad	Cloruros Cl-	pH	Alcalinidad
	ID	NOMBRE	DD/MM/AA	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(uS/cm)	(mg/L)	pH	(mg/L)
SECTOR I	867*	Cieneguilla 13	19/04/2017	74	24	28.12	2.0	67	266.0	8	592	66	7.30	130.00
	357*	Cieneguilla 1	06/03/2017	76	37	26.62	2.3	64	319	7	648	64	7.15	150
	773*	Cieneguilla 11	12/01/2016	73	21	32.71	1.0	91	255	8	577	48	6.85	153.00
	774*	Tambo Viejo 2	09/06/2016	121.5	41.7	27.50	5.6	163.8	448.0	24.2	901	86.3	6.71	229.00
SECTOR II	861*	Machay Bajo P-1**	07/03/2017	82	26	28.47	3.0	65	294.0	22	641	59	7.36	134.00
	862*	Picapedra P-2	07/03/2017	107	36	38.12	3.5	88	393.0	13	814	97	7.74	164
	863*	Manchay Bajo P-3	07/03/2017	92	41	27.81	2.7	71	373.0	12	748	78	7.56	171
	864*	Manchay Bajo P-6	14/06/2017	78	15	77.28	1.2	129	249.0	13	616	63	7.42	145
SECTOR III	315*	Pachacamac 2	08/02/2017	134	28	29.98	1.5	138	429	23	1032	80	7.37	133
	329*	J.C.Tello 2	10/01/2017	217	54	81.81	3.2	217	795	308	1858	205	7.31	180
	346*	Jose Galvez 2	05/05/2017	76	29	30.70	11.4	113	291	11	580	71	7.23	141.00
	673*	Villa Salvador P-3	10/01/2017	78	23	34.29	8.6	73	274	13	640	54	7.52	146.00
	674*	Villa Salvador P-4	10/01/2017	72	26	35.53	4.0	70	269	10	585	49	7.70	143.00
	365*	Lurin 2	08/03/2017	66	55	41.24	1.9	78	355	9	773	95	7.70	148.00
	483*	Jose Galvez 3	08/02/2017	324	98	63.49	2.1	149	1149	75	2490	649	7.02	128.00
	671*	Villa Salvador P-1	08/02/2017	64	34	23.91	1.4	75	279	16	602	54	7.42	128.00
	672*	Villa Salvador P-2	08/02/2017	104	59	28.73	1.5	123	464	40	987	117	7.15	146.00
	675*	Villa Salvador P-5	08/02/2017	80	36	28.61	1.3	78	325	19	665	63	7.16	146.00
	803*	Huertos de Lurin 3	08/03/2017	80	57	47.24	2.0	79	397.0	13	879	129	7.53	143.00
	811*	Nuevo Lurin 2	08/03/2017	310	80	64.41	3.5	308	1048.0	31	2260	431	7.52	156.00

Tabla Nº 6.- Parámetros Analizados 2018

	POZO		FECHA DE ANALISIS DE IONES	Calcio Ca+2	Magnesio Mg+2	Sodio Na+	Potasio K+	Sulfatos SO4-2	Dureza Total	Nitrato NO3-	Conductividad	Cloruros Cl-	pH	Alcalinidad
	ID	NOMBRE	DD/MM/AA	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(uS/cm)	(mg/L)	pH	(mg/L)
SECTOR I	867*	Cieneguilla 13	16/04/2018	68	27	30.91	2.0	103	262.0	6	527	47	6.84	125.00
	357*	Cieneguilla 1	12/10/2018	81	31	35.69	5.3	82	308	20	623	66	6.78	153
	773*	Cieneguilla 11	04/10/2018	86	27	34.84	2.4	87	308	18	670	68	6.95	158.00
	774*	Tambo Viejo 2	04/08/2017	133	37	40.87	3.2	174	459.0	13	985	108	6.88	200.00
SECTOR II	861*	Machay Bajo P-1**	08/02/2018	83	32	33.19	2.4	136	316.0	18	632	55	7.11	130.00
	862*	Picapedra P-2	08/02/2018	98	47	46.33	2.5	148	407.0	11	836	88	7.16	142
	863*	Manchay Bajo P-3	15/03/2018	88	27	52.28	2.2	101	314.0	13	684	73	7.68	137
	864*	Manchay Bajo P-6	15/03/2018	77	27	40.80	2.1	87	286.0	11	577	59	7.41	151
SECTOR III	315*	Pachacamac 2	17/01/2018	128	59	70.70	1.5	172	526	25	1067	215	6.89	138
	329*	J.C.Tello 2	15/03/2018	121	47	51.79	2.1	223	464	55	936	128	7.3	143
	346*	Jose Galvez 2	08/02/2018	69	34	33.72	1.5	133	289	10	602	60	7.06	141.00
	673*	Villa Salvador P-3	15/03/2018	81	32	42.07	1.6	80	313	15	635	66	7.27	147.00
	674*	Villa Salvador P-4	15/10/2018	72	35	34.95	5.5	125	299	11	604	59	7.16	145.00
	365*	Lurin 2	15/10/2018	86	45	52.79	5.3	110	370	12	809	102	7.01	153.00
	483*	Jose Galvez 3	08/02/2018	371	142	90.33	3.4	473	1418	79	2845	747	6.90	119.00
	671*	Villa Salvador P-1	15/10/2018	79	34	36.59	1.9	139	314	139	648	68	7.12	140.00
	672*	Villa Salvador P-2	15/03/2018	140	58	55.27	2.7	166	552	64	1116	195	7.16	144.00
	675*	Villa Salvador P-5	15/03/2018	79	36	40.63	2.0	78	321	18	646	69	7.19	163.00
	803*	Huertos de Lurin 3	15/10/2018	102	49	60.52	2.2	130	424.0	15	869	183	7.21	139.00
	811*	Nuevo Lurin 2	15/10/2018	347	77	87.26	11.1	451	1132.0	35	2270	415	7.15	171.00

3.2. Propiedades Físicas y Químicas del Agua Subterránea y sus Métodos de Análisis

Conductividad:

La conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir electricidad. (Custodio y Llamas ,2001). Pequeñas partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones, pueden llevar una corriente eléctrica a través de soluciones de agua. Estos iones provienen principalmente de los ácidos y sales de la solución de fuente. Entre más concentrado de solución de fuente sea añadido al agua, el número de iones se incrementa, junto con la conductividad. (Rodríguez, 2009). Este parámetro aumenta con la temperatura.

Dureza:

Esta propiedad es causada por los iones metálicos divalentes, es decir los cationes de Calcio (Ca^{+}) y Magnesio (Mg^{++}). Esta propiedad es muy importante en acuíferos cársticos que tienen la característica de formarse en rocas carbónicas como la dolomita y la caliza, lo cual, hace que se diluyan rocas formando carbonatos y bicarbonatos. (Donado, 1999).

La dureza del agua se origina normalmente por el contacto con el suelo y con las formaciones rocosas. (Ruiz, 1998).

Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, para reaccionar con iones hidrógeno, para aceptar protones, o como la medida del contenido total de sustancias alcalinas (OH^{-}). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampona de un agua.

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. (Donado, 1999).

PH

Es la medida de la concentración de hidrogeniones del agua o de la solución, estando controlado por las reacciones químicas y por el equilibrio entre los iones presentes. En agua subterránea varía entre 6,5 y 8,5. (Collazo y Montaña, 2012). Esta propiedad se calcula con una expresión logarítmica. En el agua subterránea tiende a ser balanceado, pues en ella es difícil encontrar minerales libres. Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es el límite de neutralidad. (Donado, 1999).

Los métodos empleados en cada parámetro analizado se muestran en la tabla N° 7.

Tabla N° 7.-Metodos de Análisis de propiedades Físicas y Químicas del Agua Subterránea

PARAMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. 2012
Dureza total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 0.0242 Part 2340 B, 22nd Ed. 2012.
Alcalinidad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2012.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. 2012.

3.3. Constituyentes Químicos Mayoritarios del agua subterránea y su Método de Análisis

Sodio y Potasio

En las aguas subterráneas, la procedencia de estos sólidos está relacionada con la disolución de los estratos minerales por las aguas y los procesos de lixiviación de rocas de distinta composición. (Osicka y Gimenez; 2004)

El sodio es el elemento más abundante de los elementos alcalinos, hallándose sus compuestos extensamente distribuidos en la naturaleza; este constituye 26 g Kg⁻¹ de la corteza terrestre ocupando el sexto lugar entre los elementos más abundantes.

Calcio:

El calcio no se encuentra libre en la naturaleza. Por lo general se encuentra como carbonato de calcio en la piedra caliza, la creta, el mármol, el espato de Islandia, el aragonito, las estalactitas u estalagmitas. Como sulfato de calcio se encuentran el yeso y la anhidrita, como sulfuro de calcio se halla el mineral llamado fluorita o espanto y como fosfato el apatito y la fosforita, Ca (PO₄)₂. (Rodríguez, 2009)

Esta frecuentemente en estado de saturación y su estabilidad en solución depende del equilibrio CO₂-CO₃H⁻-CO₃⁼. Puede precipitarse con facilidad, y es muy afectado por el cambio iónico. (Custodio y Llamas, 2001).

Magnesio:

El catión magnesio no se encuentra libre en la naturaleza, en su mayoría se encuentra en carbonato en el mineral llamado magnesita.

Los constituyentes minoritarios, se encuentran en concentraciones inferiores al 1% en relación a los iones fundamentales. Algunos de estos constituyentes son: Boro (B+3), Bromuro (Br-), Compuestos fenólicos, Fosfato (PO₄ -3), Manganeseo (Mn), Sílice (Si), Circón (Zr+2), y Cobre (Cu+), Hierro (Fe+2). (Collazo y Montaña; 2012).

Aunque se disuelve más lentamente es más soluble que el Ca, y tiende a permanecer en solución cuando este se precipita. Es afectado por el cambio iónico (Custodio y Llamas; 2001).

Los parámetros analizados corresponde a los cationes y sus métodos de análisis empleados se muestra en la tabla N° 8.

Tabla N° 8.- Métodos de Análisis de los Cationes del agua Subterránea.

PARAMETRO	METODO DE ANALISIS
Sodio	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 22nd Ed. 2012.
Potasio	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 22nd Ed 2012.
Calcio	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 0.0080 Part 3030 K, 3125 B, 23rd Ed.2017.
Magnesio	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 K, 3125 B, 22nd Ed 2012.

Los aniones también forman parte de los constituyentes principales del agua subterránea por ello se hace mención de los siguientes:

Cloruros:

El ion cloruro está presente en el agua subterránea en diversas cantidades, las cuales en su mayoría son inferiores a la cantidad que se encuentra en agua superficial.

Las concentraciones de cloruro en el agua pueden tener orígenes diversos. La intrusión de agua de mar es muy común en zonas costeras. El aumento de cloruros en un agua en zona árida se debe al lavado de los suelos producido por

fuertes lluvias. El aumento de cloruros también puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales. (Custodio y Llamas, 2001)

Las aguas subterráneas en áreas adyacentes al océano están en equilibrio hidrostático con el agua de mar.

Sulfatos:

El origen de los iones de sulfatos en el agua subterránea se debe a lavado de terrenos formados en condiciones de gran aridez o en ambientes marinos.

Oxidación de sulfuros de rocas ígneas, metamórficas, o sedimentarias. (Custodio y Llamas, 2001). Así también como por la contaminación con aguas residuales industriales. El contenido de estos no suele presentar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano.

Nitratos:

Es un ión estable, soluble en agua, muy móvil, no se absorbe en arcilla o materia orgánica por sus condiciones aniónicas, y por lo tanto, se puede lixiviar a través del suelo y ser transportado por el agua subterránea (Díaz, 1985). Generalmente los nitratos en el suelo y aguas subterráneas tienen un movimiento lento. Aunque el nitrato es la forma principal en que el Nitrógeno está en el agua subterránea, también puede estar presente en la forma de amonio, amoníaco, nitrito, óxido nitroso y nitrógeno orgánico incorporado a sustancias orgánicas (Pacheco et al., 2002)

Los métodos de análisis empleados para determinar concentración de aniones se muestra en la tabla N° 9.

Tabla N° 9.- Métodos de Análisis de los Aniones del agua Subterránea.

PARAMETRO	METODO DE ANALISIS
Cloruros	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 0.00004 Part 3030 K, 3125 B, 22nd Ed. 2012.
Sulfatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 4110 B, 22nd Ed. 2012
Nitratos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4110 B, 22nd Ed. 2012.

3.4. Diagramas Hidroquímicos

Para un entendimiento claro de la interacción existente entre el agua subterránea y los materiales del acuífero, se muestran diversas técnicas que permitirán un mejor manejo y estudio de los análisis químicos.

Se utilizó el diagrama de Piper (Figura. N° 2) con el objeto de establecer los posibles orígenes del agua subterránea y la identificación de los principales procesos geoquímicos.

Este diagrama consiste de dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la porción superior de los triángulos (Appelo y Postma, 2005). Se muestra la técnica de elaboración del diagrama de Piper (ver Figura. N°3).

Los diagramas triangulares de Piper tienen como ventaja, que permiten representar un gran número de muestras en un sólo gráfico. (Fagundo y Gonzales, 2005). El diagrama de Piper fue obtenido empleando el programa "Diagrammes".

Otra herramienta empleada es el uso de mapas de isoclinas de conductividad, Cloruros, Sulfato y Nitratos para ver la variación de concentraciones sobre el área de estudio.

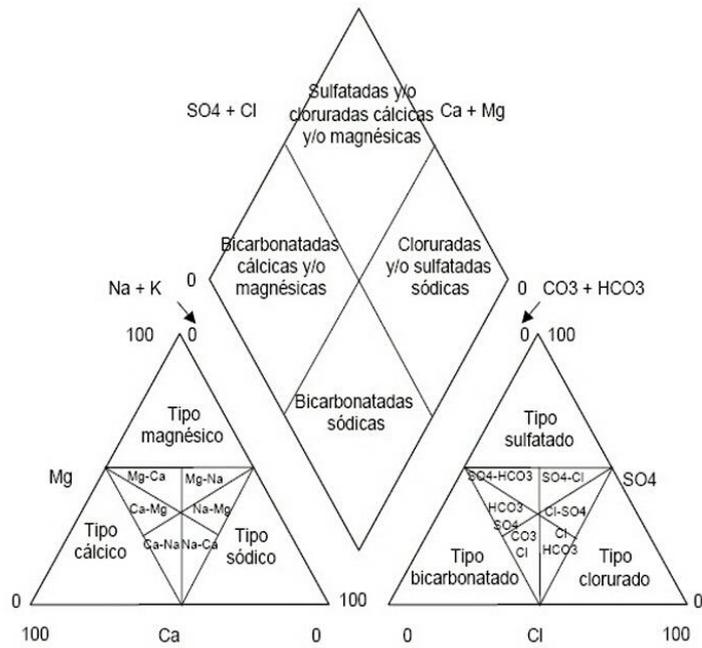


Figura N°2.- Diagrama de Piper con la distribución de la naturaleza química del agua.

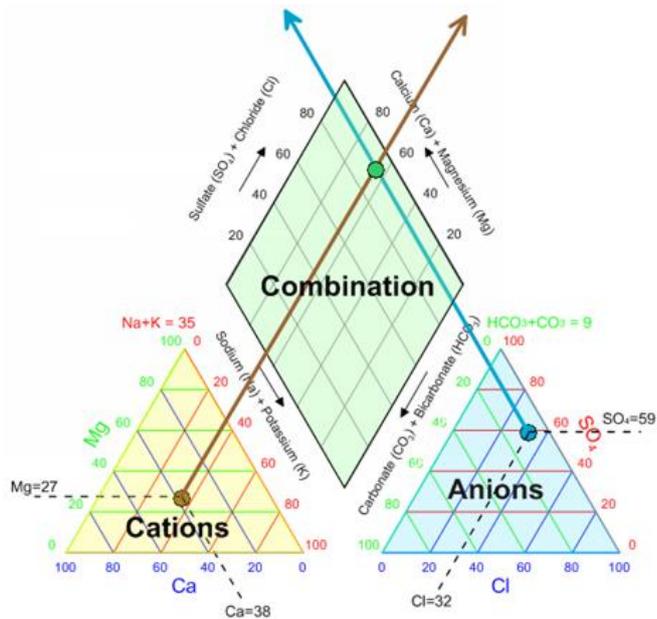


Figura N° 3.- Técnica de elaboración del Diagrama de Piper

3.5. Relaciones Iónicas del Agua Subterránea.

Las relaciones entre los iones disueltos en un agua pueden guardar una cierta relación con el terreno del que procede el agua o indicar la acción de los fenómenos modificadores o indicar una característica específica del agua considerada (Custodio y Llamas, 2001).

Las relaciones iónicas permiten caracterizar las propiedades hidrogeológicas de un acuífero y determinan si están afectadas por elementos ajenos al medio geológico. (Yera, et al., 2012)

Se han generado cuadro de las relaciones lónicas, con el fin de poder emplearlos como herramientas eficaces al momento de aplicar criterios hidroquímicos.

Los índices hidrogeoquímicos empleados son:

- 1) La $rCl^-/r HCO_3^-$, es especialmente útil en la caracterización de la intrusión marina ya que en aguas continentales normalmente un valor entre 0,1 y 5 y en el agua de mar varía entre 20 y 50. (Custodio y Llamas, 2001).
- 2) La rSO_4^{2-}/rCl^- , en aguas algo salinas el contenido del ion SO_4^{2-} tiende hacerse constante y entonces tiene un interés similar al de la relación $rCl^-/r HCO_3^-$, no siendo de utilidad cuando se produce reducción de sulfatos, en este caso puede servir para caracterizarla (Custodio y Llamas, 2001).
- 3) La rK/rNa ; está relacionada con el intercambio iónico que experimentan las aguas subterráneas, en la zona del suelo, con las arcillas y otros tipos de rocas. (Custodio y Llamas, 2001).
- 4) La rMg^{2+}/rCa^{2+} ; refleja la relación entre la calcita y la dolomita en las aguas naturales que se mueven por silicatos, es una expresión del grado de acidez de estas rocas. (Fagundo y Gonzales, 2005).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

4.1. Conductividad

En la cuenca alta del acuífero Lurín , identificada como el sector I; la conductividad eléctrica promedio en el año 2017 es de 680 $\mu S/cm$, observándose que el pozo 774 tiene una conductividad de 901 $\mu S/cm$ siendo el mayor valor con respecto a los demás pozos de este sector . En el año 2018 la conductividad promedio fue de 701 $\mu S/cm$, observándose un incremento de 22 $\mu S/cm$ con respecto al promedio del año 2017. Se han identificado en los pozos 773 y 774 lecturas de 670 $\mu S/cm$ y 985 $\mu S/cm$ respectivamente, que representan los valores más altos del sector para el año 2018.

En la cuenca media del acuífero de Lurín, identificada como el sector II; la conductividad eléctrica promedio en el año 2017 es de 705 $\mu S/cm$, observándose que el pozo 862 tiene una conductividad de 836 $\mu S/cm$ siendo el

mayor valor con respecto a los demás pozos de sector II. En el año 2018 la conductividad promedio fue de 682 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observándose un descenso ligero de -23 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con respecto al promedio del año 2017. El pozo 862 tiene una lectura de 836 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica que representa el valor más alto del sector II para el año 2018.

En la cuenca baja del acuífero de Lurín, identificada como el sector III; la conductividad eléctrica promedio en el año 2017 es de 1113 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observándose que el pozos 483 tienen una conductividad de 2490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo este el mayor valor, seguido del pozo 811 con una conductividad de 2260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el pozo 329 con una conductividad de 1858 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cuales representa las lecturas más altas del sector III.

En el año 2018 la conductividad promedio fue de 1087 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observándose un descenso ligero de -25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con respecto al promedio del año 2017. Se ha identificado los pozos 483 y 672 con lectura de conductividad de 2845 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1116 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, que representan los valores más altos del sector III y a la vez los que presenta un mayor incremento con respecto al año 2017. Por otro lado el pozo 329 presenta un descenso significativo de -922 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con lectura de conductividad 936 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los resultados de conductividad del sector I, II y III para los años 2017 y 2018 han sido plasmados en un gráfico comparativo (ver figura N°4).

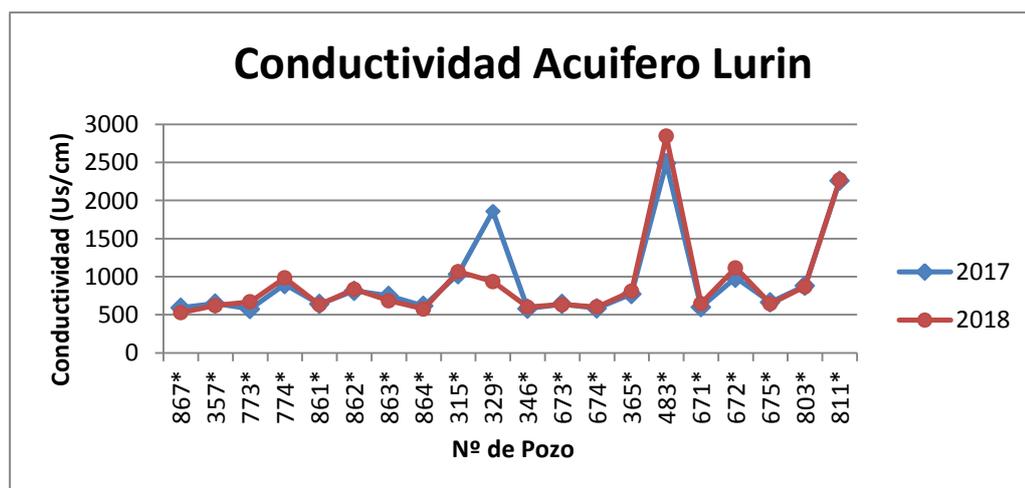


Figura N°4.- Conductividad Eléctrica en el Acuífero Lurín 2017- 2018

Las lecturas de conductividad del año 2018 son desde 577 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que representa el valor mínimo, hasta 2470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que representa el valor máximo;

estos valores se emplearon para elaborar el plano de isoconductividad (Figura. N° 5), observándose en él, que el sector III presenta lecturas de conductividad mixta teniendo en este grupo valores que superan los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (LMP) que exige el D.S N° 031-2010 S.A, reglamento peruano de la calidad del agua para consumo humano, con lecturas de 1858 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en zonas puntuales. En los sectores I y II las lecturas de conductividad es $< 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$.

En el sector III, se observa que los pozos que presentan valores bajos de conductividad se encuentran más cerca al río Lurín; y los pozos con alta conductividad se encuentran rodeados de zonas urbanas.

La cuenca baja, representada por el sector III, es la más próxima al Océano Pacífico, lo que influye en las lecturas de conductividad por la presencia de sales disueltas en el agua de mar.

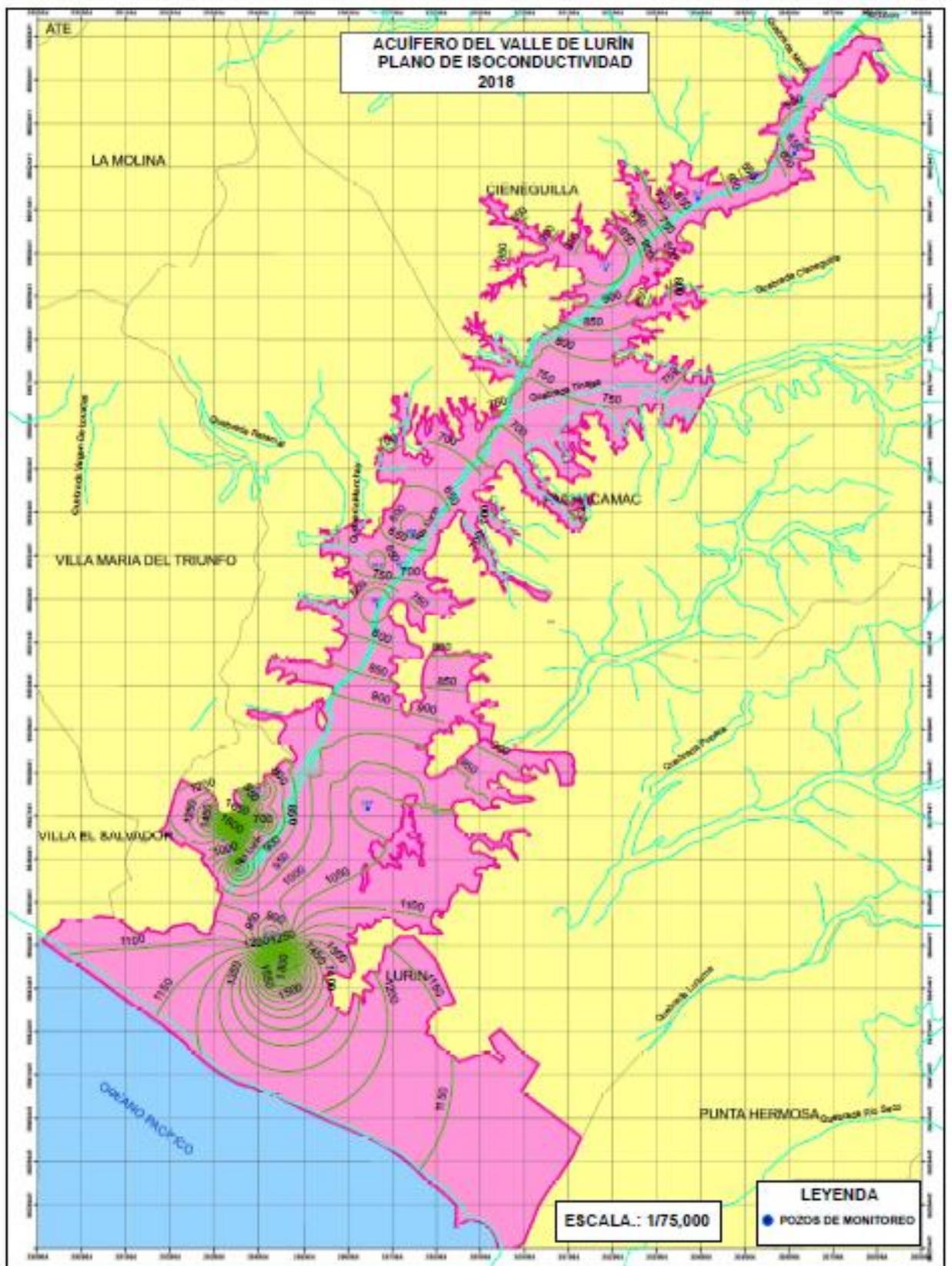


Figura. Nº 5.- Plano de Isoconductividad- 2018

4.2. Cloruros

En la cuenca alta del acuífero de Lurín, la concentración de cloruros promedio en el año 2017 es de 66 mg/L, observándose que el pozo 774 tiene una concentración de 86.3mg/L de cloruros siendo este valor el mayor con respecto a los demás pozos de este sector. En el año 2018 la concentración de cloruros promedio fue de 72 mg/L, observándose un incremento promedio de 6 mg/L, con respecto al promedio del año 2017. Se ha identificado en los pozos 774 y 773 lecturas de 108 mg/L y 68 mg/L de cloruros respectivamente, que representan a los valores más altos del sector para el año 2018.

En la cuenca media del acuífero Lurín, la concentración de cloruros promedio en el año 2017 es de 74 mg/L, observándose que el pozo 862 tiene 92 mg/L de cloruros siendo el de mayor valor de concentración con respecto a los demás pozos del sector II. En el año 2018 concentración de cloruros promedio fue de 69 mg/L, observándose un descenso ligero de -5 mg/L no significativo con respecto al promedio del año 2017. Las lecturas de las concentraciones de cloruros no representan una variación significativa.

En la cuenca baja del acuífero de Lurín, la concentración de cloruros promedio en el año 2017 es de 166 mg/L. observándose en los pozos 483 y 811 lecturas de 649 mg/L, y 431 mg/L respectivamente, siendo estos valores los más altos del sector III. En el año 2018 la concentración de cloruros promedio fue de 192 mg/L, observándose un incremento promedio de 26 mg/L con respecto al año 2017. Se ha identificado en los pozos 483 y 811 lecturas de 747 mg/L y 415 mg/L de cloruros respectivamente, que representan los valores más altos del sector III para el año 2017. Se observa también que el pozo 315 presenta un incremento significativo de 135 mg/L con lectura de 215 mg/L de cloruro.

Los resultados mencionados del sector I, II y III para los años 2017 y 2018 han sido plasmados en un gráfico comparativo (ver figura N°6).

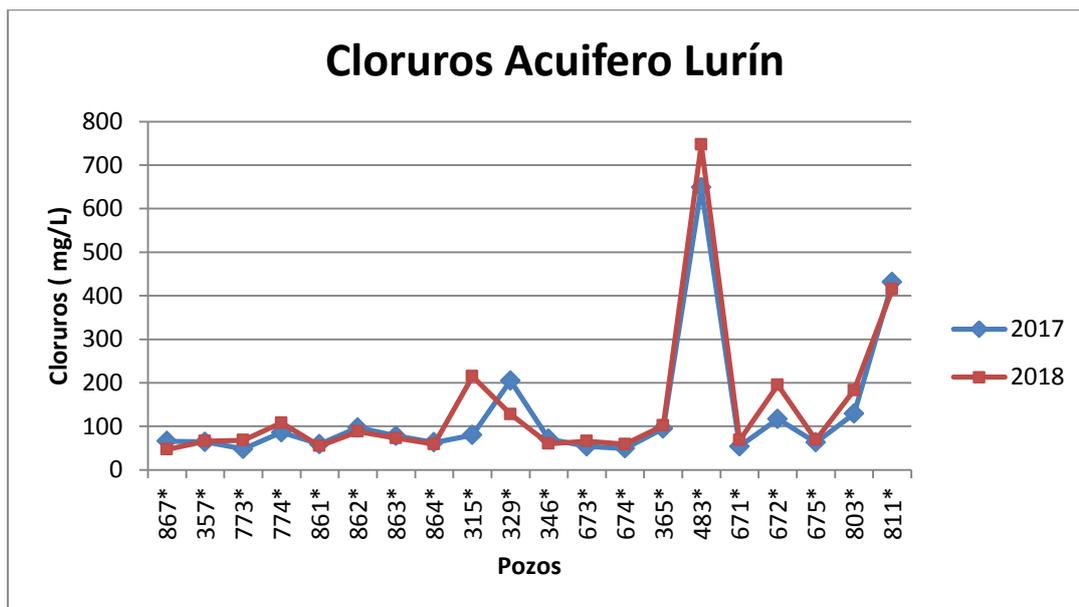


Figura N°6.- Concentración de Cloruros en el Acuífero Lurín 2017- 2018

La lectura concentración de cloruros del año 2018, es desde 47 mg/L que representa el valor mínimo hasta 747mg/L que representa el valor máximo, estos valores se emplearon para elaborar el plano de isocloruros (Figura. N°7) ; observándose que el sector III presenta lecturas de concentración de cloruros variada , teniendo en este grupo valores que superan los 250 mg/L (LMP) que exige el D.S N° 031-2010 S.A reglamento peruano de la calidad del agua para consumo humano, con lecturas de 747mg/L , 415mg/L de los pozos 483 y 811 respectivamente. En los sectores I y II las lecturas de cloruros es < 110mg/L. En el sector III se observa que los pozos que presentan valores altos de cloruros también presentan alta conductividad.

Los pozos que presentan valores bajos de cloruros, se encuentran más cerca al río Lurín; y los pozos con alta concentración de cloruros se encuentran rodeados de zonas urbanas.

La cuenca baja, representada por el sector III, es la más próxima al océano pacifico, lo que podría estar influenciando en las lecturas de cloruros por las sales presentes en solución del agua de mar.

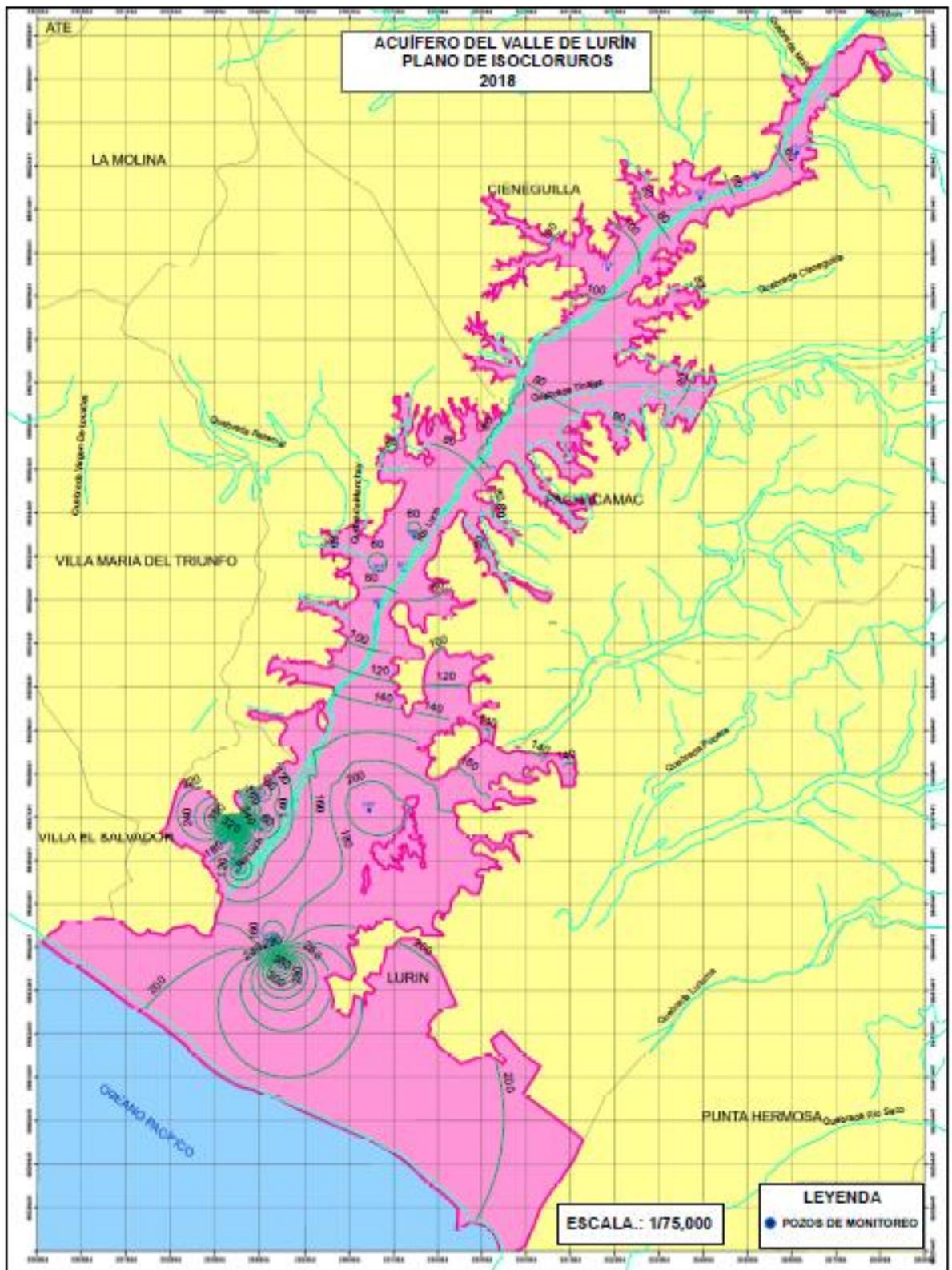


Figura. Nº 7.- Plano de Isocloruros- 2018

4.3. Sulfatos

En la cuenca alta del acuífero Lurín, la concentración de sulfatos promedio en el año 2017 es de 96 mg/L, observándose que el pozo 774 tiene una concentración de sulfatos de 164 mg/L siendo el valor mayor con respecto a los demás pozos de este sector. En el año 2018 concentración de sulfatos promedio fue de 112 mg/L, observándose un incremento promedio de 16 mg/L con respecto al promedio del año 2017. Se ha identificado en el pozo 774 lectura de 174 mg/L de sulfatos siendo el mayor del sector I para el año 2018.

En la cuenca media del acuífero Lurín, la concentración de sulfatos promedio en el año 2017 es de 88 mg/L, observándose que el pozo 864 tiene 129 mg/L de sulfatos siendo mayor con respecto a los demás.

Los resultados mencionados del sector I, II y III para los años 2017 y 2018 aparecen en la figura N°8.

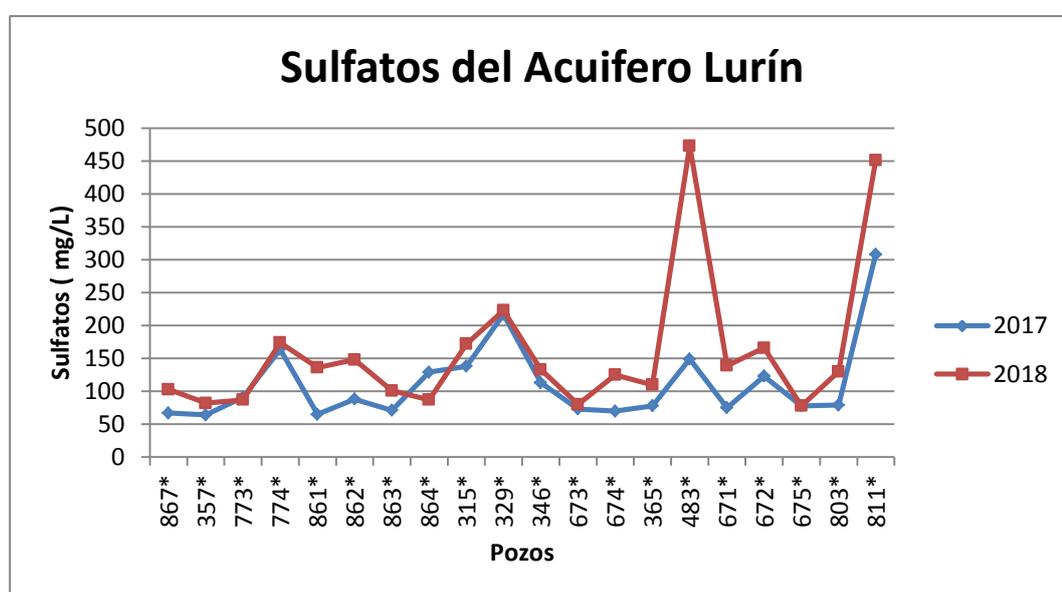


Figura N°8.- Concentración de Sulfatos en el Acuífero Lurín 2017- 2018

La lectura de Sulfatos del año 2018, es desde 64 mg/L que representa el valor mínimo hasta 308 mg/L que representa el valor máximo, estos valores se emplearon para elaborar el plano de isosulfatos (Figura. N°9), observándose que el sector III presenta lecturas de sulfatos mixta teniendo en este grupo

lecturas que superan los 250 mg/L (LMP) que exige el D.S N° 031-2010 S.A reglamento peruano de la calidad del agua para consumo humano; con lecturas de 473 mg/L y 451mg/L que pertenecen a los pozos 483 y 811 respectivamente . En los sectores I y II las lecturas de sulfatos, representan valores bajos con un promedio de lectura < 92mg/L.

En el sector III se observa que los pozos que presentan valores altos de sulfatos también presentan alta conductividad y concentración de cloruros.

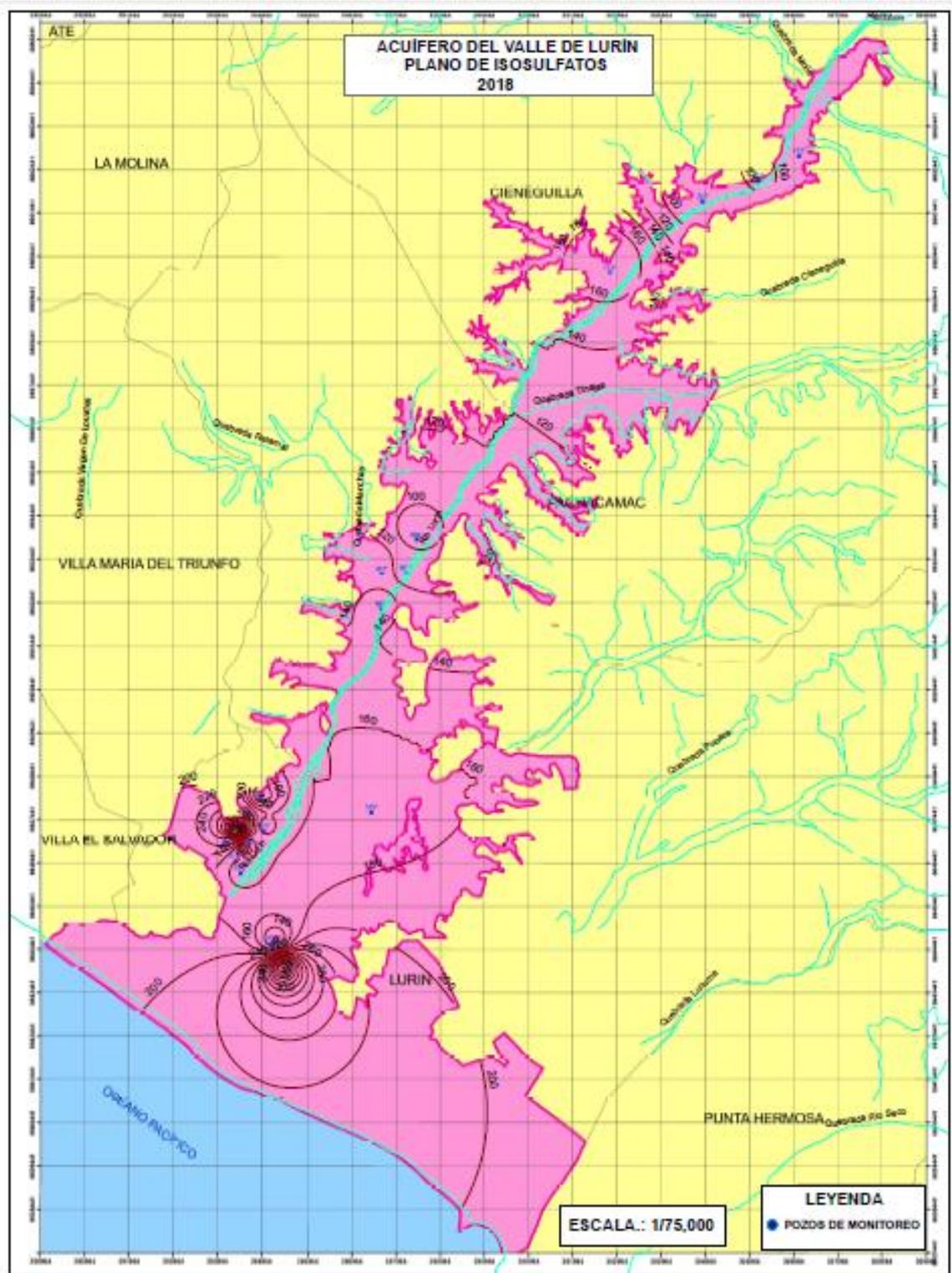


Figura. Nº 9.- Plano de Isosulfatos - 2018

4.4. Nitratos

En la cuenca alta del acuífero, la concentración de nitratos promedio en el año 2017 es de 12 mg/L, observándose que el pozo 774 tiene una concentración de 24 mg/L de nitrato, siendo este valor el mayor con respecto a los demás pozos del sector I. En el año 2018 concentración de nitratos promedio fue de 15 mg/L, observándose un incremento de 11,5 mg/L con respecto al promedio del año 2017, por lo cual su variación no es significativa.

En la cuenca media del acuífero de Lurín, la concentración de nitratos promedio en el año 2017 es de 15 mg/L, observándose que el pozo 861 tiene 22 mg/L de nitrato siendo mayor con respecto a los demás pozos del sector II. En el año 2018 la concentración de nitratos promedio es de 13 mg/L, observándose un descenso de -1.7 mg/L, con respecto al promedio del año 2017.

En la cuenca baja del acuífero Lurín, la concentración promedio de nitratos es de 47mg/L en el año 2017, observándose que los pozos 483 y 329 tienen una concentración de 75 mg/L, y 308 mg/L de nitratos respectivamente, los cuales representan las lecturas más altas del sector III.

En el año 2018 la concentración promedio de nitratos es de 40 mg/L, observándose un descenso de -7.5 mg/L con respecto al promedio del año 2017. Se ha identificado los pozos 671 y, 672 con lecturas de 139 mg/L y 54 mg/L de concentración de nitratos respectivamente, que representan los valores más altos del sector III; y el pozo 329 tiene una concentración de nitratos de 55 mg/L que representa un descenso significativo de -253 mg/L con respecto al año 2017.

Los resultados mencionados del sector I, II y III para los años 2017 y 2018, han sido plasmados en un gráfico comparativo (ver figura N°10).

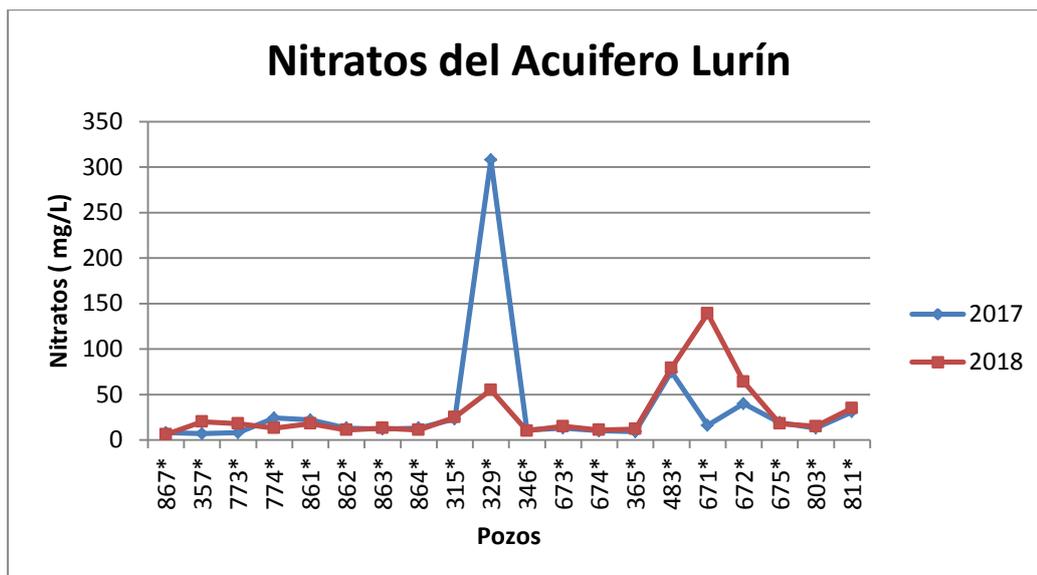


Figura N°10.- Concentración de Nitratos en el Acuífero Lurín 2017- 2018

Las lecturas de concentración de nitratos del año 2018, es desde 6 mg/L que representa el valor mínimo, hasta 139 mg/L que representa el valor máximo, estos valores se emplearon para elaborar el plano de isonitratos (Figura. N°11), observándose que el sector III presenta lecturas de nitratos mixta teniendo en este grupo lecturas que superan los 50 mg/L (LMP) que exige el D.S N° 031-2010 S.A., reglamento peruano de la calidad del agua para consumo humano, con lecturas de 139 mg/L , 79 mg/L , 55 mg/L y 64mg/L , en zona puntuales. En los sectores I y II las concentraciones de nitrato es < 21mg/L.

En el sector III se observa a los pozos que presentan alta concentración de nitratos también presentan alta concentración de sulfatos , cloruros y alta conductividad , los pozos identificados son 329, 483, 671 y 672 en el año 2018.

4.5. Familia de aguas subterránea (Diagrama de Piper)

La clasificación del tipo de familias de aguas subterráneas para el sector I, II y III, en los años 2017 y 2018 se obtienen empleando el diagrama de Piper, que muestra a las aguas geoquímicamente similares agrupadas en áreas bien definidas. Los tipos de familia que se obtiene como resultado son dos:

- 1) Las tipos mixtas Clorurada Cálcica (Ca-Mg-Cl)
- 2) Las Tipos Sulfatada Cálcica (Ca-SO₄).

Se muestra el total de pozos monitoreados con su respectiva clasificación en la Tabla N°10.

Tabla N° 10.- Clasificación de familias empleando diagrama de Piper

	POZO		2017		2018	
	ID	NOMBRE	Nombre de Familia		Nombre de Familia	
SECTOR I	867*	Cieneguilla 13	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	357*	Cieneguilla 1	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	773*	Cieneguilla 11	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	774*	Tambo Viejo 2	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄
SECTOR II	861*	Machay Bajo P-1	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	862*	Picapietra P-2	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄
	863*	Manchay Bajo P-3	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	864*	Manchay Bajo P-6	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
SECTOR III	315*	Pachacamac 2	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄
	329*	J.C.Tello 2	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄
	346*	Jose Galvez 2	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	673*	Villa Salvador P-3	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	674*	Villa Salvador P-4	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	365*	Lurin 2	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	483*	Jose Galvez 3	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄
	671*	Villa Salvador P-1	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	672*	Villa Salvador P-2	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄
	675*	Villa Salvador P-5	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl
	803*	Huertos de Lurin 3	Clorurada Calcica- Magnesica	Ca-Mg-Cl	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄
811*	Nuevo Lurin 2	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄	Sulfatada Calcica	Ca-SO ₄	

En el sector I para el año 2017, se observa que los pozos 867-357-773 -774 pertenecen a la familia del tipo mixta Clorurada Cálcica (Ca-Mg-Cl), para el año 2018 se mantienen la clasificación a excepción del pozos 774 que pertenece al tipo de familia Sulfatada Cálcica (Ca-SO₄), tal como se aprecia en la figura N° 12.

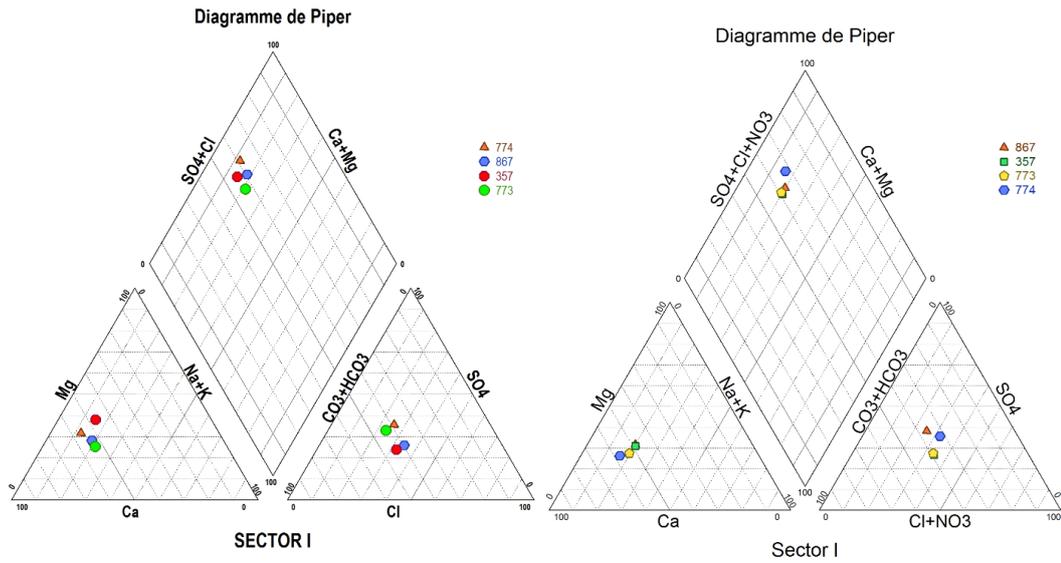


Figura N°12.- Diagrama de Piper Sector I -2017(Izq.) y 2018 (Der.)

En el sector II para el año 2017 , se observa que los pozos 861,862,863,864 pertenecen a la familia del tipo mixta Clorurada Cálctica (Ca-Mg-Cl) , para el año 2018 se mantiene la clasificación a excepción del pozo 862 que pertenece al tipo de familia Sulfatada Cálctica (Ca-SO₄). Como se aprecia en la figura. N° 13

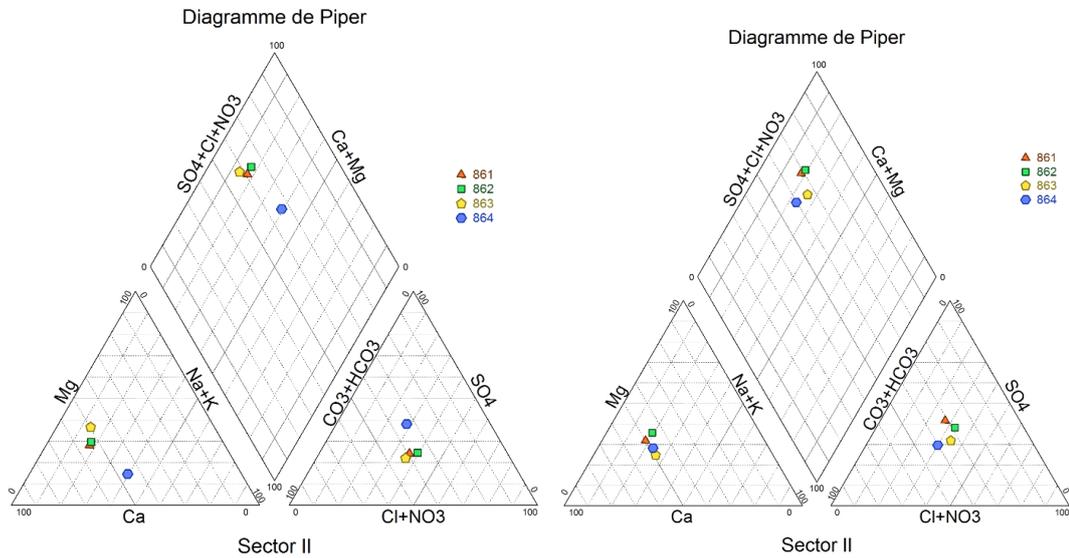


Figura N°13.- Diagrama de Piper sector II- 2017 (Izq.) y 2018 (Der.)

En el sector III para el año 2017 , se observa que los pozos 346, 673, 674, 365, 671, 675 y 803, pertenecen a la familia del tipo mixta Clorurada Cálctica (Ca-Mg-Cl), para el año 2018 se mantiene la clasificación a excepción del

pozo 803 que pertenece al tipo de familia Sulfatada Cálcida (Ca-SO₄). Los pozos 315, 329, 483, 672 y 811 pertenecen a la familia Sulfatada Cálcida (Ca-SO₄) y en el año 2018 se mantienen en dicha clasificación. Como se aprecia en la figura N° 14

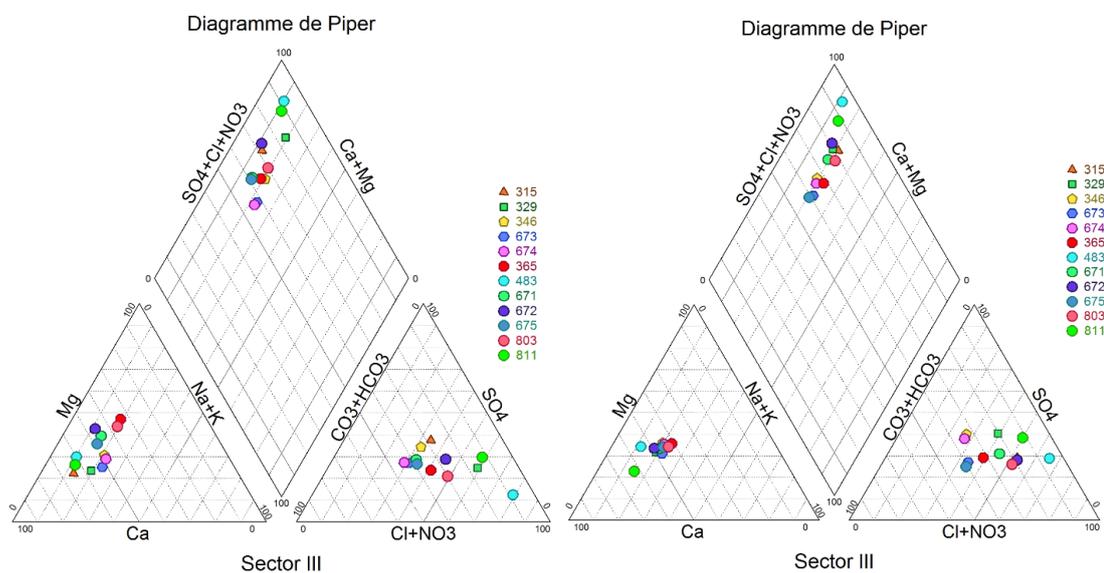


Figura N°14.- Diagrama de Piper del Sector III-2017 (Izq.) y 2018 (Der.)

4.6. Índices Hidrogeoquímicos

La relación de los índices obtenidos en toda nuestra área de estudio, desde la cuenca alta, pasando por la cuenca media y culminando en la cuenca baja se muestran en la Tabla N° 11; donde observamos las siguientes relaciones iónicas: $rCl^-/rHCO_3^-$, rSO_4^{2-}/rCl^- , rK/rNa ; y rMg^{2+}/rCa^{2+} .

Tabla N° 11.- Relaciones Iónicas 2018

SECTOR	POZO		RELACIONES IONICAS-2018			
	ID	NOMBRE	rCl/rCO3H	rSO4/rCl	rK/rNa	rMg/rCa
SECTOR I (Cuenca Alta)	867*	Cieneguilla 13	0.53	1.62	0.04	0.65
	357*	Cieneguilla 1	0.61	0.92	0.09	0.63
	773*	Cieneguilla 11	0.61	0.95	0.04	0.52
	774*	Tambo Viejo 2	0.76	1.19	0.05	0.46
SECTOR II (Cuenca Media)	861*	Machay Bajo P-1**	0.60	1.83	0.04	0.63
	862*	Picapedra P-2	0.87	1.24	0.03	0.79
	863*	Manchay Bajo P-3	0.75	1.02	0.03	0.51
	864*	Manchay Bajo P-6	0.55	1.09	0.03	0.58
SECTOR II (Cuenca Baja)	315*	Pachacamac 2	2.19	0.59	0.01	0.76
	329*	J.C.Tello 2	1.26	1.29	0.02	0.64
	346*	Jose Galvez 2	0.60	1.64	0.03	0.81
	673*	Villa Salvador P-3	0.63	0.90	0.02	0.65
	674*	Villa Salvador P-4	0.57	1.57	0.09	0.80
	365*	Lurin 2	0.94	0.80	0.06	0.86
	483*	Jose Galvez 3	8.84	0.47	0.02	0.63
	671*	Villa Salvador P-1	0.68	1.51	0.03	0.71
	672*	Villa Salvador P-2	1.91	0.63	0.03	0.68
	675*	Villa Salvador P-5	0.60	0.84	0.03	0.75
	803*	Huertos de Lurin 3	1.85	0.53	0.02	0.79
811*	Nuevo Lurin 2	3.42	0.80	0.07	0.37	

La relación de $rCl^-/rHCO_3^-$, presenta valor < 5 lo que puede inferirse que estamos ante la presencia de aguas subterráneas continentales, descartando la presencia de agua de mar o llamada intrusión marina. El pozo 483 presenta un valor de 8,84 siendo el valor más alto de toda la red de monitoreo ubicándose en la cuenca baja del acuífero, este valor indica incremento de la concentración de cloruros, probablemente en zonas de regadío. Ninguno de los valores se encuentra entre 20 y 50 que es un indicador de la presencia de agua de mar.

La relación rSO_4^{2-}/rCl^- , tiene valores que se encuentra entre 0.47 hasta 1.83. En aguas continentales este índice se presenta con valores entre 0.2 y 1, un valor mayor de esta relación determina la existencia del problema de intrusión salina. Valores muy cercanos a 0.11 corresponde al agua de mar. (Ministerio de Agricultura, 2011).

La relación rK/rNa ; presenta valores de 0.01 hasta 0.09 que es característico en aguas dulces. Para considerar agua de mar el valor es de 0.02 a 0.025 encontrándose en este rango los resultados de los pozos 329, 673, 483, y 803.

La rMg^{2+}/rCa^{2+} ; presenta valores < 1 , encontrándose en el rango de 0.3 - 1.5 que indica ser agua continental, cuando el valor es próximo a 1 podríamos hablar de posibles influencias de terrenos dolomíticos, o con

serpentín pudiendo ser el caso del pozo 365. Que tiene un valor de 0.86 que es el más alto y próximo a 1.

5. CONCLUSIONES:

El acuífero de Lurín, ha sido segmentado en tres sectores de estudio para su caracterización hidrogeoquímica: cuenca alta , cuenca media y cuenca baja; para un mejor estudio, abarcando los distritos Cieneguilla, Pachacamac y Lurín respectivamente .

La cuenca alta y media, presentan lecturas de conductividad menores a 1500 $\mu\text{S/cm}$, la concentración de cloruros registrada es desde 47 mg/L hasta 108 mg/L menor a 250 mg/L (LMP), la concentración de sulfatos registrada es desde 82 mg/L hasta 174 mg/L. menor a 250 mg/L (LMP) y la concentración de nitratos es desde 6 mg/L hasta 20 mg/L, siendo todos estos valores menor a 50 mg/L (LMP); por lo cual podemos indicar que estas aguas son de baja mineralización, sin presentar indicios de intrusión marina o contaminación antropogenica; y cumplen con el D.S N° 0.31-20120 S.A , siendo apta para consumo humano.

Las relaciones iónicas $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$ se encuentran desde 0.53 hasta 0.87 siendo menor a 5 lo que nos indica que estamos frente a aguas subterráneas continentales.

La familia de aguas que predomina en la cuenca alta y media es de tipo mixta clorurada cálcica- magnésica (Ca-Mg-Cl) que representa el 75% y sulfatada cálcica (Ca-SO₄) que representa el 25% ; este tipo de familias se obtienen de los diagramas de Piper como se aprecia en las figuras N°12 y N°13 para los años 2018.

La cuenca Baja, se caracteriza porque presenta dos pozos(483 y 811) con lecturas de conductividad alta de 2845 $\mu\text{S/cm}$ y de 2270 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente , superando los 1500 $\mu\text{S/cm}$ (LMP), la concentración de cloruros es de 747mg/L y 415 mg/L respectivamente , superando los 250 mg/L (LMP) , la concentración de sulfatos es de 473 mg/L y 451 mg/L respectivamente superando los 250 mg/L (LMP) . Por lo que podemos indicar que las aguas de estos dos pozos son de muy alta mineralización indicándonos la presencia de aguas salobres.

El pozo 811 es el más cercano a la costa del Océano Pacífico, por lo que podríamos sospechar que sus características fisicoquímicas son afectadas por la intrusión marina, lo que nos lleva a analizar la relación iónica $rCl^-/r HCO_3^-$ que es muy útil en la caracterización de la intrusión marina, el valor de esta relación es de $3.42 < 5$, quedando descartada la presencia de intrusión marina.

El pozo 483 está alejado de la costa y rodeado de 6 pozos (675-674-346-673-672 y 329) los cuales presentan los parámetros de conductividad, cloruros y sulfatos con valores por debajo de los LMP, lo que refleja una alteración puntual en dicha cuenca. Analizamos la relación iónica del pozo 483 para descartar posible intrusión marina, empezando evaluar la $rCl^-/r HCO_3^-$ que tiene un valor de 8.84, siendo menor a 20 lo que nos indicaría que no existe intrusión marina, por lo que podemos concluir que el incremento de cloruros es debido a la concentración de sales en zona de regadío, evaluando la relación rSO_4^{2-}/rCl^- que tiene un valor de 0.47, y la relación rMg^{2+}/rCa^{2+} ; tiene un valor de 0.63, lo que indica presencia de aguas continentales. Por lo que podemos concluir que estamos frente a una contaminación por actividades antrópicas, como posibles vertidos urbanos e industriales o actividades agrícolas.

La concentración de nitratos es de 55 mg/L, 79 mg/L, 139 mg/L y 64 mg/L para los pozos 329, 483, 671 y 672, respectivamente, superando los 50 mg/L (LMP) esta alta concentración de nitratos indican contaminación orgánica. Los 4 pozos en mención están ubicados geográficamente cerca uno al otro, generando una zona con posible contaminación por descomposición orgánica, contaminación urbana, industrial y ganadera.

El tipo de familia de aguas en la cuenca baja, es de tipo mixta clorurada cálcica-magnésica (Ca-Mg-Cl) que representa al 50% de pozos y sulfatada cálcica (Ca-SO₄) el otro 50%, la clasificación se obtiene de los diagramas de Piper, como se aprecia en la figura N° 14 para el año 2018.

En esta cuenca baja podemos decir que el 25% de los pozos no cumple con el D.S N°031-2010 por lo cual es considerada agua de mala calidad para consumo humano.

6. BIBLIOGRAFIA

- Appelo, C.A.J., Postma, D., (2005), *Geochemistry, Groundwater and Pollution*: Rotterdam, Balkema, Amsterdam .
- Custodio, E.; Llamas, M.R (,1983), *Hidrología Subterránea (Tomo I)*, Barcelona. Omega.
- Custodio, E.; Llamas, M.R (,2001), *Hidrología Subterránea (Tomo I)*, Barcelona. Omega.
- DIGESA (2011) .*Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. DIGESA. Lima.
- Donado, L. D. (2005). *Hidrogeología con Aplicaciones y Casos de Estudio Latinoamericanos*. Publicado en Internet. Editado por Gonzalo Pulido Silva.
- Fagundo, J.R.; Gonzáles, P. (2005), *Hidrogeoquímica, Cuba*. CENAMET.
- Ministerio de Agricultura (2005). *Evaluación de las aguas subterráneas el acuífero Asia – Omas*, Ministerio de Agricultura. Lima. 69-75.
- Osicka, R. Gimenez, M. (2004). *Determinación del contenido de Sodio y Potasio en aguas naturales subterráneas por fotometría de llama*. *Determinación del contenido de Sodio y Potasio en aguas naturales subterráneas por fotometría de llama*. Argentina. Universidad nacional del Noreste.
- Pacheco, J., Pat R., Cabrera A; (2002). *Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos*. Ingeniería, vol. 6, núm. 3. Mérida, México.
- Rodríguez J. (2009) *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela*. *Revista Pensamiento Actual*. 127-128.

- Ruiz R. (1998). Hidroquímica. Cartagena de Indias. Universidad de Cartagena Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas Departamento de Química.
- Sánchez, J; Álvarez T; Pacheco, J.; González- R.; Carrillo L.; (2015). Caracterización Hidrogeoquímica de las Aguas Subterráneas del Sur del Estado de Quintana Roo, México; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 32, núm. 1, 2015, pp. 62-76 .Universidad Nacional Autónoma de México. Querétaro, México.
- Yera, G.; Fernández, C.; Fagundo, J. (2012). Caracterización Hidrogeoquímica de la Subcuenca Najasa, cuenca Costera Sur de Camagüey. Ing. Hidráulica y ambiental Vol. XXXIII. 37-47