

**CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE  
VICEPRESIDENCIA OPERACIONES NORTE  
GERENCIA DE DESARROLLO DISTRITO NORTE  
DIRECCIÓN DE EXPLORACIÓN DISTRITAL E HIDROGEOLOGÍA**

## **AREA HIDROGEOLOGÍA**



### **INFORME PLAN DE ALERTA (PAT) SECTOR PAMPA PUNO**

**Febrero 2016**

## TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN .....	3
2.	INTRODUCCION .....	4
2.1	Objetivo Informe.....	4
2.2	Descripción del Área de Estudio.....	5
2.3	Considerando de la RCA N° 2603/2005 .....	7
2.4	Compromisos de Monitoreo.....	8
2.5	Escenarios de Análisis Legales y Técnicos.....	14
2.6	Materiales y Métodos.....	14
3.	ACUÍFEROS PAMPA PUNO Y YOCAS.....	15
3.7	Aspectos Generales.....	15
3.8	Niveles de Agua Subterránea.....	18
3.9	Calidad del Agua Subterránea.....	40
4.	VEGA SAPUNTA.....	83
4.1	Aspectos Generales.....	83
4.2	Niveles de Agua Subterránea.....	86
4.3	Calidad de Agua Subterránea .....	94
5.	RÍO LOA ALTO .....	104
5.1	Aspectos Generales.....	104
5.2	Caudales.....	107
5.3	Calidad del Agua Superficial.....	125
6.	DISCUSIONES .....	156
7.	REFERENCIAS .....	158
8.	ANEXOS .....	159

## 1. RESUMEN

---

El presente Plan de Alerta Temprana (PAT) responde a los compromisos de seguimiento adquiridos con la DGA a partir del otorgamiento a los derechos de aprovechamiento de agua para el sector de Pampa Puno (Res. DGA N° 859/02), los que fueron complementados durante la tramitación ambiental del Estudio de Impacto Ambiental “Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno” aprobado mediante RCA N° 2603/2005.

El periodo de análisis en este informe abarca entre enero 2011 y diciembre 2015; y corresponde a los sectores de Pampa Puno, Pampa Yocas, Vega Sapunta y Sector Alto del Río Loa; en términos de comportamiento de Niveles, parámetros Físico Químico y Caudales según sea el caso y los monitoreos comprometidos. Cabe indicar que para el caso de los parámetros Físico Químicos la batería analítica abarca los parámetros pH, Conductividad, Al, As, Ca, Cd, Cl, CO<sub>3</sub>, Cr, Cu, Fe, HCO<sub>3</sub>, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, PO<sub>4</sub>, Pb, Si, SO<sub>4</sub>, Zn, SS, ST, STD, y Turbiedad, presentándose en anexos su gráfica y registro de datos para cada parámetro. Sin embargo, en el informe solo se analizan y describen en detalle el comportamiento solo de la Conductividad, Sulfatos y pH.

Respecto al análisis realizado para las aguas subterráneas del sector de Pampa Puno y Pampa Yocas, se estudiaron un total de 21 pozos, de los cuales en 10 de ellos, se compararon parámetros Físico Químicos. Los principales resultados indican valores estables para el análisis de niveles, observando desde junio 2013 en adelante, variaciones significativas en el nivel de las aguas debido al comienzo de las pruebas de bombeo y luego al bombeo productivo que comenzó en diciembre 2013. Para el caso de los parámetros Físico Químicos analizados (Sulfatos, pH y Conductividad), los principales resultados indican que en todos los pozos del sector Puno los contenidos de Sulfatos se presentan estables con alzas en diferentes periodos al año, retomando la estabilidad. Para el caso del pH en los últimos meses de medición, se presentan valores mínimos que muestran aguas más ácidas en los pozos PUNO-314B, PUNO-6B, PUNO-7B, PUNO-9B, y PUNO-10B. En relación al parámetro de Conductividad todos los pozos presentan conductividades promedio bajo los 500 µS/cm.

Por su parte, en las aguas del Sector Vega Sapunta se analizaron 3 pozos y 2 pozas. Los principales resultados indican que durante la etapa de bombeo productivo (iniciado en diciembre 2013), los valores de nivel tienden a disminuir entre 2014 y junio 2015. Respecto al análisis de los umbrales establecidos en compromisos, el pozo PSAP-3 durante los meses medidos en el año 2015 presenta valores por debajo del umbral establecido. Mientras que la poza SAPUNTA-2 mantiene valores por debajo del umbral permitido durante meses de los años 2012, 2013, 2014 y 2015.

Por último, para el sector Alto de Río Loa, se estudiaron un total de 17 estaciones de las cuales se analizaron parámetros Físico Químicos en 7 de ellas. Los principales resultados y conclusiones indican que luego de la bocatoma Lequena se observa una fuerte disminución de caudales, los que se explican por la extracción en dicha bocatoma, observándose con claridad en las mediciones efectuadas en las estaciones RLF (antes de bocatoma) y RL-11 (aguas abajo de bocatoma) donde los caudales tienden a recuperarse, superando el caudal promedio registrado para las estaciones de medición. En relación a los datos entre enero 2015 y diciembre 2015, destaca las mediciones de febrero de 2015 en las estaciones RL-9, RLF, RL-11 y RL-12 ya que presentan máximos anuales que se encuentran notoriamente por sobre la media.

## 2. INTRODUCCION

---

### 2.1 Objetivo Informe

En el presente informe se presentan los resultados del monitoreo efectuado en el marco del Plan de Alerta Temprana (PAT) de Pampa Puno, de acuerdo a lo solicitado en la Res DGA N° 859/2002, por medio del cual se otorgan los derechos de aprovechamiento consuntivos de ejercicio permanente, y en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 2603/2005, emitida por la Dirección Ejecutiva de la CONAMA, que califica favorablemente al Proyecto “Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno”, y lo estipulado por la Resolución N° 682 /2013 de la DGA, referida a la propuesta de umbrales en piezómetros de Vega Sapunta.

El PAT de Pampa Puno corresponde al programa de monitoreo comprometido ante la DGA, en dicho PAT se establecen 3 fases: (i) pre-bombeo, (ii) monitoreo en los años de producción, y (iii) post bombeo. **La fase de pre-bombeo posee por objetivo la caracterización de las condiciones hidrológicas de la Línea Base**, que servirán de referencia para el control de los potenciales impactos sobre el acuífero, la Vega Sapunta y el Río Loa.

Por otro lado el monitoreo en los siguientes años (años de producción, desde el inicio del bombeo), proveerá en forma continua antecedentes acerca de los cambios en las condiciones hidrológicas, y antecedentes de los cambios en áreas como la Vega Sapunta, Río Loa y el acuífero en sí, permitirá, en el largo plazo, mejorar la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero y las estimaciones de descenso y la sustentabilidad del campo de pozos.

El periodo informado en el presente documento corresponde a datos entre enero de 2011 y diciembre de 2015 para niveles, caudales, y parámetros físico químico. Cabe considerar que se cuenta con un periodo de Pre-Bombeo (entre 01 de enero 2011 a 30 de noviembre 2013) y un periodo de Bombeo Productivo (entre 01 de diciembre 2013 al 30 de diciembre 2015). Por otra parte, mencionar que en los meses de junio y noviembre del 2013 se realizaron diversas pruebas de terreno que requirieron el bombeo esporádico desde algunos de los pozos ya habilitados.

Para todos los efectos de este documento se considera un “Período de Pre-Bombeo Técnico” (entre el 01 de enero de 2011 al 31 de mayo de 2013) y un “Período de Bombeo Preliminar” (entre el 01 de junio de 2013 y 30 de Noviembre de 2013).

Las mediciones tanto para niveles, caudales y parámetros físico químicos presentan una frecuencia mensual. No obstante lo anterior, para el caso de niveles de agua subterránea en algunos pozos se realiza mediciones semanales durante la etapa de Bombeo.

Es importante indicar que se monitorean también la flora y vegetación a través de la generación de Cartas de Ocupación de Tierra, pero ese monitoreo no forma parte del presente informe, que está enfocado al análisis de las variables hídricas.

## **2.2 Descripción del Área de Estudio**

El sector en estudio se ubica cercano al límite regional entre las regiones de Tarapacá y Antofagasta, en la Provincia de El Loa, en la comuna de Calama. La cuenca de Pampa Puno se encuentra a 180 Km. en línea recta hacia el sudeste de la ciudad de Iquique y a 130 Km. en línea recta hacia el norte de la ciudad de Calama. El sector abarca una superficie hidrográfica total de 113,77 Km<sup>2</sup>, presenta alturas que varían entre los 4.537 m.s.n.m. en el Cerro Yocas y poco más de 4.000 m.s.n.m. en su desembocadura en la Quebrada Sapunta. La altura media de la pampa es de 4.100 m.s.n.m.

Las estaciones de monitoreo controladas en Pampa Puno, Pampa Yocas y el río Loa se presentan en la **Figura N° 2.1.**



**Figura 2- 1: Ubicación de las estaciones de monitoreo pertenecientes al PAT de Pampa Puno.**

### 2.3 Considerando de la RCA N° 2603/2005

Tal como se indicó anteriormente el presente Plan de Alerta Temprana (PAT) responde a los compromisos de seguimiento adquiridos con la DGA a partir del otorgamiento a los derechos de aprovechamiento de agua para el sector de Pampa Puno (Res. DGA N° 859/02), los que fueron complementados durante la tramitación ambiental del Estudio de Impacto Ambiental “Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno” aprobado mediante RCA N° 2603/2005.

A continuación se cita textual el considerando 8.1 de la RCA N° 2603/2005 “Monitoreo de impactos por extracción de aguas subterráneas” que hace referencia al presente Plan de Alerta Temprana:

#### *8.1. Monitoreo de impactos por extracción de aguas subterráneas.*

*El Plan de seguimiento ambiental se enmarca dentro de los compromisos adquiridos por la División Codelco Norte, a través del Plan de Alerta Temprana Pampa Puno (PAT- PP), el que persigue establecer las variables a controlar y como efectuar el seguimiento de ellas, de manera de poder controlar las medidas de corrección, a través de ajustar la explotación de las aguas subterráneas. Así el PAT - PP permitirá:*

- *Desarrollar y aplicar el modelo de simulación para la predicción oportuna de los impactos derivados de la extracción de agua subterránea en el acuífero Pampa Puno y áreas sensibles asociadas.*
- *Mejorar el conocimiento del sistema y de su respuesta frente a la explotación de agua subterránea.*
- *Predecir oportunamente los impactos, de tal modo de prevenir afecciones negativas en el sector tomando las medidas necesarias para evitar los impactos no deseados.*

*El Plan de Alerta Temprana considera:*

- *Monitorear el comportamiento del acuífero y áreas sensibles.*
- *Realizar predicción y evaluación de los impactos ambientales y conforme a ello llevar a cabo medidas de corrección.*
- *Revisar y actualizar periódicamente el PAT- PP.*

*Durante el ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en Pampa Puno, se respetarán las siguientes condiciones:*

- *No afección al río Loa*
- *No afección a vega y vertiente Sapunta*
- *Que no se afecte negativamente el acuífero*

*Con la explotación del acuífero será posible lograr un mayor conocimiento del sistema acuífero Pampa Puno, lo que permitirá corroborar y/o mejorar las predicciones del comportamiento del sistema.*

*Seguimiento Ambiental de las Aguas subterráneas*

- *Medición del acuífero en la fase de prebombeo y de operación en 17 pozos*
- *Control de niveles en forma mensual. En los tres primeros meses de producción el control se realizará semanalmente.*
- *Control de extracciones (mediante medidores instantáneos y totalizadores de flujo)*
- *Calidad química en 9 pozos*

*Seguimiento Ambiental de las Aguas superficiales:*

*En el Río Loa*

- *Caudales mediante aforos y mediciones limnimétricas mensuales en 17 puntos, durante dos años en la fase prebombeo y durante toda la fase de explotación.*

*En la Vertiente y Vega Sapunta*

- *Nivel de aguas de las dos pozas, mediante estaca*

- *Avance y/o retroceso de la vega*
- *Calidad química del agua*

## 2.4 Compromisos de Monitoreo

El PAT de Pampa Puno corresponde principalmente a los compromisos de seguimiento establecidos en el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento por parte de la DGA (Res. DGA N° 859/02). En forma posterior, dicho PAT fue incorporado y complementado en el proceso del SEIA a que fue sometido el EIA “Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno” (Res. COREMA II Región N° 2603/2005). A partir de este Informe, se incorporan los compromisos relativos a los umbrales en piezómetros de Vega Sapunta, establecidos en Resolución Exenta N° 682/2013 de la Dirección General de Aguas, adjunta en Anexos.

En el presente capítulo se muestra un resumen de los compromisos de monitoreo del PAT en su fase de pre-bombeo y los establecidos para la fase de bombeo.

En las tablas siguientes se resumen los compromisos de monitoreo adquiridos, tanto en la etapa de pre-bombeo, como en la etapa de bombeo:

- Componente monitoreada
- Estación de monitoreo con su nomenclatura actual y la señalada en el compromiso (RCA y PAT de DGA)
- Objetivo del monitoreo
- Los parámetros medidos
- Frecuencia de monitoreo comprometida y la frecuencia efectuada
- Procedimiento de medición comprometido y el actualmente utilizado
- Organismo competente receptor de informe
- Resolución o documento indicando compromiso

Los compromisos de seguimiento en la fase de pre-bombeo han sido agrupados por sectores. En la **Tabla N° 1.1**, se presentan los componentes de monitoreo asociados a las aguas subterráneas del sector de Pampa Puno (incluye Pampa Yocas), mientras que en la **Tabla N° 1.2** se resumen los compromisos de seguimiento del río Loa y de la Vega Sapunta. Respecto de estos compromisos señalados en las tablas, cabe señalar lo siguiente:

### ***Niveles de aguas Subterráneas***

- La medición continua de niveles deberá estar operativa al inicio del bombeo.
- Los pozos **PUNO-3, YOC-3, YOC-8 y YOC-9** que se encontraban tapados (colapsados por derrumbe), han sido reemplazados y construidos nuevamente durante la campaña de perforación de 2010, con los nombres de **PUNO-3EA, YOCA-03, YOCA-08 y YOCA-09**. Cabe señalar que las características físico-química y de niveles de éstos pozos son informados desde julio 2003.
- El pozo SAP-1 que estaba comprometido para construirse entre el pozo **PUNO-8B** y Quebrada Sapunta, también fue realizado con el nombre de **PUNO-13**
- Los piezómetros ubicados en Vega Sapunta fueron construidos en el año 2010 con los nombres **PSAP-1, PSAP-2 y PSAP-3**.

### **Caudales río Loa**

- La estación 14 correspondiente al sector de Taira, se eliminó por no obtenerse permiso para entrar al sector.

### **Calidad río Loa**

- En el numeral 7.13 de la RCA del proyecto, se señala que “El monitoreo con registros continuos se realizará para niveles de pozos y caudales del río, mientras que para la calidad de agua, manteniendo la batería analítica actual y su seguimiento histórico, se mantendrá una frecuencia mensual”. De lo anterior, se desprende que el seguimiento de la calidad de las aguas del río formaría parte de los compromisos de monitoreo asociados al proyecto.

### **Avance y Retroceso Vega Sapunta**

- Dicha medición se realiza a través de las Cartas de Ocupación de Tierra (COT), complementada mediante monitoreo de primavera a través de imágenes satelitales (ambos monitoreos comprometidos en RCA N° 2603), los cuales permiten un análisis biogeográfico de mayor efectividad, sin embargo, tal como se mencionó anteriormente, dichos resultados no se incluyen en el presente documento ya que éstos son entregados en informes independientes.
- Por otro lado, en Resolución N° 682/2013, de la Dirección General de Aguas, se aprueba umbrales de los 3 piezómetros ubicados en la Vega Sapunta, estableciéndose como valor de afectación un descenso de 25 cm medidos desde la cota de profundidad promedio en metros registrada en cada uno de los referidos piezómetros<sup>1</sup>.

En la **Tabla N° 1.3** se presentan los compromisos de monitoreo del PAT Pampa Puno en la fase de Bombeo Productivo para los sectores río Loa y Vega Sapunta (RCA 2603/2005).

- un seguimiento ambiental de las aguas subterráneas en el acuífero en 17 pozos, los mismos que en la fase de pre-bombeo.
- y los mismos compromisos para las estaciones en el Río Loa y en Vegas Sapunta

---

<sup>1</sup> Cota de profundidad promedio en metros registrada en cada uno de los tres piezómetros, a saber, 1.81 metros para el piezómetro PSAP-1, 2.09 metros para el piezómetro PSAP-2 y 2.38 metros para el piezómetro PSAP-3.

**Tabla 2- 1 Compromisos de monitoreo PAT Pampa Puno en fase Pre-bombeo del acuífero de Pampa Puno.**

COMPONENTE	Nomenclatura en Compromiso	Nomenclatura Actual	Objetivo monitoreo	Parámetro	Límites Permitidos o Comprometidos	Frecuencia Monitoreo comprometida	Frecuencia Monitoreo efectuada	Método de Medición Comprometido	Método de Medición Actual	Organismo Competente Receptor de Informe	Resolución o Documento indicando compromiso
Niveles Aguas subterráneas	PUNO 1E	idem	Línea Base del comportamiento de los niveles del acuífero de Pampa Puno	Nivel	-	Mensual (de acuerdo a DGA) / continuo (de acuerdo a RCA)	Mensual desde 2011	Pozómetro con precisión de 1 cm / Sensores medición continua	Pozómetro con precisión de 1 mm. NCh N°411	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	PAT asociado a constitución de derechos (Res. DGA N° 859) / RCA de EIA "Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno" (Res. Exenta N°2603/2005)
	PUNO 2B	idem									
	PUNO 2E	idem									
	PUNO 3E	PUNO-3EA									
	PUNO 4B	idem									
	PUNO 4E	idem									
	PUNO 5E	idem									
	PUNO 6B	idem									
	PUNO 7B	idem									
	PUNO 8B	idem									
	PUNO 9B	idem									
	PUNO 10B	idem									
	PUNO 10E	idem									
	PUNO 11B	idem									
	PUNO 11E	idem									
	PUNO 314B	idem									
	YOC 8	YOCA 08	Línea Base del comportamiento de los niveles del acuífero de Pampa Puno	Nivel	-	Registro continuo	Mensual	Mensual	Pozómetro con precisión de 1 mm	SEA II REGIÓN.	RCA de EIA "Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno" (Res. Exenta N°2603/2005)
	YOC 9	YOCA 09									
	YOC 10	YOCA 10	Línea Base del comportamiento de los niveles del acuífero de Pampa Puno	Nivel	-	Registro continuo	Mensual	Mensual	-	SEA II REGIÓN.	RCA de EIA "Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno" (Res. Exenta N°2603/2005)
	PIB 1	idem									
	YOC 3	YOCA 03	Línea Base del comportamiento de los niveles del acuífero en sector ubicado entre PUNO-8B y Qda. Sapunta	Nivel	-	Registro continuo	Mensual	Mensual	-	SEA II REGIÓN.	RCA de EIA "Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno" (Res. Exenta N°2603/2005)
	SAP 1: pozo de observación en ubicado entre pozo PUNO-8B y Qda. Sapunta	PUNO-13									
	P1, P2 y P3: 3 piezómetros en sector vega Sapunta	PSAP-1, PSAP-2, PSAP-3	Línea base del comprtamiento del acuífero en sector vega Sapunta	Nivel	-	Registro continuo			-		
Calidad Aguas Subterráneas	PUNO 2B	idem	LB calidad físico química de aguas subterráneas	Ca, HCO3, Si, TDS, Mg, CO3, F, Fe, Na, K, Cl, SO3, NO3, B, alcalinidad, dureza, Índice de Langelier, T°, pH, CE	-	Mensual	Mensual desde 2011	NCh N°411	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1998.	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	PAT / RCA
	PUNO 4B	idem									
	PUNO 6B	idem									
	PUNO 7B	idem									
	PUNO 8B	idem									
	PUNO 9B	idem									
	PUNO 10B	idem									
	PUNO 11B	idem									
	PUNO 314B	idem	LB calidad físico química de aguas subterráneas	Ca, HCO3, Si, TDS, Mg, CO3, F, Fe, Na, K, Cl, SO3, NO3, B, alcalinidad, dureza, Índice de Langelier, T°, pH, CE		Mensual	Mensual	NCh N°411	-	SEA II REGIÓN.	RCA
	PIB 1	idem									

**Tabla 2- 2 Compromisos de monitoreo PAT Pampa Puno en fase Pre-bombeo, sector río Loa y vega Sapunta.**

COMPONENTE	Nomenclatura en Compromiso	Nomenclatura Actual	Objetivo monitoreo	Parámetro	Límites Permitidos o Comprometidos	Frecuencia Monitoreo comprometida	Frecuencia Monitoreo efectuada	Método de Medición Comprometido	Método de Medición Actual	Organismo Competente Receptor de Informe	Resolución o Documento indicando compromiso
<b>Caudales Río Loa</b>	1	RL-1	LB del comportamiento del caudal estacional y anual del río Loa en su cauce superior	Caudales	Umbrales de afección establecidos en la estación DGA Antes Represa Lequena según lo indicado en la RCA N° 2603/2005	Mensual	Mensual	Aforos y mediciones limnimétricas. NCh N°411	Aforos	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	<b>PAT / RCA</b>
	2	RL-2									
	3	RLA									
	4	RL-4									
	5	RLB									
	6	RL-6									
	7	RLE									
	8	RL-8									
	9	RL-9									
	10	RLF									
	11	RL-11									
	12	RL-12									
	13	RL-13									
	14	-									
	15	RLG									
	16	RLC									
	17	RLD									
	Loa PP1 (inmediatamente aguas arriba de confluencia con Qda Sapunta)	-	LB caudales medios naturales en Loa	Caudales	-	Registro continuo	Continuo	Estaciones fluviométricas de aforo continuo	Construidas	SEA II REGIÓN. - ENTREGADAS A DGA .	<b>RCA</b>
	Loa PP2 (inmediatamente aguas abajo de confluencia con Qda Sapunta)	-									
<b>Calidad Río Loa</b>	3	RLA	LB calidad en Loa	HIGEO3 + aceites y grasas, col. fecales, detergentes, DBO5, DQO, HTC, S		Mensual	Mensual	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1998.	Aforos en secciones	SEA II REGIÓN.	<b>RCA</b>
	5	RLB									
	16	RLC									
	17	RLD									
	7	RLE									
	10	RLF									
<b>Nivel de agua en pozas de vega Sapunta</b>	SAPUNTA-1 SAPUNTA-2	ídem	LB comportamiento estacional y anual de niveles de agua en pozas de V. Sapunta	Nivel	-	Estacional	Mensual	Estaca graduada	Estaca graduada	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	<b>PAT / RCA</b>
	SAPUNTA-1 SAPUNTA-2	ídem	LB calidad físico química de aguas de las pozas V. Sapunta	HIGEO3	-	Estacional	Mensual	NCh 411/3	NCh 411/3	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	<b>PAT / RCA</b>
<b>Meteorología</b>	Estación meteorológica en campo de pozos	Estación meteorológica PAMPA PUNO	Seguimiento variables meteorológicas de la cuenca	Evaporación, velocidad y dirección del viento, T°, precipitación, humedad relativa, radiación solar, presión, punto de rocío y velocidad de ráfaga		-	Mediciones continuas con frecuencia horaria	-	Estación meteorológica HOBO Weather Station	SEA II REGIÓN.	<b>RCA</b>

**Tabla 2- 3 Compromisos de monitoreo PAT Pampa Puno en fase Bombeo Sector río Loa y Vega Sapunta.**

COMPONENTE	Nomenclatura en Compromiso	Nomenclatura Actual	Objetivo monitoreo	Parámetro	Límites Permitidos o Comprometidos	Frecuencia Monitoreo comprometida	Frecuencia Monitoreo efectuada	Método de Medición Comprometido	Método de Medición Actual	Organismo Competente Receptor de Informe	Resolución o Documento indicando compromiso
<b>Caudales Río Loa</b>	1	RL-1	LB del comportamiento del caudal estacional y anual del río Loa en su cauce superior	Caudales	Umbrales de afección establecidos en la estación DGA Antes Represa Lequena.	Mensual	Mensual	Aforos y mediciones limnimétricas	Aforos	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	<b>PAT / RCA</b>
	2	RL-2									
	3	RLA									
	4	RL-4									
	5	RLB									
	6	RL-6									
	7	RLE									
	8	RL-8									
	9	RL-9									
	10	RLF									
	11	RL-11									
	12	RL-12									
	13	RL-13									
	14	-									
	15	RLG									
	16	RLC									
	17	RLD									
	<b>Loa PP1</b> (inmediatamente aguas arriba de confluencia con Qda Sapunta)	-	LB caudales medios naturales en Loa	Caudales	-	Registro continuo	Estaciones construidas	Estaciones Fluviométricas de aforo continuo	construidas y entregadas a DGA	SEA II REGIÓN	<b>RCA</b>
	<b>Loa PP2</b> (inmediatamente aguas abajo de confluencia con Qda Sapunta)	-									
<b>Calidad Río Loa</b>	3	RLA	LB calidad en Loa	HIGEO3 + aceites y grasas, col. fecales, detergentes, DBO5, DQO, HTC, S		Mensual	Mensual	-	Aforos en secciones	SEA II REGIÓN	<b>RCA</b>
	5	RLB									
	16	RLC									
	17	RLD									
	7	RLE									
	10	RLF									
	15	RLG									
<b>Nivel de agua en pozas de vega Sapunta</b>	SAPUNTA-1 SAPUNTA-2	ídem	LB comportamiento estacional y anual de niveles de agua en pozas de V. Sapunta	Nivel	-	Estacional	Mensual	Estaca graduada	Estaca graduada	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	<b>PAT / RCA</b>

COMPONENTE	Nomenclatura en Compromiso	Nomenclatura Actual	Objetivo monitoreo	Parámetro	Límites Permitidos o Comprometidos	Frecuencia Monitoreo comprometida	Frecuencia Monitoreo efectuada	Método de Medición Comprometido	Método de Medición Actual	Organismo Competente Receptor de Informe	Resolución o Documento indicando compromiso
<b>Calidad de Agua en pozas de V. Sapunta</b>	<b>SAPUNTA-1 SAPUNTA-2</b>	ídem	LB calidad físico química de aguas de las pozas V. Sapunta	HIGEO3	-	Estacional	Mensual	NCh 411/3	NCh 411/3	DGA Regional (con copia a Mun. de Calama)	<b>PAT / RCA</b>
<b>Meteorología</b>	Estación meteorológica en campo de pozos	Estación meteorológica PAMPA PUNO	Seguimiento variables meteorológicas de la cuenca	Evaporación, velocidad y dirección del viento, T°, precipitación, humedad relativa, radiación solar, presión, punto de rocío y velocidad de ráfaga		-	Mediciones continuas con frecuencia horaria	-	Estación meteorológica HOBO Weather Station	CONAMA II REGIÓN	<b>RCA</b>

## 2.5 Escenarios de Análisis Legales y Técnicos

Tal como se indicó en un punto anterior, es importante recalcar que la información presente en este documento, en particular aquella relacionado con niveles de agua subterránea, debe ser analizada en el contexto de los cambios debido al bombeo productivo que se inicia en el mes de Diciembre de 2013.

En este caso es importante incorporar los siguientes términos para clarificar la evolución de los pozos de bombeo y monitoreo comprometidos en el seguimiento del PAT:

- Período Informado en Documento: 01 de Enero de 2011 a 30 de diciembre de 2015
- Período Pre-Bombeo: 01 de Enero de 2011 a 30 de Noviembre de 2013
- Período de Bombeo Productivo: 01 de Diciembre de 2013 a 30 de diciembre de 2015.

Adicionalmente se deben definir términos que se asocian con los aspectos puramente técnicos y que se relacionan con el desarrollo de pruebas preliminares en los pozos (no para bombeo productivo) que sin embargo generar efectos en los pozos de observación circundantes. De esta forma, es importante diferenciar los siguientes períodos o fases:

- Período Pre-Bombeo Técnico: 01 de Enero de 2011 a 31 de Mayo de 2013
- Período de Bombeo Preliminar: 01 de Junio de 2013 a 30 de Noviembre de 2013

El Período de Pre-Bombeo Técnico permite estimar el nivel de agua subterránea en “equilibrio histórico” en los pozos con información disponible. Este nivel de agua subterránea es la base para los análisis en régimen permanente necesarios para la calibración del modelo numérico del sistema Pampa Puno – Pampa Yocas y Quebrada Sapunta.

## 2.6 Materiales y Métodos

En la **Tabla 2-3** se presenta el período estadístico analizado en términos de niveles y características físico química de las aguas monitoreadas en los pozos comprometidos. La frecuencia de medición, tanto para los niveles como para la calidad Físico-Química, es mensual. Sin embargo, para el caso de niveles durante los tres primeros meses de producción, la autoridad exige un monitoreo semanal.

Las características físico-químicas de las aguas subterráneas de los acuíferos Pampa Puno y Pampa Yocas son monitoreadas mensualmente, en términos de los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Al, As, Ca, Cd, Cl, CO<sub>3</sub>, Cr, Cu, Fe, HCO<sub>3</sub>, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, PO<sub>4</sub>, Pb, Si, SO<sub>4</sub>, Zn, SS, ST, STD, y Turbiedad. Cabe señalar que todos los metales corresponden a la fracción total.

En el Anexo L se adjunta la acreditación del Laboratorio de Ensayo según NCh-ISO 17025. OF2005, en la cual se indica el método utilizado para cada uno de los parámetros medidos; y se adjuntan además las certificaciones ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001:2007.

En el Anexo M se adjuntan las carátulas de los procedimientos de monitoreo firmadas por los responsables entre noviembre 2014 y agosto 2015.

### 3. ACUÍFEROS PAMPA PUNO Y YOCAS

---

#### 3.1 Aspectos Generales

A continuación se presenta el seguimiento de los niveles y la calidad de las aguas del acuífero que se desarrolla en la cuenca de Pampa Puno y Pampa Yocas.

Para este Informe siguen vigentes las consideraciones del estudio hidrogeológico<sup>2</sup> que permitió:

- Levantar mejores antecedentes de dicho sector.
- Reemplazar los pozos tapados YOC-03, YOC-08, YOC09; por los pozos YOCA-03, YOCA-08 y YOCA-09 respectivamente.

En la **Tabla 3-1** se presenta el período estadístico analizado en términos de niveles y características físico química de las aguas monitoreadas en los pozos comprometidos. La frecuencia de medición, tanto para los niveles como para la calidad Físico-Química, es mensual.

En la **Figura 3-1** se muestra la ubicación de los pozos monitoreados en Pampa Puno y Pampa Yocas.

Para el análisis del comportamiento de los niveles se graficaron las mediciones existentes en el período de análisis enero 2011 a diciembre 2015. En el **ANEXO A** se presenta las habilitaciones y estratigrafía de los pozos analizados en el presente informe.

Cabe indicar que, para el periodo analizado (enero 2011 a diciembre 2015), respecto de la data físico-química, se tiene que en determinadas fechas no fue posible monitorear pozos específicos debido a las condiciones climáticas y de terreno:

- En el mes de Junio 2013, los pozos PUNO-11B, PUNO-9B, PUNO-10B, PUNO-4B, PUNO-5E, PUNO-11E, PUNO-10E, PUNO-7B, PUNO-6B, PIB-1, YOCA-10, YOCA-09, YOCA-08, YOCA -3, no fueron monitoreados ya que no se tuvo acceso al área de trabajo<sup>3</sup>.
- No se cuenta con datos de registro de las variables medidas para los meses julio de 2011, febrero de 2012 y marzo de 2013 para los pozos PIB-1, PUNO-2B, PUNO-314B, PUNO-4B, PUNO-6B, PUNO-7B, PUNO-8B, PUNO-9B-PUNO-10B y PUNO-11B.
- Los pozos que se analizan en el informe en relación a las características físico químicas de las aguas de Pampa Puno y Yocas también registran meses sin datos o información fuera de rango en fechas variables siendo el pozo con menos registros el pozo PUNO-6B con 8 meses de medición entre enero de 2011 y noviembre de 2013.

---

<sup>2</sup> "Hidrogeología y Modelo Simulación Pampa Puno". CODELCO Chile División Chuquicamata. Noviembre 2001. INGEOREC Ltda. Anexo 6.1. Informe Modelo Hidrogeológico Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Suministro Construcción y operación aducción de agua Pampa Puno.

<sup>3</sup> se adjunta en Anexos: Informe de SGEA Junio 2013, Desarrollo de monitoreo en Sector Pampa Puno y Vega Chela", que da cuenta de esta situación.

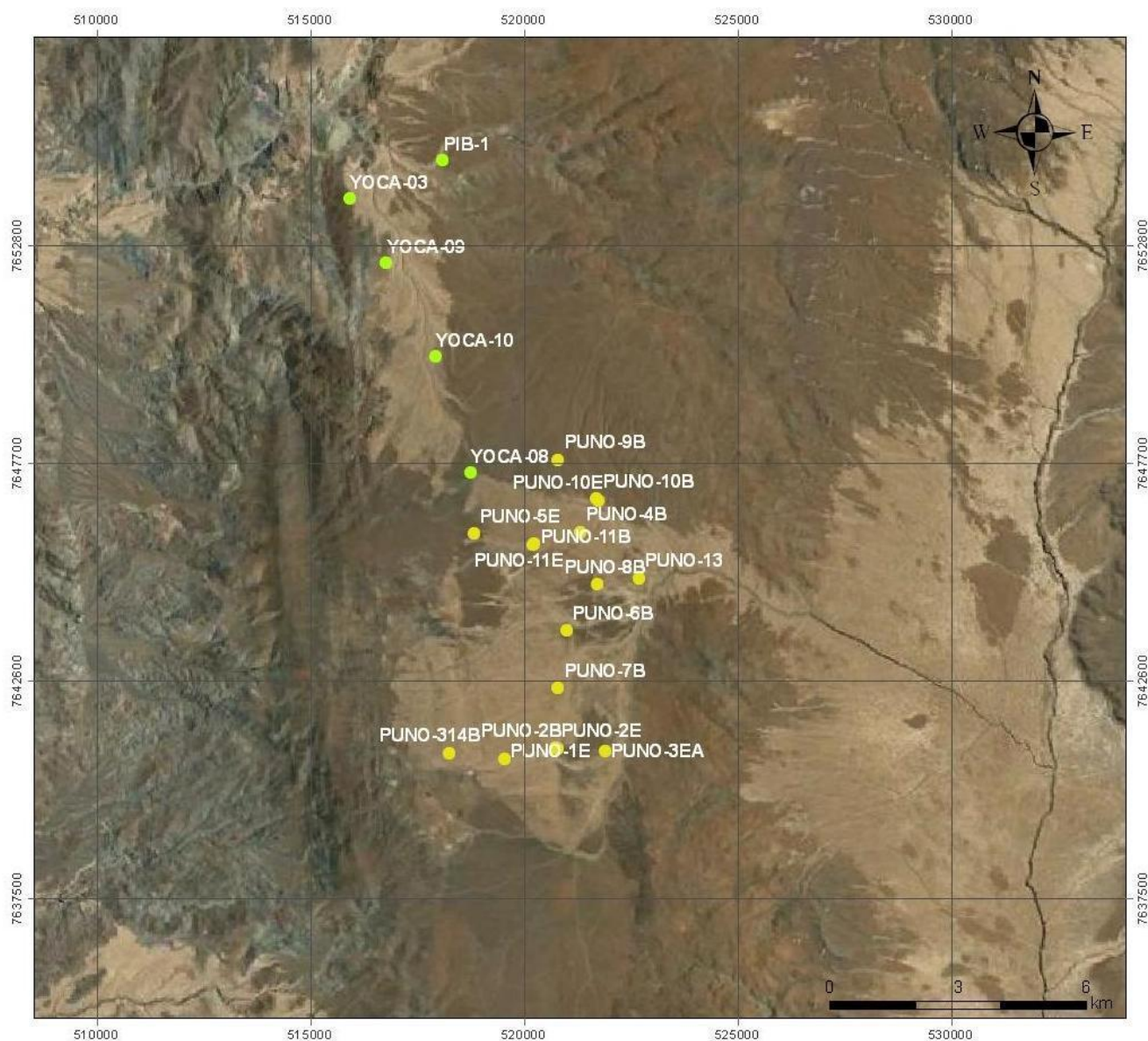
**Tabla 3- 1 Período estadístico analizado de niveles y calidad de aguas subterráneas.**

Pozo	Este (UTM)	Norte (UTM)	Cota Terreno	Tipo de Pozo	Período Estadístico de Niveles		Período Estadístico Características Físico Químicas	
PUNO-1E	519559	7640753	4.140	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
PUNO-2B	520826	7641005	4.119	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-2E	520764	7641015	4.119	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
PUNO-314B	518270	7640904	4.201	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-3EA	521914	7640960	4.090	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
PUNO-4B	521337	7646092	4.099	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-5E	518847	7646049	4.146	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
PUNO-6B	521019	7643780	4.099	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Jun-15*
PUNO-7B	520819	7642428	4.102	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-8B	521747	7644862	4.080	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-9B	520817	7647784	4.144	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-10E	521766	7646838	4.099	Observación	Ene-11	Jun-14	No Aplica	No Aplica
PUNO-10B	521724	7646868	4.103	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-11E	520228	7645786	4.122	Observación	Ene-11	Dic-13	No Aplica	No Aplica
PUNO-11B	520259	7645827	4.122	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15
PUNO-13	522726	7645000	4.060	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
YOCA-03	515942	7653916	3.986	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
YOCA-08	518771	7647479	4.137	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
YOCA-09	516800	7652402	4.046	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
YOCA-10	517962	7650223	4.090	Observación	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
PIB-1	518123	7654816	3.950	Bombeo	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-15

\*Para el Pozo Puno-6B no se cuenta con data entre julio 2011 y septiembre 2013.

**DATUM WGS84 19S**

**No Aplica, significa que no se realiza la medición de esa variable en el pozo (sin análisis físico-químico)**



	<p>MAPA UBICACIÓN ESTACIONES MONITOREO PAMPA PUNO</p> <p>GERENCIA DE RECURSOS MINEROS Y DESARROLLO DISTRITAL</p> <p>DIRECCION DE RECURSOS MINERALES</p> <p>ÁREA DE HIDROGEOLOGÍA</p>	<p><b>Leyenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Puntos amarillos: Pozos Pampa Puno</li> <li>Puntos verdes: Pozos Pampa Pitausa</li> </ul>	<p>Información Cartográfica:</p> <p>Proyección: UTM Datum: WGS84 19S Imágen: Google Earth</p> <p>Fuente de Información: CODELCO</p>
---	--	--	---

**Figura 3-1 Ubicación de los pozos monitoreados en Pampa Puno y Pampa Yocas.**

### 3.2 Niveles de Agua Subterránea

Tal como se mencionó previamente, el periodo informado para niveles en el presente documento corresponde al 01 de enero 2011 y 31 de diciembre 2015, el que se desglosa en un período de Pre-Bombeo (entre 01 de enero 2011 a 30 de noviembre 2013) y un periodo de Bombeo Productivo (entre 01 de diciembre 2013 al 31 de diciembre 2015).

Desde un punto de vista técnico, durante el período de Pre-Bombeo se realizaron pruebas en diversos pozos de bombeo por lo cual se observan efectos sobre los niveles de agua subterránea en algunos pozos de observación cercanos. Este Período de Bombeo Preliminar se extiende entre el 01 de junio de 2013 y 30 de noviembre de 2013.

La condición inicial, o de referencia, de los niveles de las aguas subterráneas se estableció en la Adenda 3 del proceso de calificación del EIA “Proyecto Suministro, Construcción y Operación Aducción de Aguas Pampa Puno”. En dicho proceso se definió el nivel de referencia para cada pozo como el promedio de los valores de la línea de base menos la desviación estándar. Cabe destacar que la evolución de los niveles de agua subterránea en las etapas posteriores a la Adenda 3, y en general hasta antes del 1 de Junio de 2013, también son parte de una condición natural sin bombeo, tal como se observará en las figuras que acompañan este documento.

Cabe señalar que de acuerdo con la RCA, los umbrales o descensos máximos permitidos en el sector de campo de pozos Pampa Puno son de 50 metros con respecto del nivel de referencia inicial del agua subterránea, en 25 años. Para el sector de Pampa Yocas el descenso máximo permitido es de 5 metros en el mismo periodo. Lo anterior quedó establecido en el proceso de evaluación del EIA “Proyecto Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno” y en la Resolución DGA N°859/2002, que otorgó los derechos de aprovechamiento de aguas.

Los resultados de los monitoreos de los niveles que se presentan a continuación comienzan en Pampa Puno, con los pozos ubicados al Sur del área de estudio, avanzando en su descripción hacia el Norte, hasta el sector de Pampa Yocas.

Se debe hacer presente que el día 20 de junio de 2013 comenzaron diversas pruebas de bombeo por 45 días iniciales informados a la Superintendencia del Medioambiente a través de documento DMH-GG-170/2013, donde se indica que la fecha del inicio de las pruebas de bombeo iniciarían el día 20 de junio de 2013 y se extenderían por 45 días. Posterior a eso, se solicitó una ampliación del periodo de pruebas por 45 días más a partir del día 12 de agosto de 2013 a través del documento DMH-GG-203/2013 a la Superintendencia del Medioambiente, departamento de fiscalización. Dichos documentos y el “Comprobante de remisión de antecedentes respecto de las condiciones, compromisos y medidas establecidas en RCA” se adjuntan en **Anexo K**.

Por lo anteriormente planteado, es relevante separar la condición de “régimen de equilibrio natural histórico” (antes de Junio de 2013) del “régimen de bombeo productivo” (desde Diciembre de 2013).

Cabe indicar que para efectos del presente análisis se utilizaron dos escalas verticales. La primera de ella para los pozos de Observación que considera una escala vertical con 20 m de diferencia entre el menor y mayor valor, con 2 m de separación. La segunda comprende a los pozos de Bombeo y consiste en una escala vertical con 100 m de diferencia entre el menor y mayor valor, con 20 m de separación.

Los gráficos presentes en este capítulo presentan una línea vertical de color verde (junio 2013) que indica el inicio del bombeo preliminar o de pruebas hidráulicas y la de color azul el inicio del bombeo productivo (diciembre 2013).

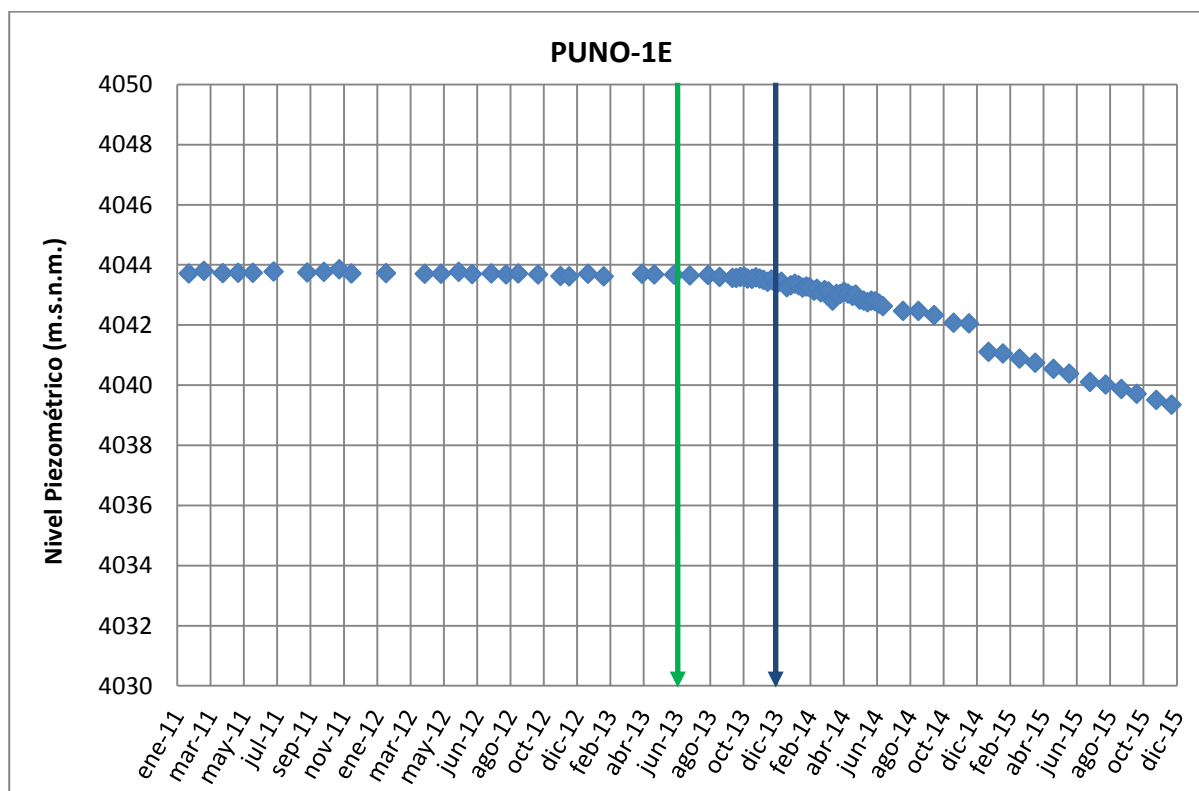
En el **ANEXO B**, se adjunta la serie estadística del período analizado tanto de niveles estáticos del acuífero Pampa Puno como de los pozos y piezómetros de Pampa Yocas.

## POZO PUNO-1E

El pozo PUNO-1E ubicado en el sector Sur del campo de pozos, posee una profundidad de 276 m y se presenta habilitado desde los 90 m hasta el fondo, en la unidad de conglomerado.

En la **Figura 3-2** se presentan los registros de niveles en el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-1E.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



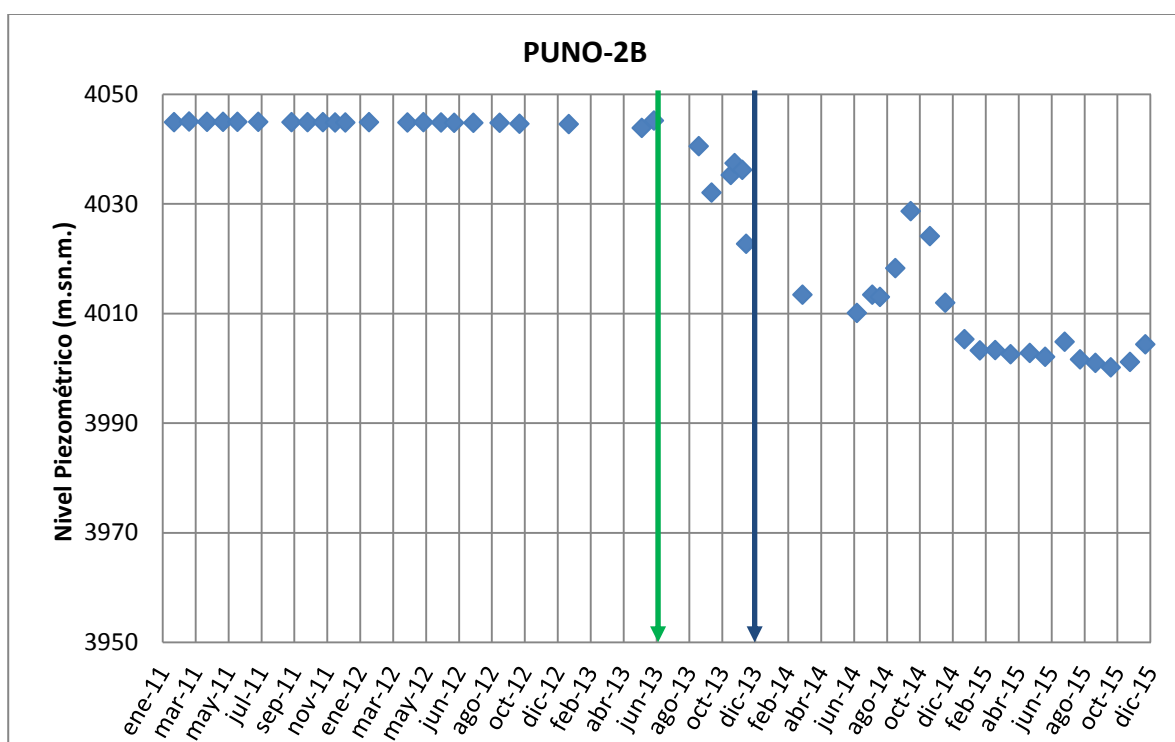
**Figura 3-2 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-1E.**

## POZO PUNO-2B

El pozo PUNO-2B ubicado en el sector SE del campo de pozos, posee una profundidad de 250 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 60 m hasta el fondo. Este es un pozo de bombeo de tal manera que la evolución de los niveles estáticos del agua subterránea da cuenta de los efectos del bombeo.

En la **Figura 3-3** se presentan los registros de niveles entre enero de 2011 y diciembre de 2015 del pozo PUNO-2B.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



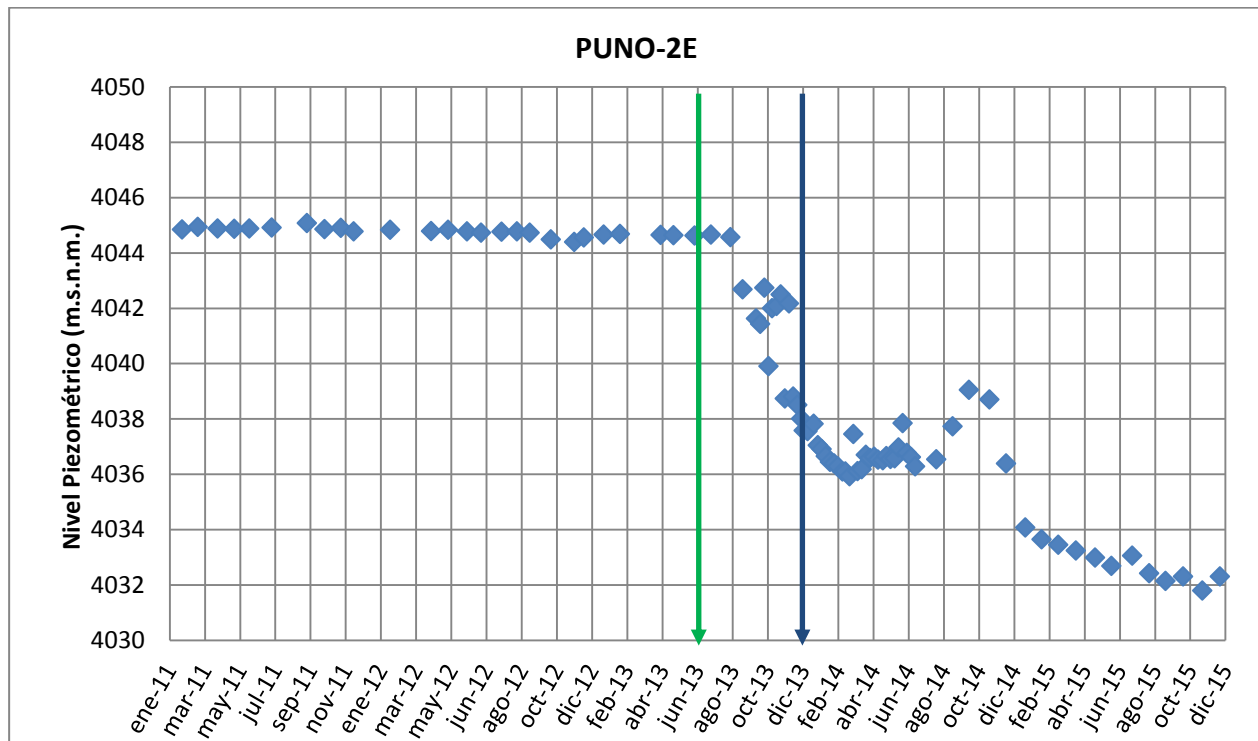
**Figura 3-3 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-2B.**

## POZO PUNO-2E

El pozo PUNO-2E ubicado en el sector SE del campo de pozos, posee una profundidad de 267,5 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 67 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-4** se presentan los registros de niveles en el periodo pre-bombeo entre enero de 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-2E.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



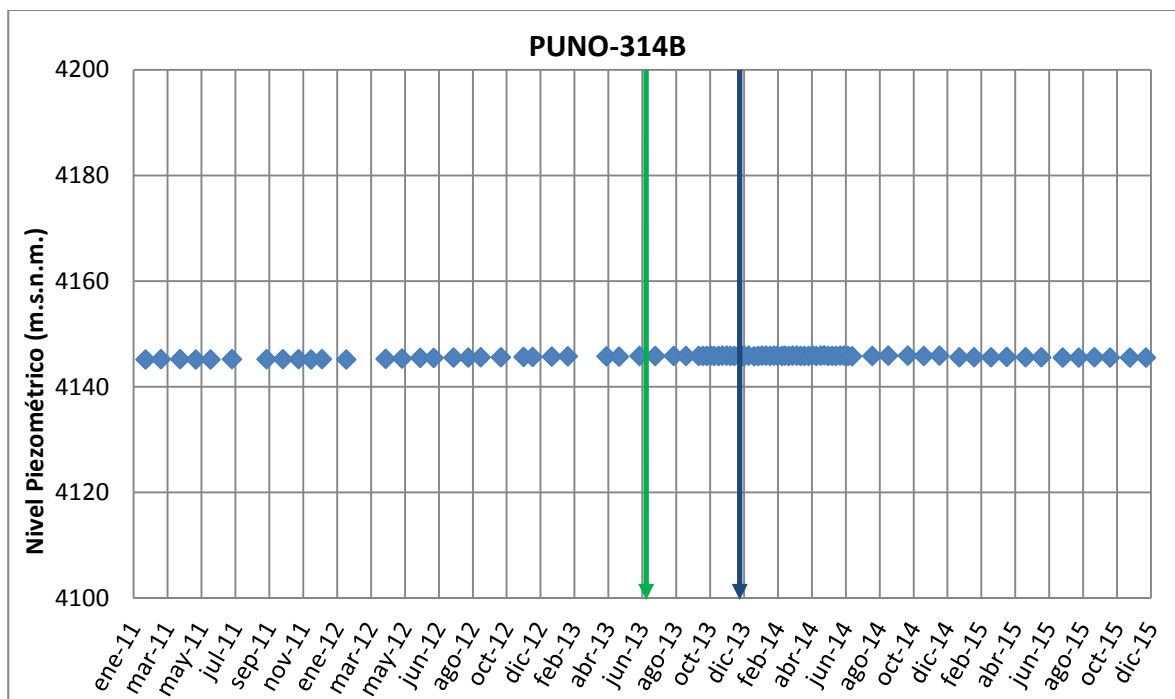
**Figura 3-4 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-2E.**

## POZO PUNO-314B

El pozo PUNO-314B ubicado en el sector SW del campo de pozos, posee una profundidad de 150 m y se presenta habilitado en las unidades correspondientes a arenisca y conglomerado, desde los 51 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-5** se presentan los registros de niveles desde enero de 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-314B. Cabe indicar que este pozo es de Bombeo sin embargo a la fecha del presente informe no se encontraba en funcionamiento.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



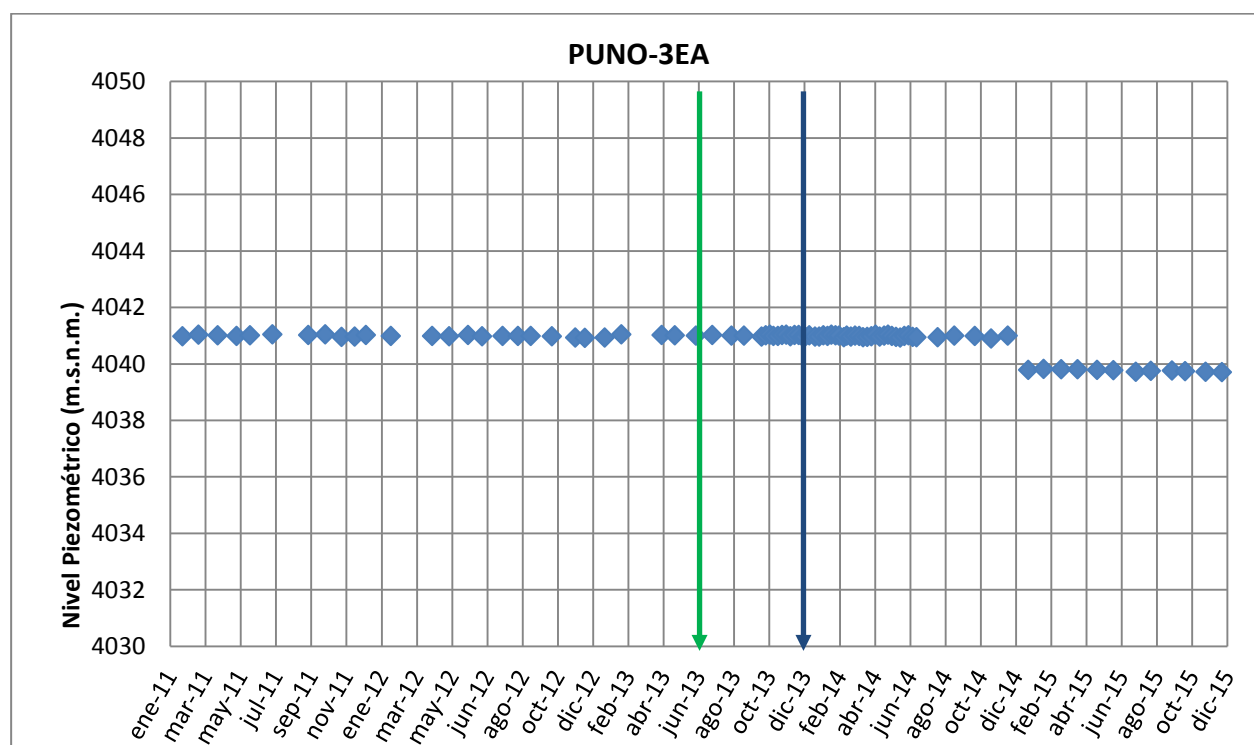
**Figura 3-5 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-314B.**

## POZO PUNO-3EA

El pozo PUNO-3EA ubicado en el sector SE del campo de pozos, posee una profundidad de 132 m y se presenta habilitado desde los 28,1 m hasta los 119,68 m, como se indica a continuación:

En la **Figura 3-6** se presentan los registros de niveles entre enero de 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-3EA.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



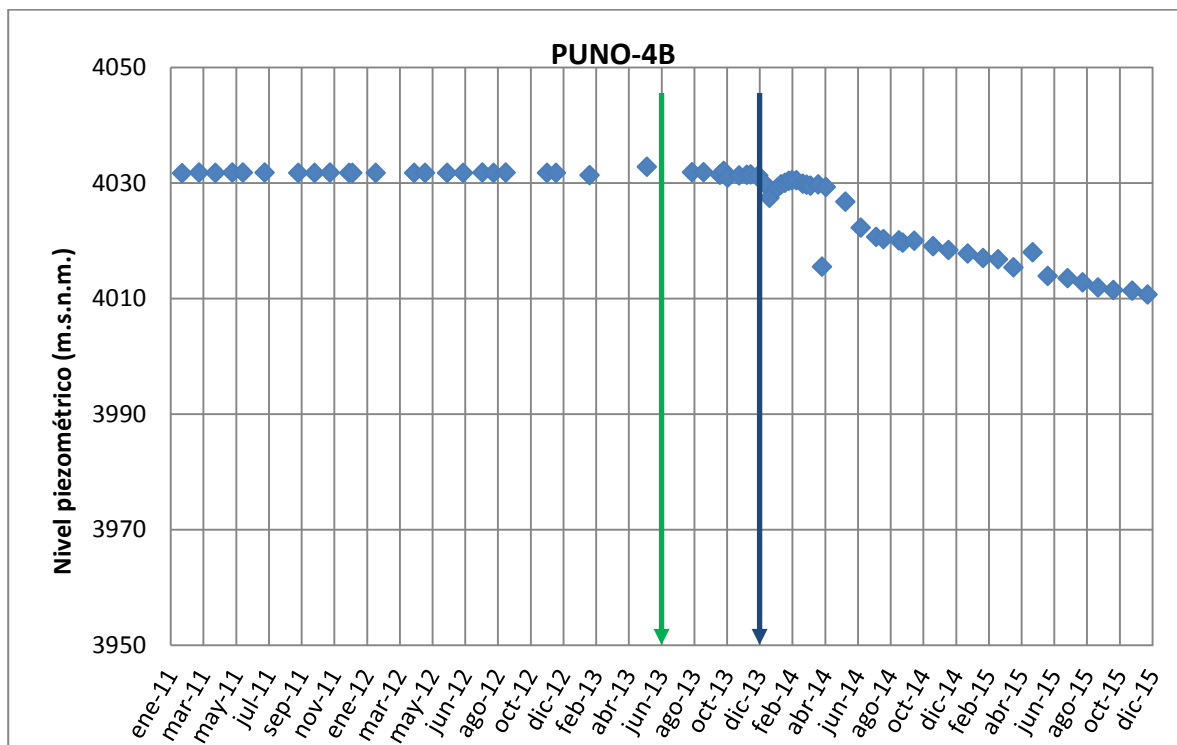
**Figura 3-6 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-3EA.**

## POZO PUNO-4B

El pozo PUNO-4B ubicado en el sector NE del campo de pozos, posee una profundidad de 186 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 70 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-7** se presentan los registros de niveles en el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-4B.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



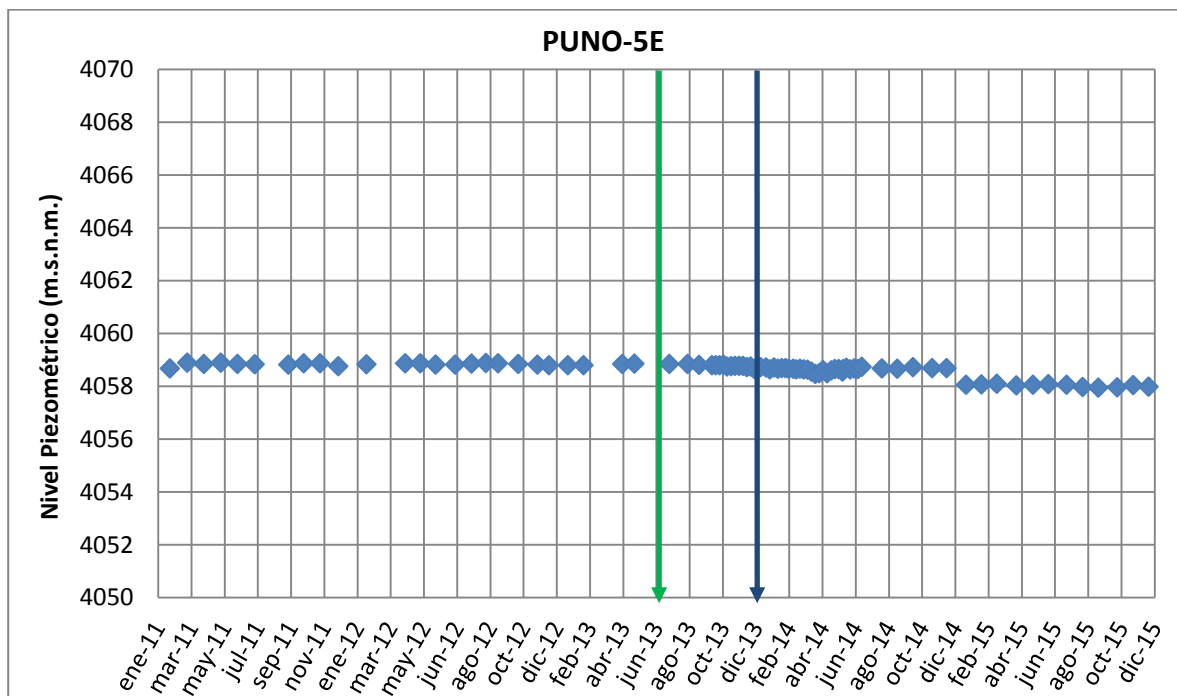
**Figura 3-7 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-4B.**

## POZO PUNO-5E

El pozo PUNO-5E ubicado en el sector NW del campo de pozos, posee una profundidad de 181 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 34 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-8** se presentan los registros de niveles durante el período de enero 2011 y diciembre de 2015 del pozo PUNO-5E.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



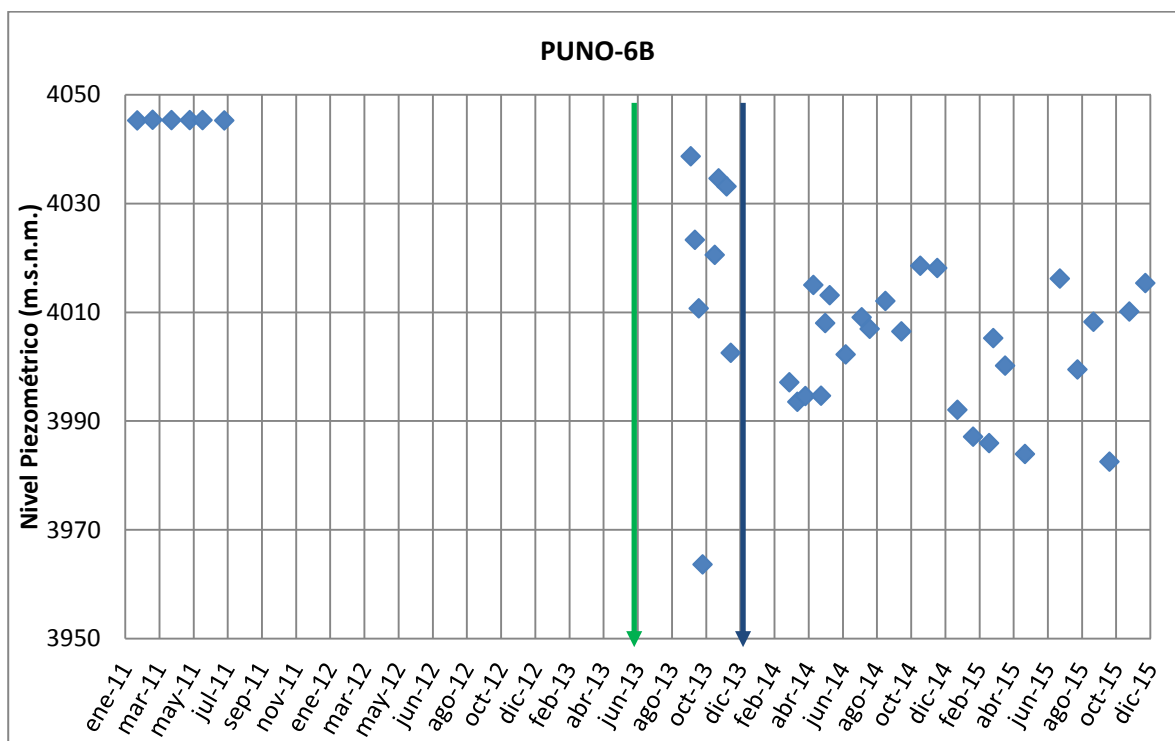
**Figura 3-8 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-5E.**

## POZO PUNO-6B

El pozo PUNO-6B ubicado en el sector central del campo de pozos, posee una profundidad de 250 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 70 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-9** se presentan los registros de niveles del pozo PUNO-6B entre enero de 2011 y mayo de 2015.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



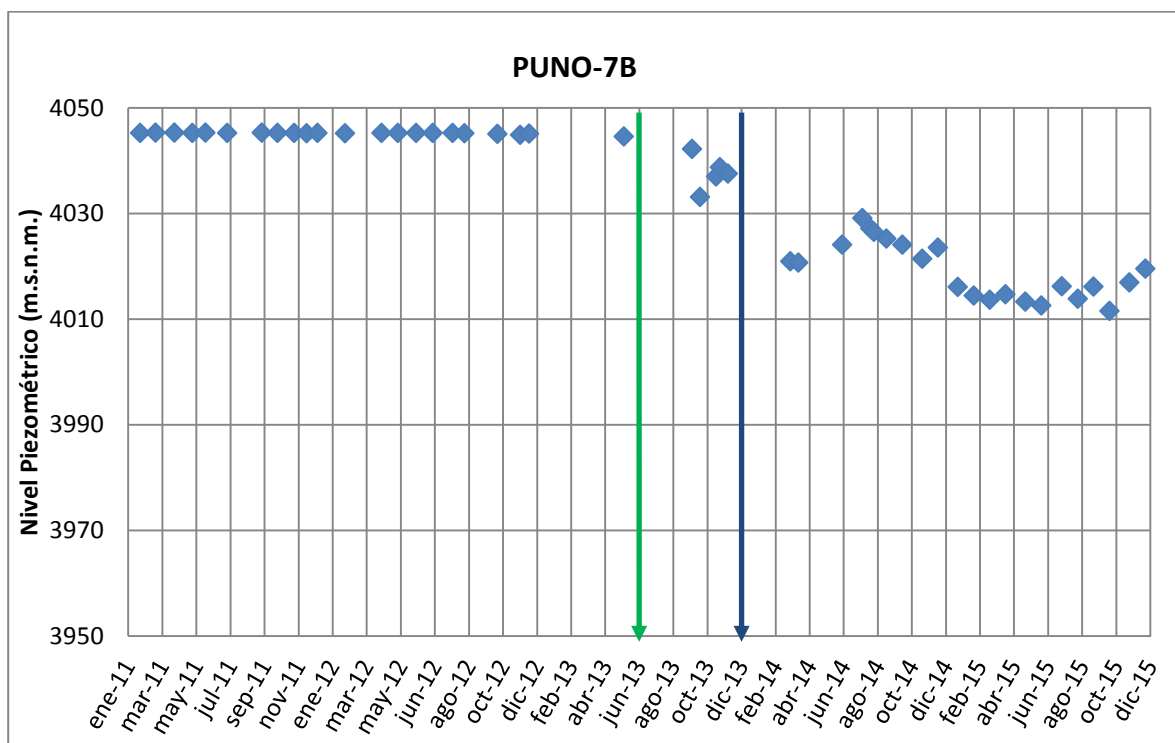
**Figura 3-9 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-6B.**

## POZO PUNO-7B

El pozo PUNO-7B ubicado en el sector central del campo de pozos, posee una profundidad de 206 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 70 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-10** se presentan los registros de niveles en el periodo desde enero de 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-7B.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



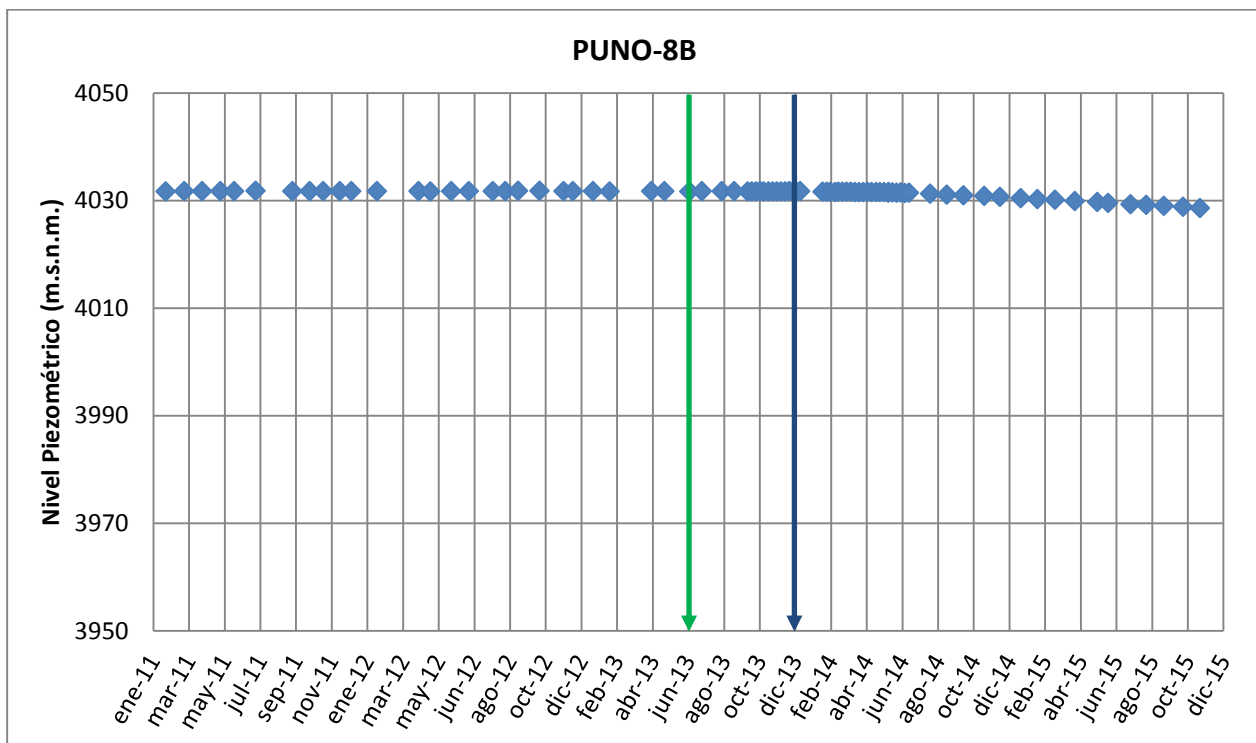
**Figura 3-10 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-7B.**

## POZO PUNO-8B

El pozo PUNO-8B ubicado en el sector NE del campo de pozos, posee una profundidad de 185 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 50 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-11** se presentan los registros de niveles en el periodo enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-8B. En todo el período de registro los niveles son muy estables.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



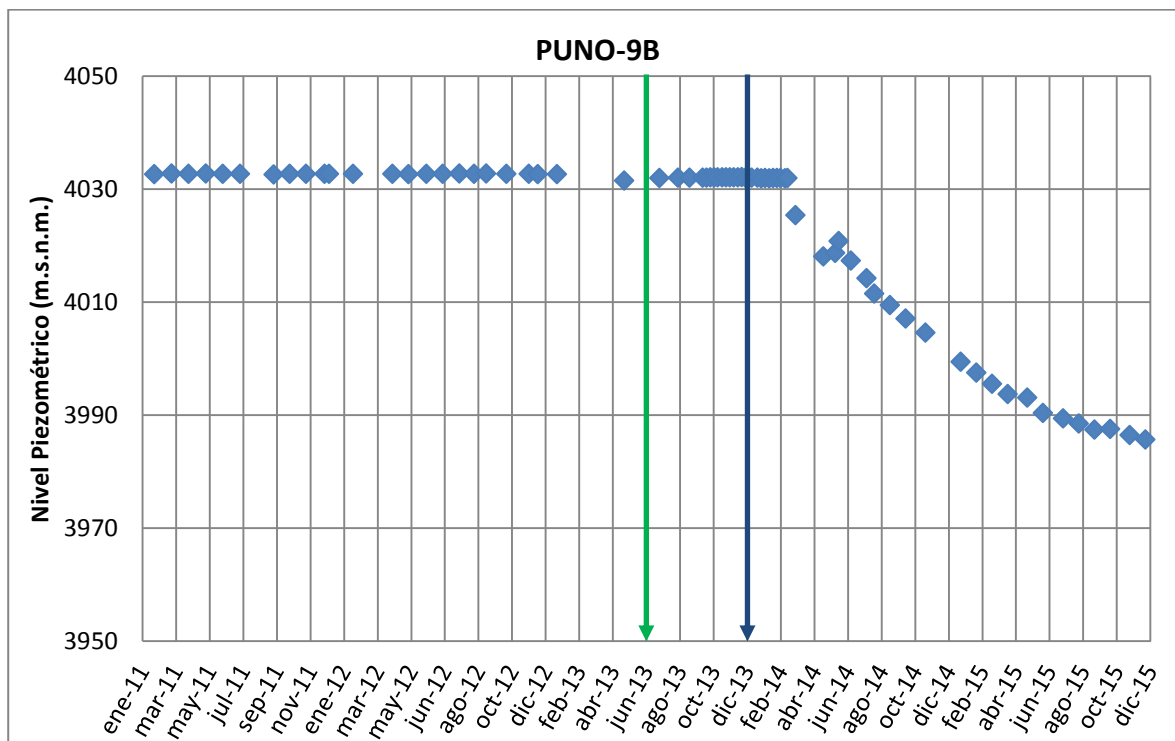
**Figura 3-11 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-8B.**

## POZO PUNO-9B

El pozo PUNO-9B ubicado en el sector NE del campo de pozos, posee una profundidad de 230 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 80 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-12** se presentan los registros de niveles correspondiente al periodo entre enero 2011 y diciembre de 2015 del pozo PUNO-9B.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



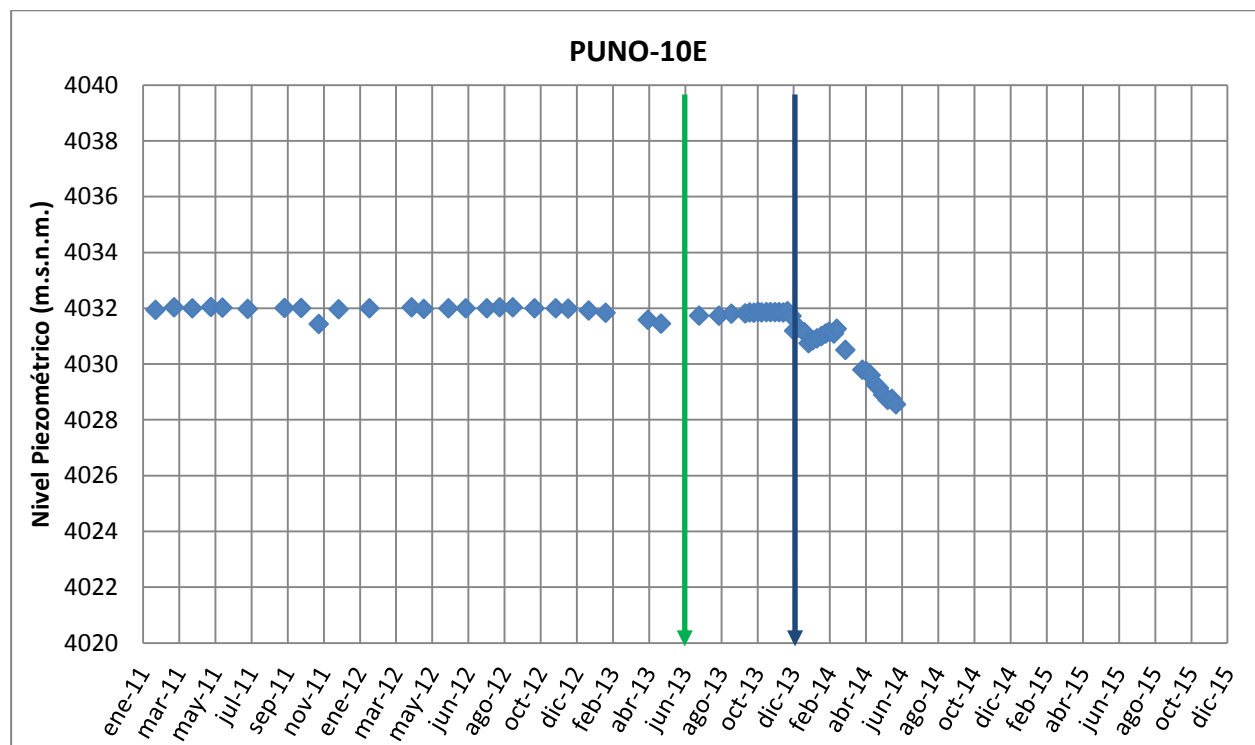
**Figura 3-12 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-9B.**

## POZO PUNO-10E

El pozo PUNO-10E ubicado en el sector NE del campo de pozos, posee una profundidad de 300 m y se presenta habilitado en las unidades correspondientes a arenisca y conglomerado, desde los 60 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-13** se presentan los registros de niveles para el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-10E.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



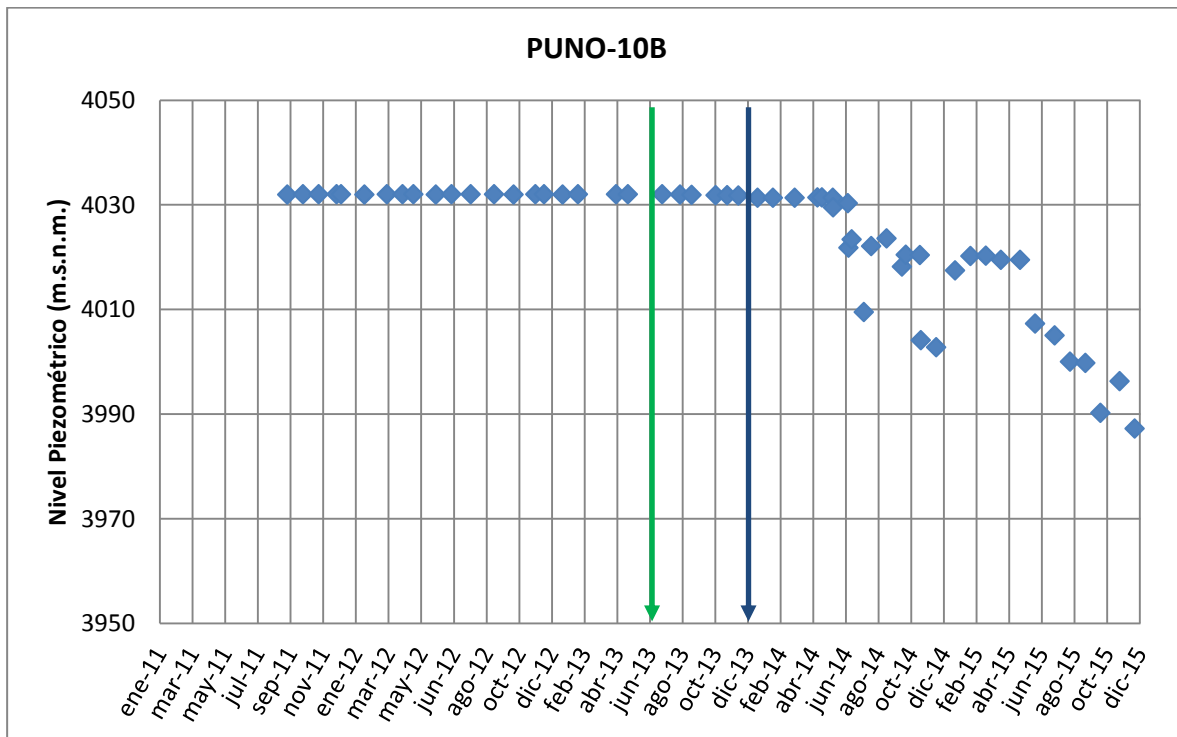
**Figura 3-13 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-10E.**

## POZO PUNO-10B

El pozo PUNO-10B ubicado en el sector Norte del campo de pozos, posee una profundidad de 223 m y se presenta habilitado en las unidades correspondientes a arenisca y conglomerado, desde los 90 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-14** se presentan los registros de niveles para el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-10B.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



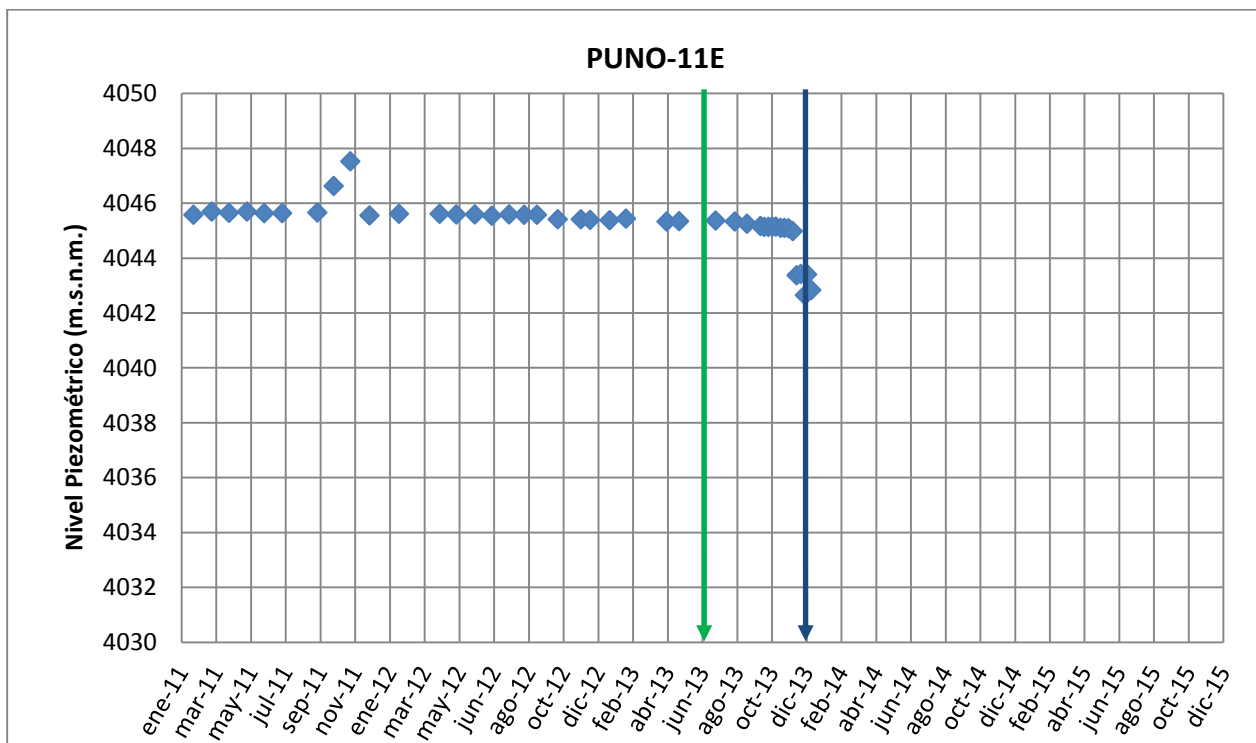
**Figura 3-14 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-10B.**

## POZO PUNO-11E

El pozo PUNO-11E ubicado en el sector Norte del campo de pozos, posee una profundidad de 300 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 60 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-15** se presentan los registros de niveles para el período de enero 2011 a diciembre de 2013 del pozo PUNO-11E.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



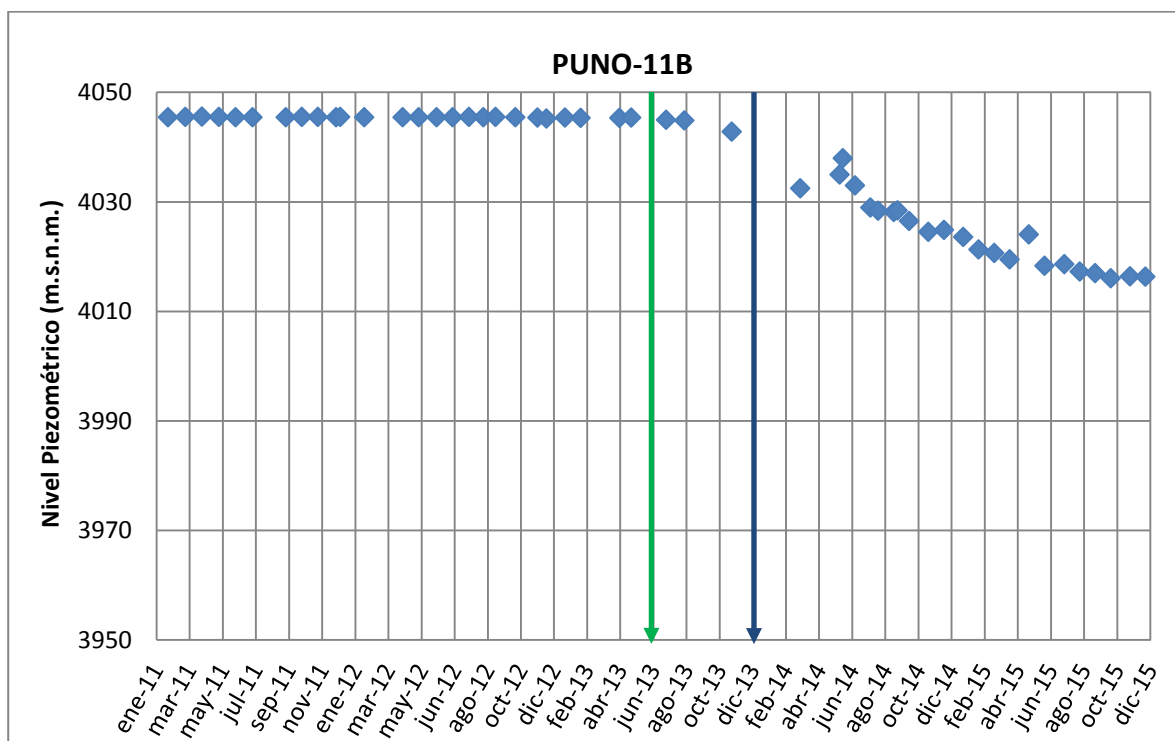
**Figura 3-15 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-11E.**

## POZO PUNO-11B

El pozo PUNO-11B ubicado en el sector Norte del campo de pozos, posee una profundidad de 220 m y se presenta habilitado en la unidad de conglomerado, desde los 80 m hasta el fondo.

En la **Figura 3-16** se presentan los registros de niveles para el período de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo PUNO-11B

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



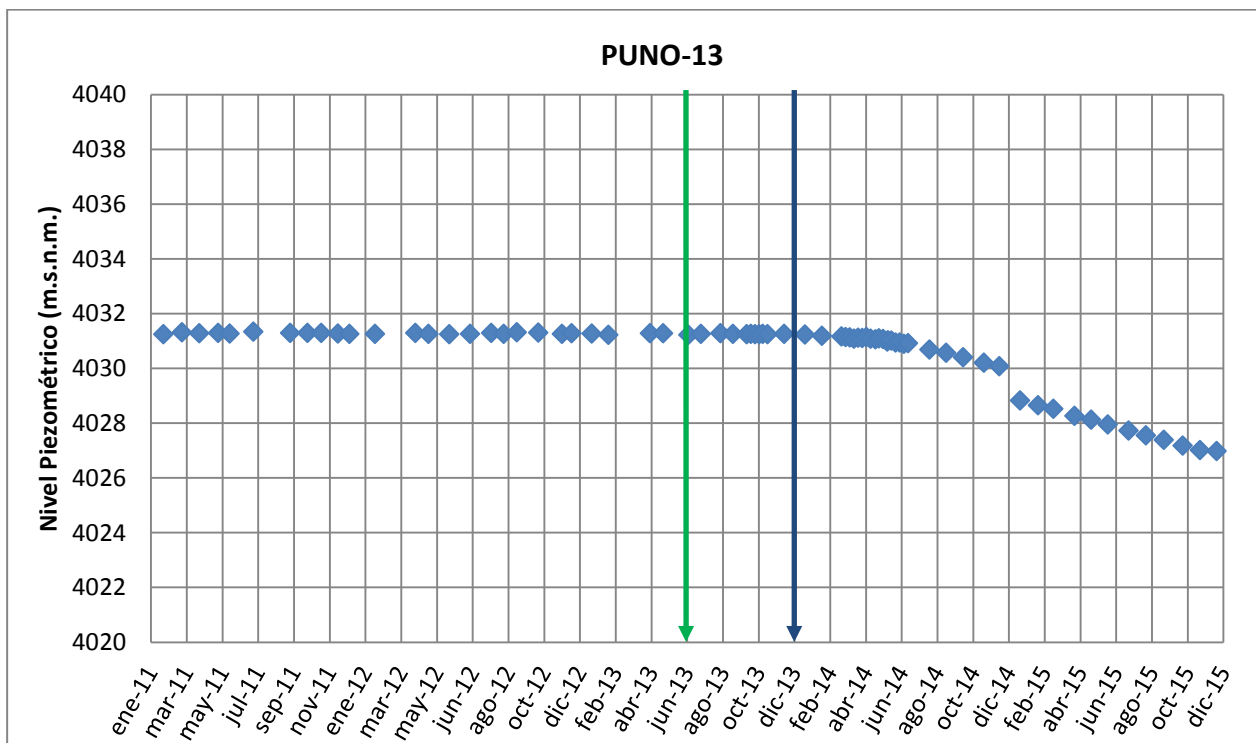
**Figura 3-16 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-11B.**

### POZO PUNO-13

El pozo PUNO-13 ubicado en el sector NE del campo de pozos, posee una profundidad de 126 m y se presenta habilitado por segmentos a partir de los 79,48 m hasta los 113,80 m.

En la **Figura 3-17** se presentan los registros de niveles en el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 del pozo PUNO-13.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



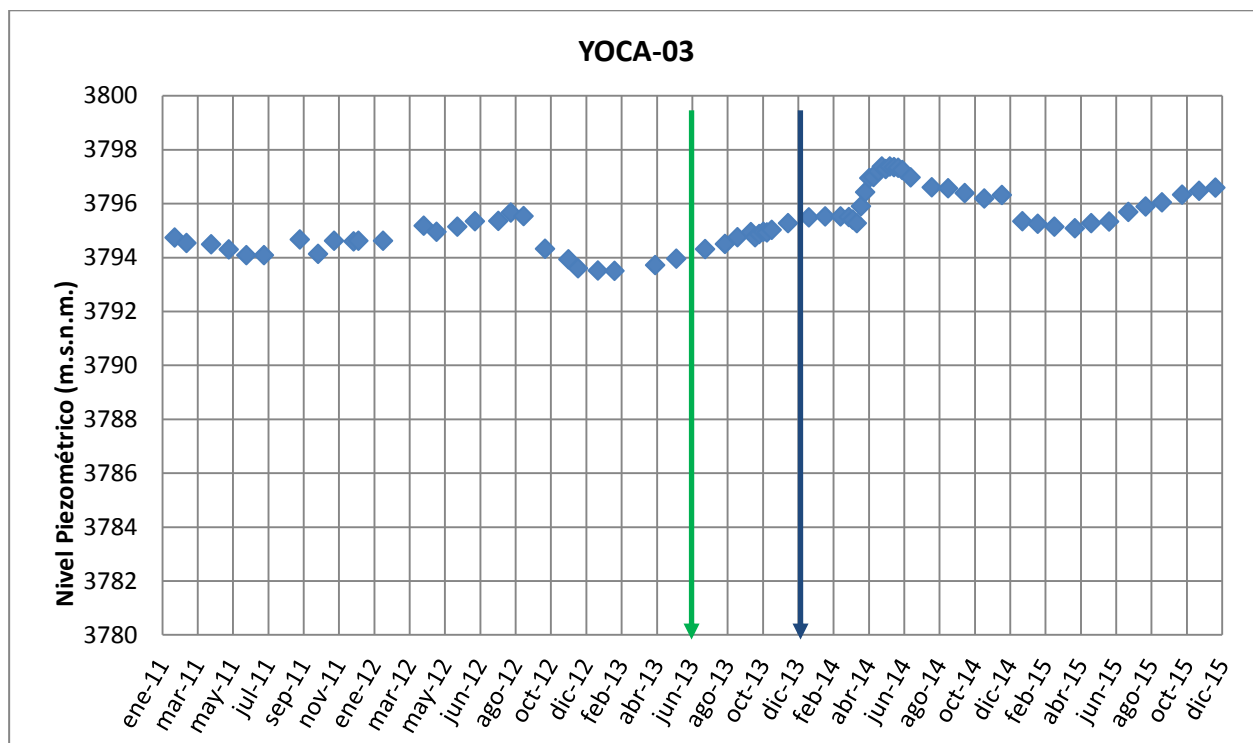
**Figura 3-17 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PUNO-13.**

### POZO YOCA-03

El pozo YOCA-03 ubicado en el sector NW del campo de pozos, en la cuenca Pampa Yocas, posee una profundidad de 250 m y se presenta habilitado por segmentos a partir de los 85,8 m hasta los 240,24 m.

En la **Figura 3-18** se presentan los registros de niveles en el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo YOCA-03.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



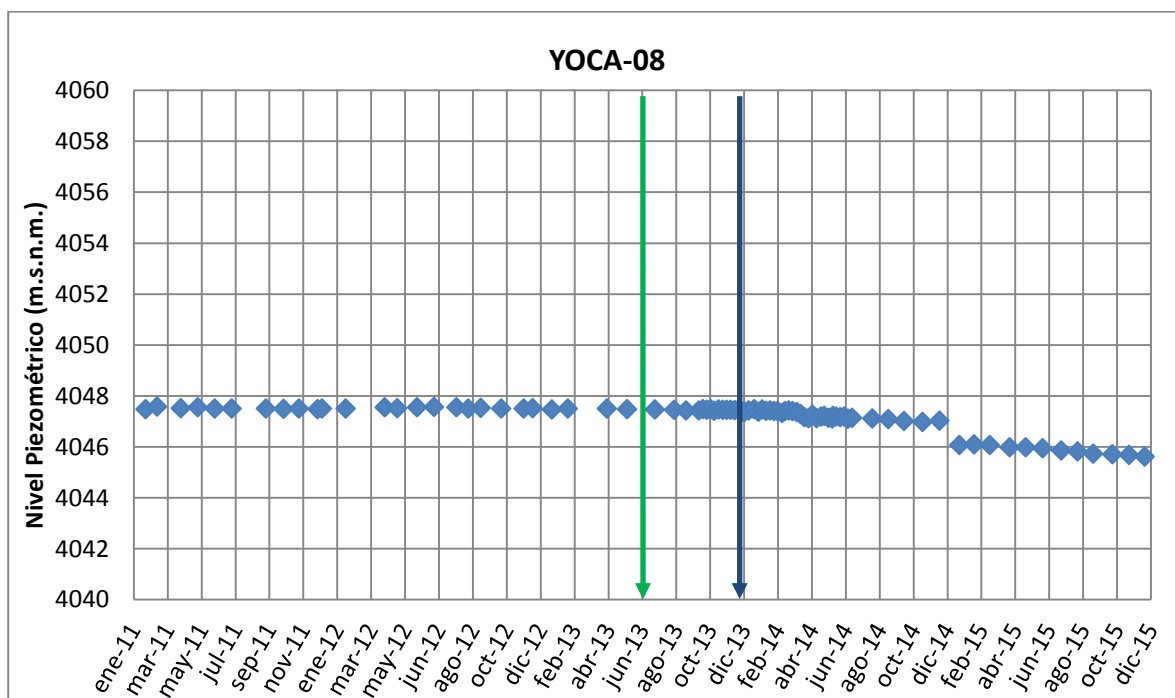
**Figura 3-18 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo YOCA-03.**

## POZO YOCA-08

El pozo YOCA-08 ubicado en el sector NW del campo de pozos, en la cuenca Pampa Yocas, posee una profundidad de 218 m y se presenta habilitado por segmentos a partir de los 11,65 m hasta los 194,69 m.

En la **Figura 3-19** se presentan los registros de niveles en el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo YOCA-08.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



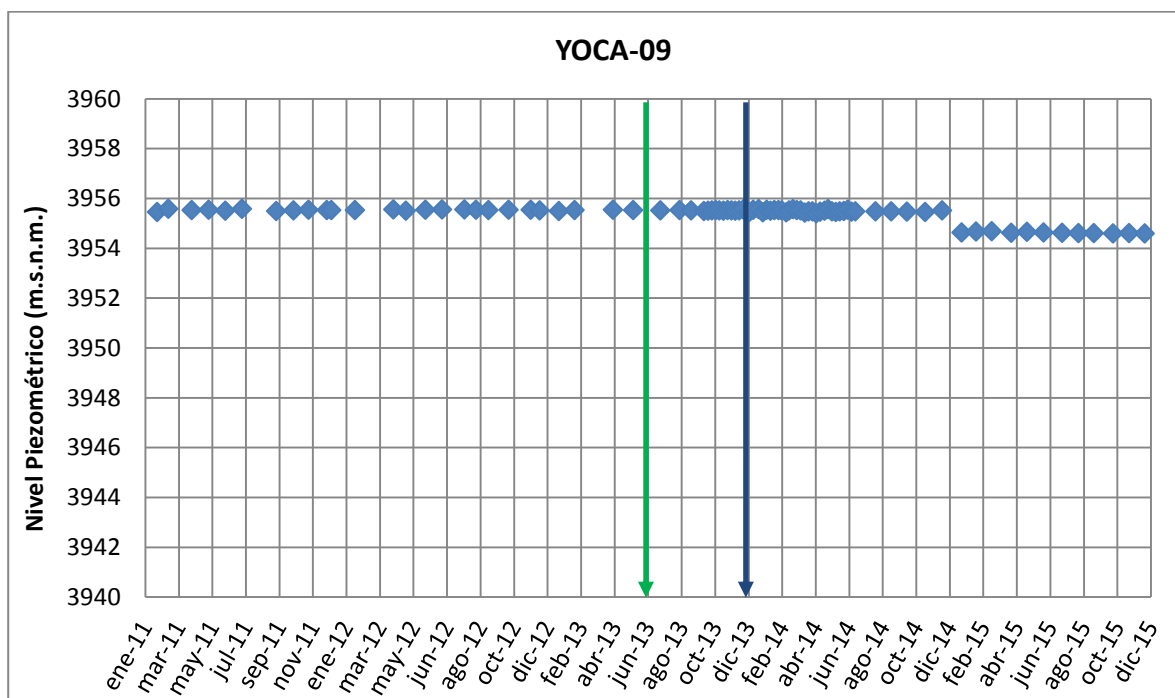
**Figura 3-19 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo YOCA-08.**

## POZO YOCA-09

El pozo YOCA-09 ubicado en el sector NW del campo de pozos, en la cuenca Pampa Yocas, posee una profundidad de 200 m y se presenta habilitado por segmentos a partir de los 68,29 m hasta los 188,41 m.

En la **Figura 3-20** se presentan los registros de niveles para el periodo enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo YOCA-09.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



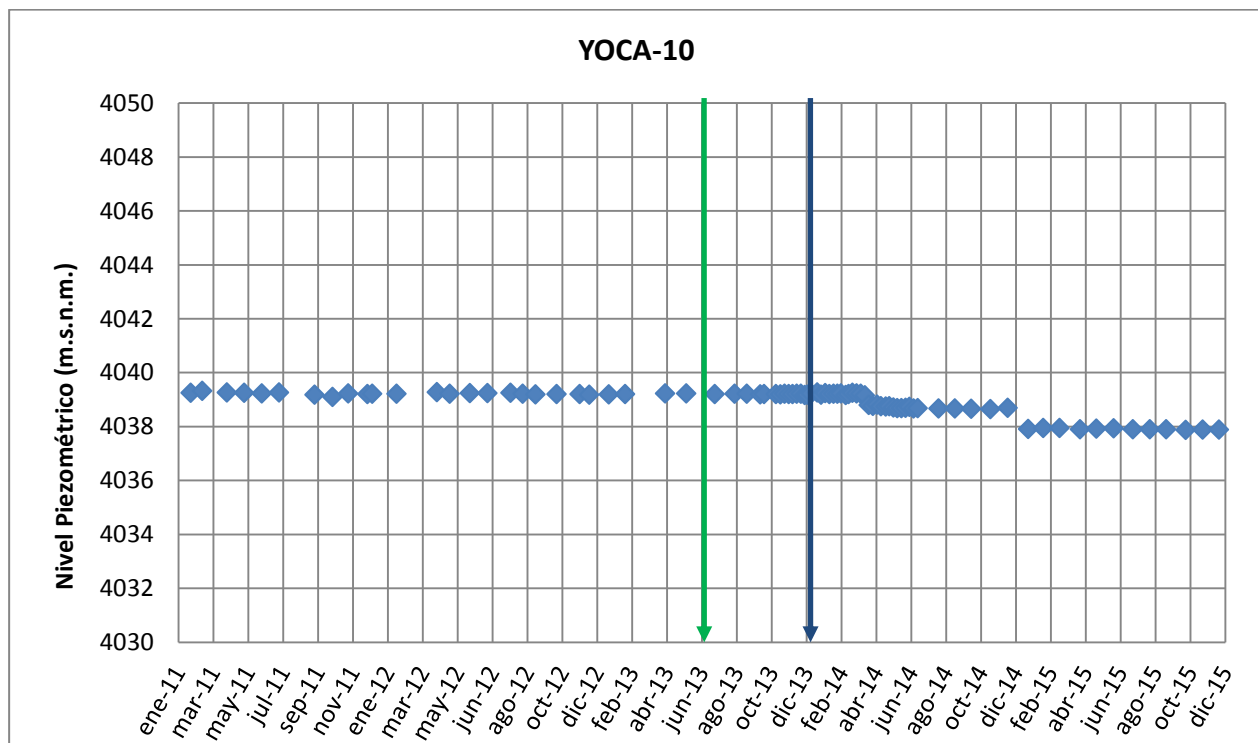
**Figura 3-20 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo YOCA-09.**

## POZO YOCA-10

El pozo YOCA-10 ubicado en el sector NW del campo de pozos, en la cuenca Pampa Yocas, posee una profundidad de 212 m y se presenta habilitado por segmentos a partir de los 97,24 m hasta los 205,92 m.

En la **Figura 3-21** se presentan los registros de niveles en el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 del pozo YOCA-10.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 20 m dado que es un pozo de observación.**



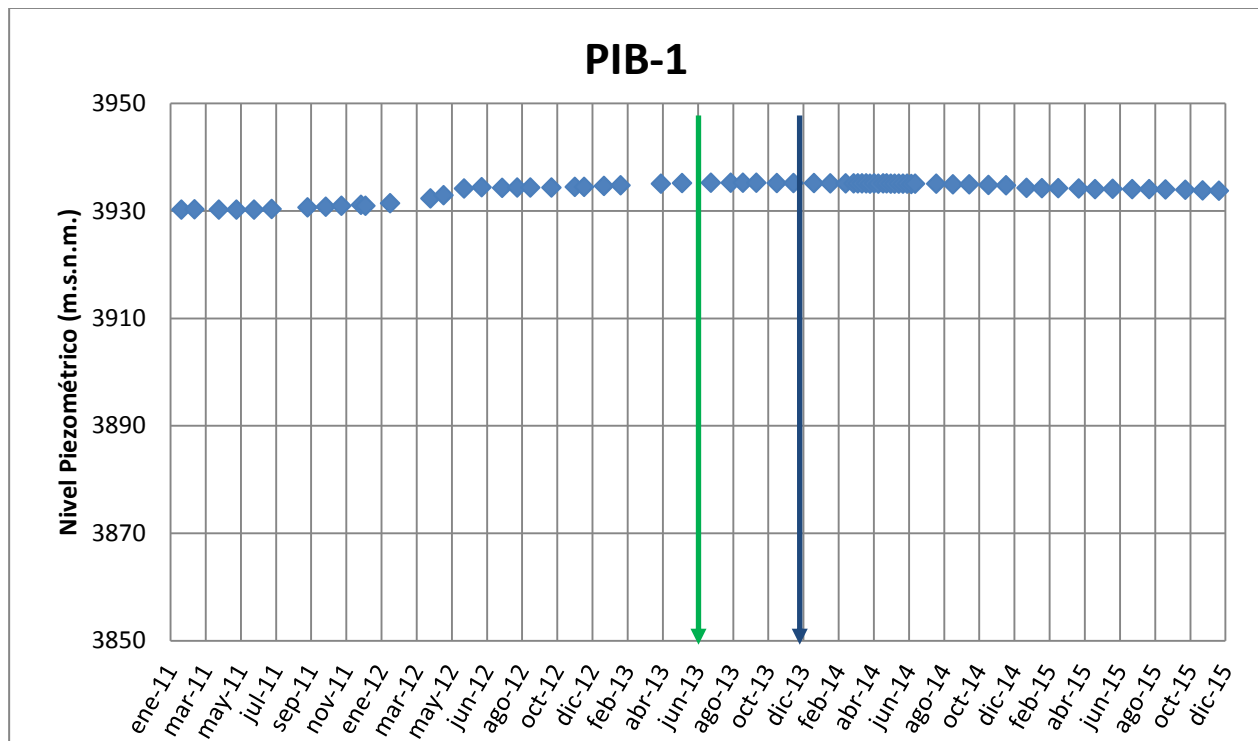
**Figura 3-21 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo YOCA-10.**

## POZO PIB-1

El pozo PIB-1 se ubica al NW del campo de pozos, en la cuenca Pampa Yocas. No se dispone de información respecto de su profundidad, habilitación, ni estratigrafía.

En la **Figura 3-22** se presentan los registros de niveles en el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 del pozo PIB-1.

**Notar que para este pozo se ha utilizado una escala vertical de 100 m para reflejar los efectos del bombeo.**



**Figura 3-22 Comportamiento de niveles de las aguas subterráneas en el pozo PIB-1.**

### 3.3 Calidad del Agua Subterránea

Las características físico-químicas de las aguas subterráneas de los acuíferos Pampa Puno y Pampa Yocas son monitoreadas mensualmente, en términos de los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Al, As, Ca, Cd, Cl, CO<sub>3</sub>, Cr, Cu, Fe, HCO<sub>3</sub>, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, PO<sub>4</sub>, Pb, Si, SO<sub>4</sub>, Zn, SS, ST, STD, y Turbiedad. Cabe señalar que todos los metales corresponden a la fracción total.

A objeto de analizar el comportamiento de las características físico-químicas de las aguas subterráneas, se han graficado los parámetros indicadores principales, correspondientes a **Conductividad, pH y sulfatos**, durante el período de enero 2011 a diciembre de 2015.

Asimismo, con el fin de identificar los tipos de aguas y diferenciarlas entre sí, los registros históricos han sido graficados en diagramas de Piper. Se han efectuado también gráficos de Stiff a objeto de cumplir con lo señalado en el PAT establecido por la DGA. Para ello, se ha utilizado como fecha de referencia los meses de noviembre de 2011, 2012, 2013, 2014, y el último mes medido en el año 2015 para cada pozo.

A objeto de separar la condición de “régimen de equilibrio natural histórico” (antes de Junio de 2013) del “régimen de bombeo productivo” (desde Diciembre de 2013), los gráficos presentes en este capítulo, presentan una línea vertical de color verde (junio 2013) que indica el inicio del bombeo preliminar o de pruebas hidráulicas y una línea de color azul que indica el inicio del bombeo productivo (diciembre 2013).

En el **ANEXO C** se encuentra la serie estadística del último período analizado enero 2011 a diciembre de 2015 de las características físico química medida en los pozos pertenecientes al PAT de Pampa Puno.

A la vez en el **ANEXO D** se presentan los gráficos de todos los parámetros físico-químicos actualmente medidos.

## POZO PUNO-2B

En las **Figuras 3-23, 3-24 y 3-25** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-2B.

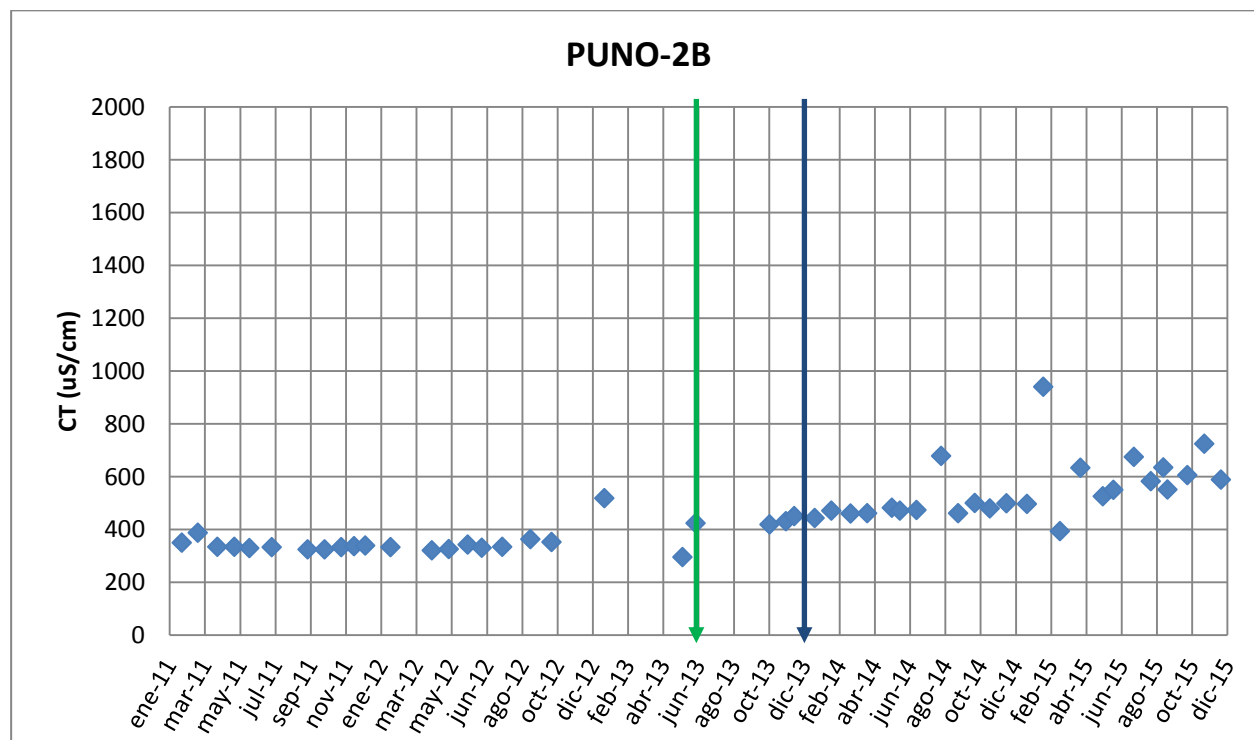
La **Conductividad** presenta un promedio que se registra para el periodo entre enero de 2011 y diciembre de 2015 de 454,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un máximo de 940  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un mínimo de 295  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El **pH** muestra un comportamiento estable, registrando valores entre 6,7 y 8,5 puntos. Las aguas del pozo PUNO-2B presentan un comportamiento ligeramente alcalino.

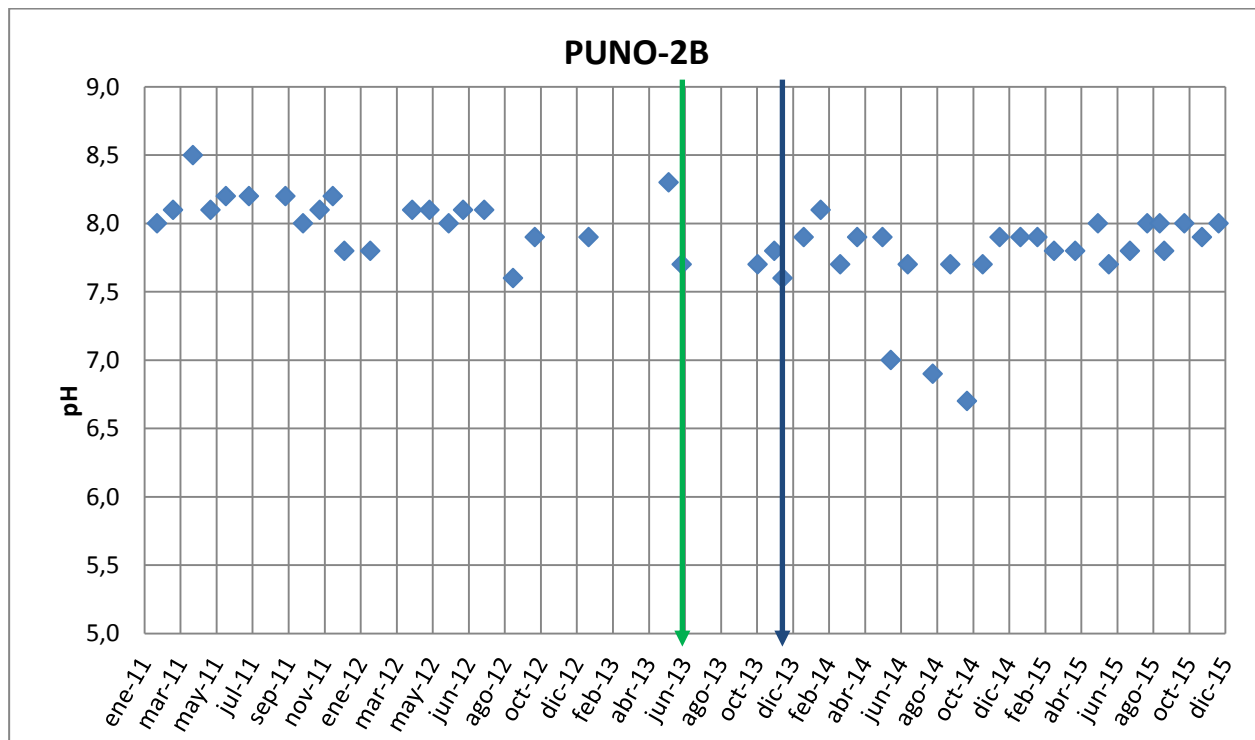
Los contenidos de **Sulfatos** durante el periodo presentan en promedio un valor de 136,5 mg/L.

Como se observa en los diagramas de Stiff de los meses de noviembre del 2011, 2013, 2014 y 2015 las aguas presentan características **Sulfatadas/Cálcicas**.

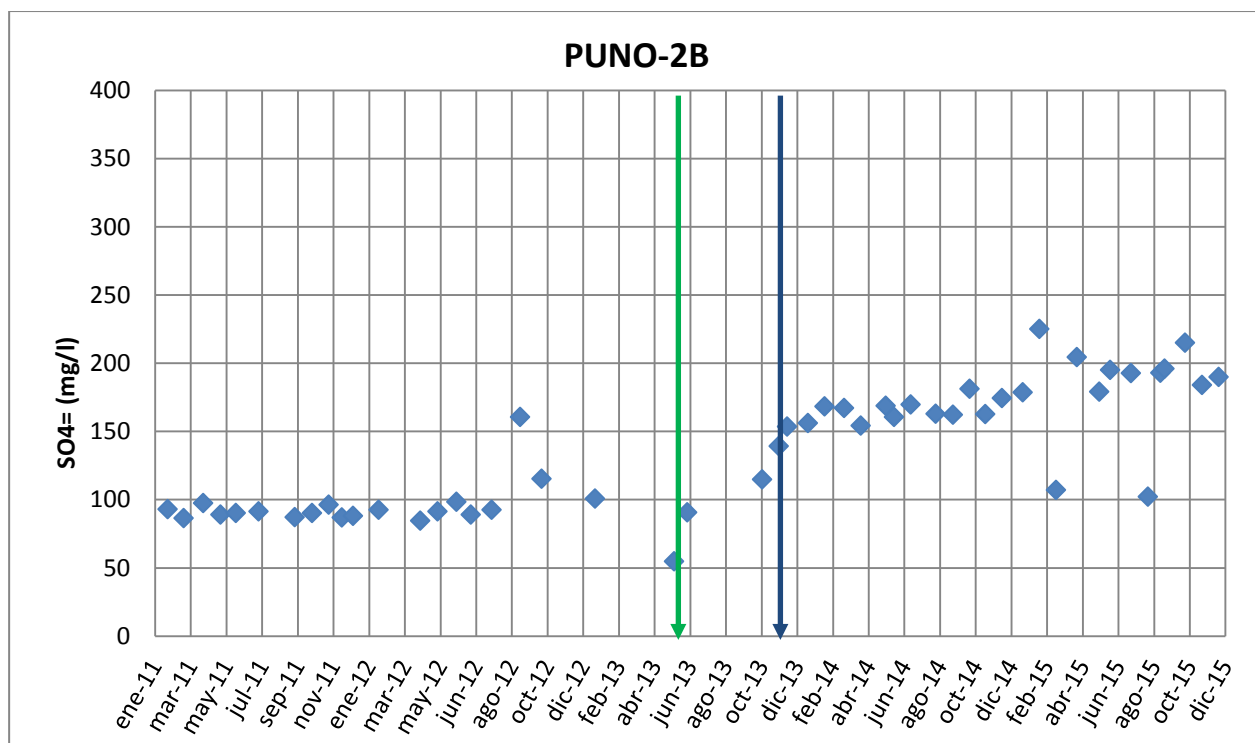
Asimismo, se observa su representación en el diagrama de Piper siendo muy similares a las observadas en los pozos PUNO-6B y PUNO-7B.



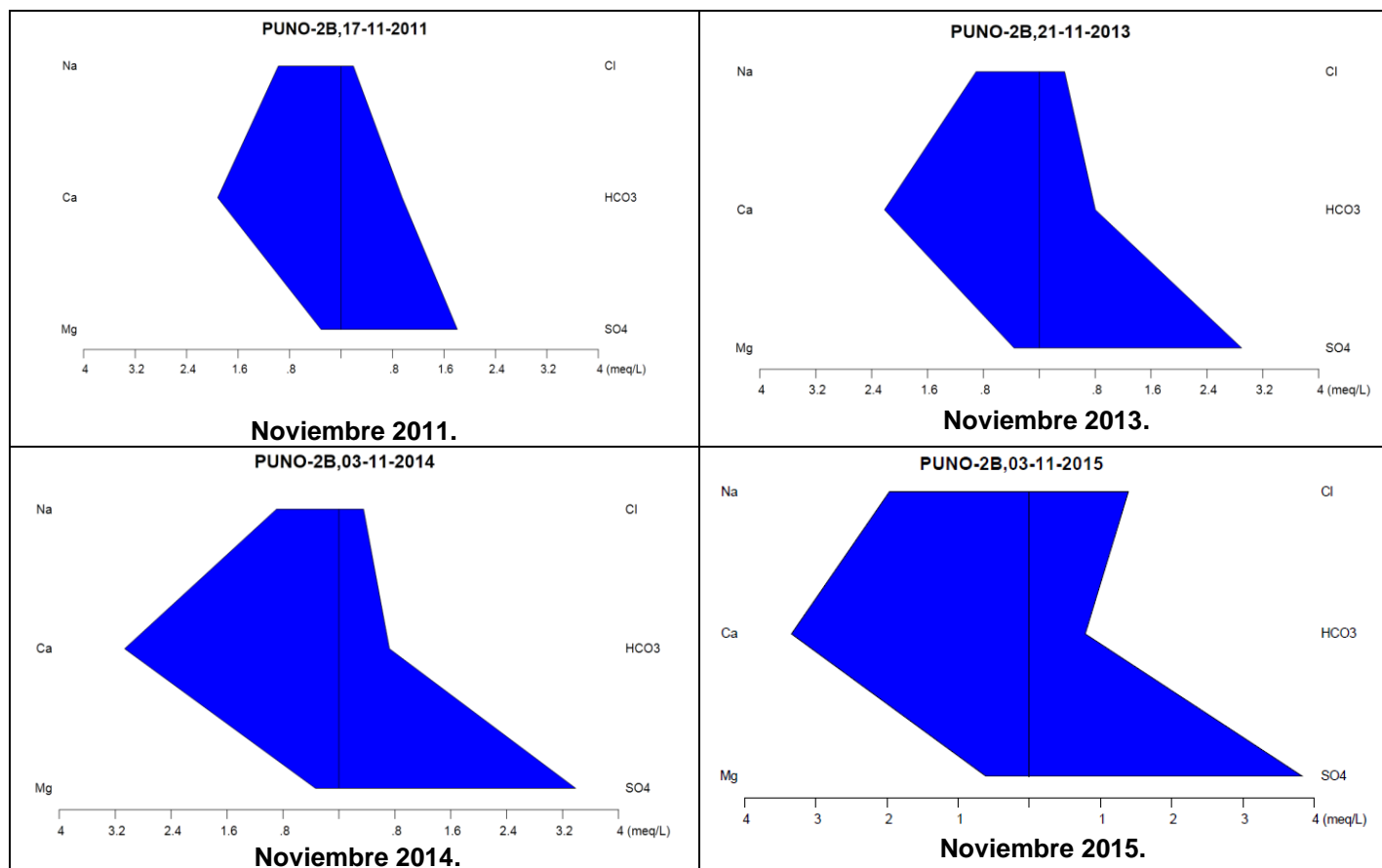
**Figura 3-23 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-2B.**



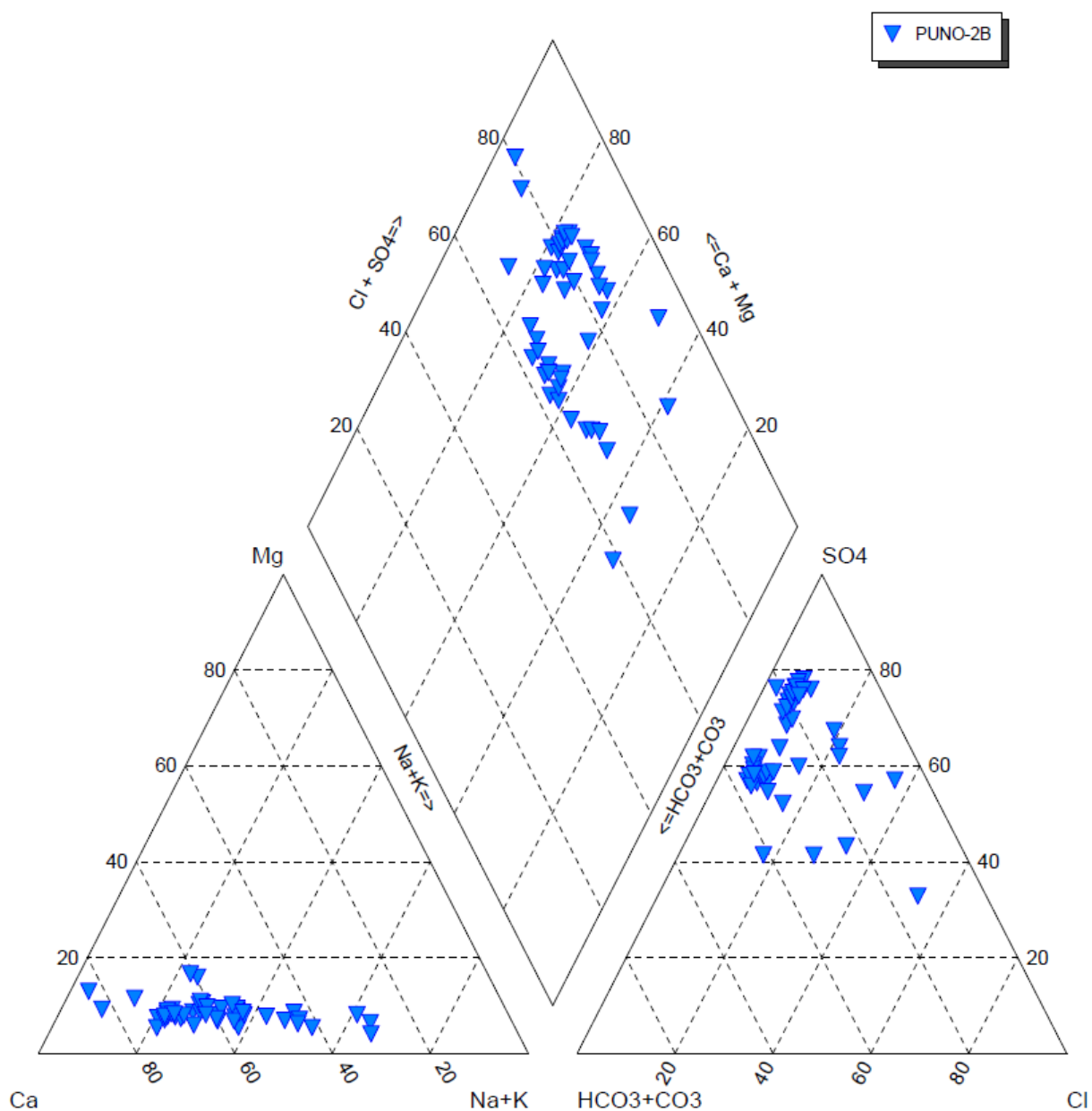
**Figura 3-24 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-2B.**



**Figura 3-25 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-2B.**



**Figura 3-26 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-2B.**



**Figura 3-27 Diagrama de Piper del pozo PUNO-2B.**

## POZO PUNO-314B

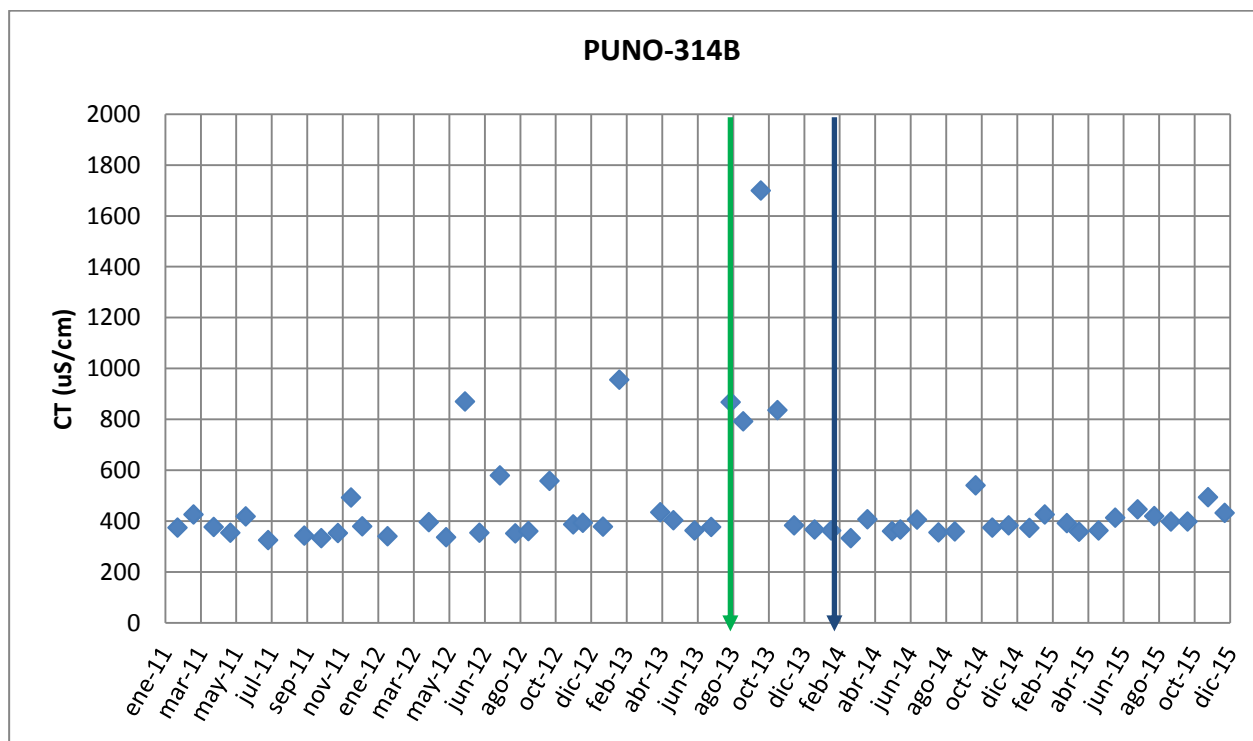
En las **Figuras 3-28, 3-29 y 3-30** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-314B.

La **Conductividad** presenta un rango entre 325  $\mu\text{S/cm}$  y 1.700  $\mu\text{S/cm}$  y un promedio de 462  $\mu\text{S/cm}$ .

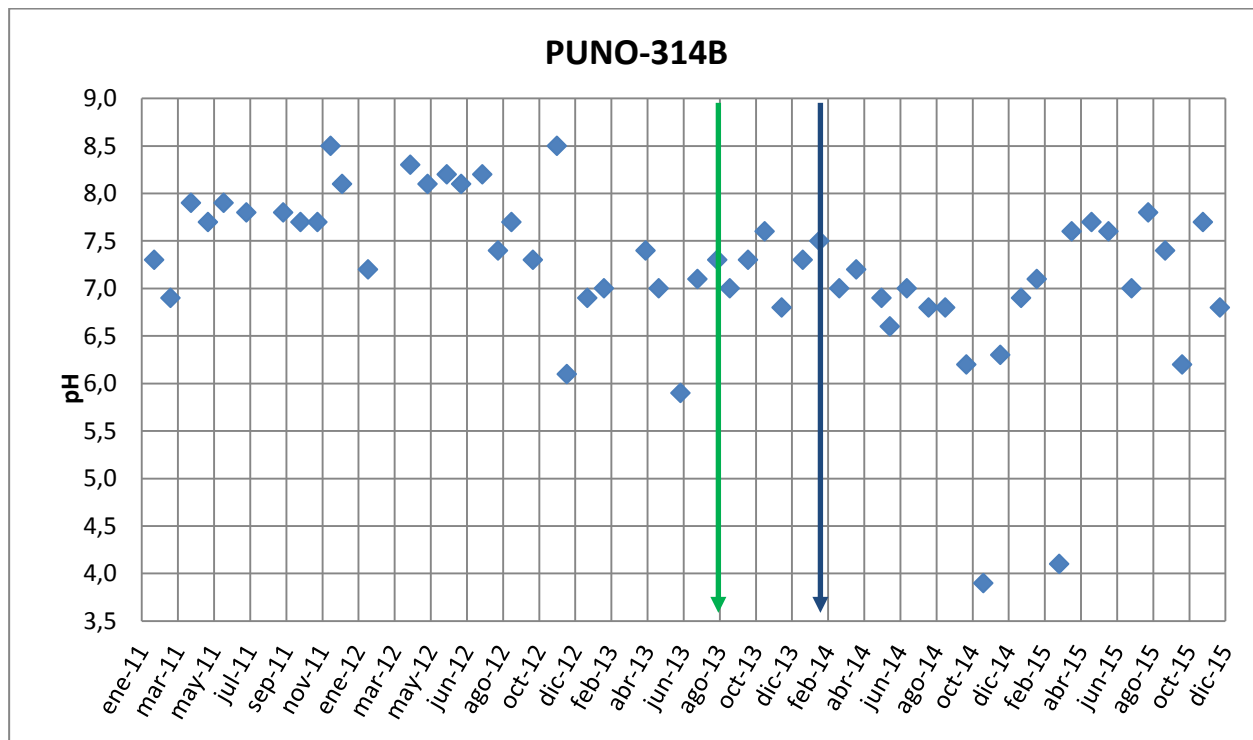
El **pH** muestra un comportamiento con valores entre los 3,9 y 8,5. Por lo tanto, las aguas del pozo PUNO-314B se consideran como neutras o ligeramente alcalinas.

Los contenidos de **Sulfatos** presentan un comportamiento similar a los de conductividad y presentan un valor promedio de 59,26 mg/L.

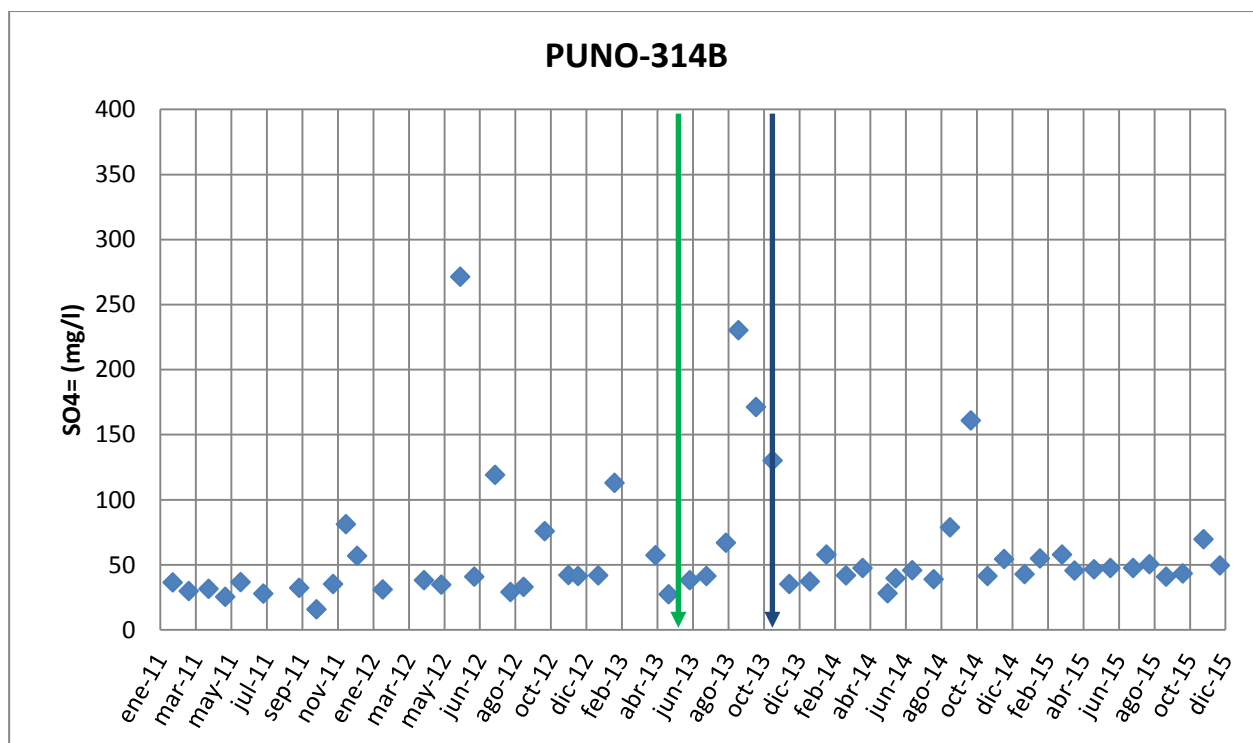
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas principalmente **Cálcicas/Cloruradas/Sulfatadas** para el caso de noviembre 2011, 2012, 2014 y 2015. Sin embargo, en noviembre de 2013 se observan aguas de tipo **Sódicas/Cálcicas**, con un mayor contenido de Sodio que los anteriores.



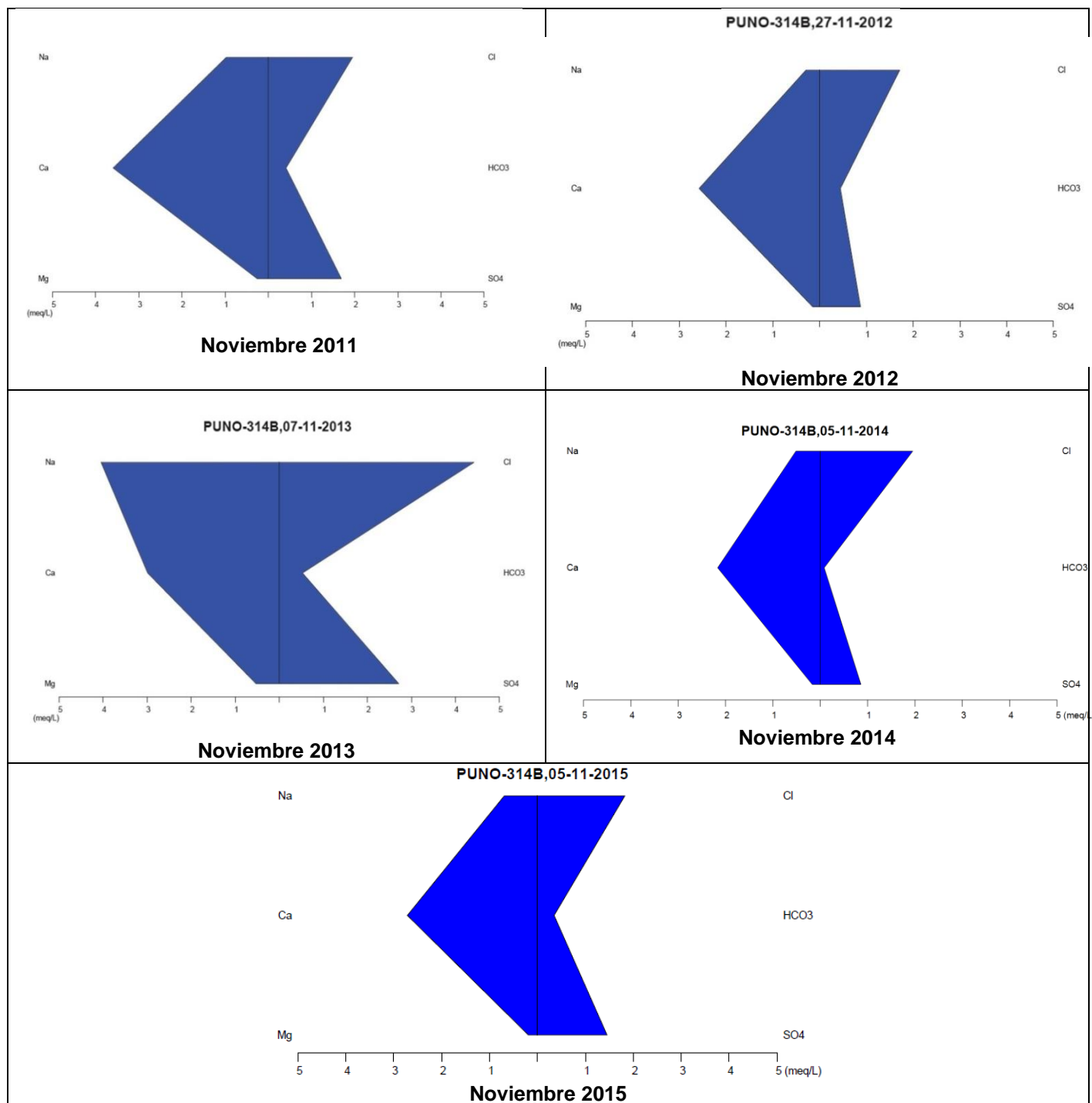
**Figura 3-28 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-314B.**



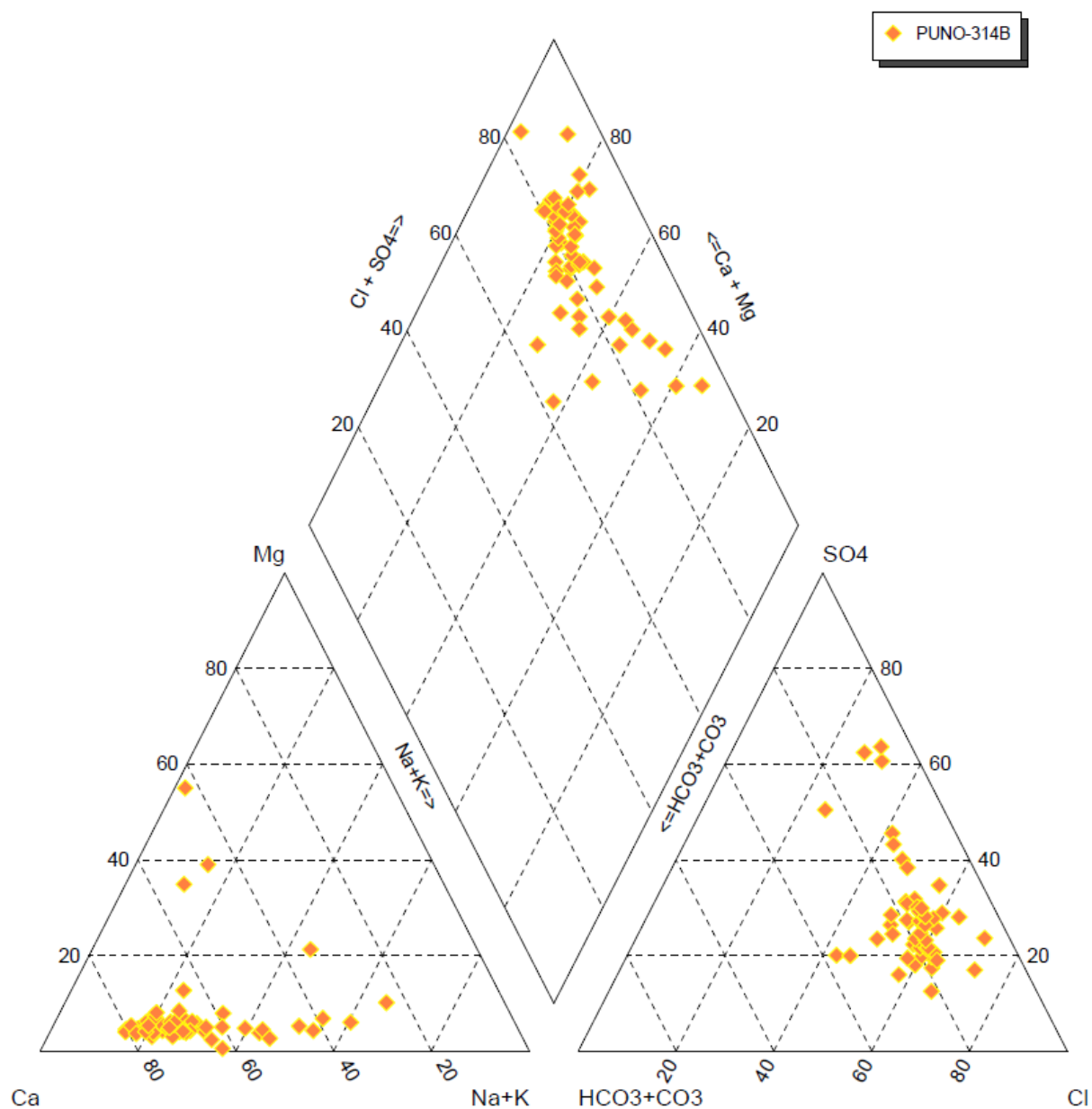
**Figura 3-29 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-314B.**



**Figura 3-30 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-314B.**



**Figura 3-31 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-314B.**



**Figura 3-32 Diagrama de Piper del pozo PUNO-314B.**

## POZO PUNO-4B

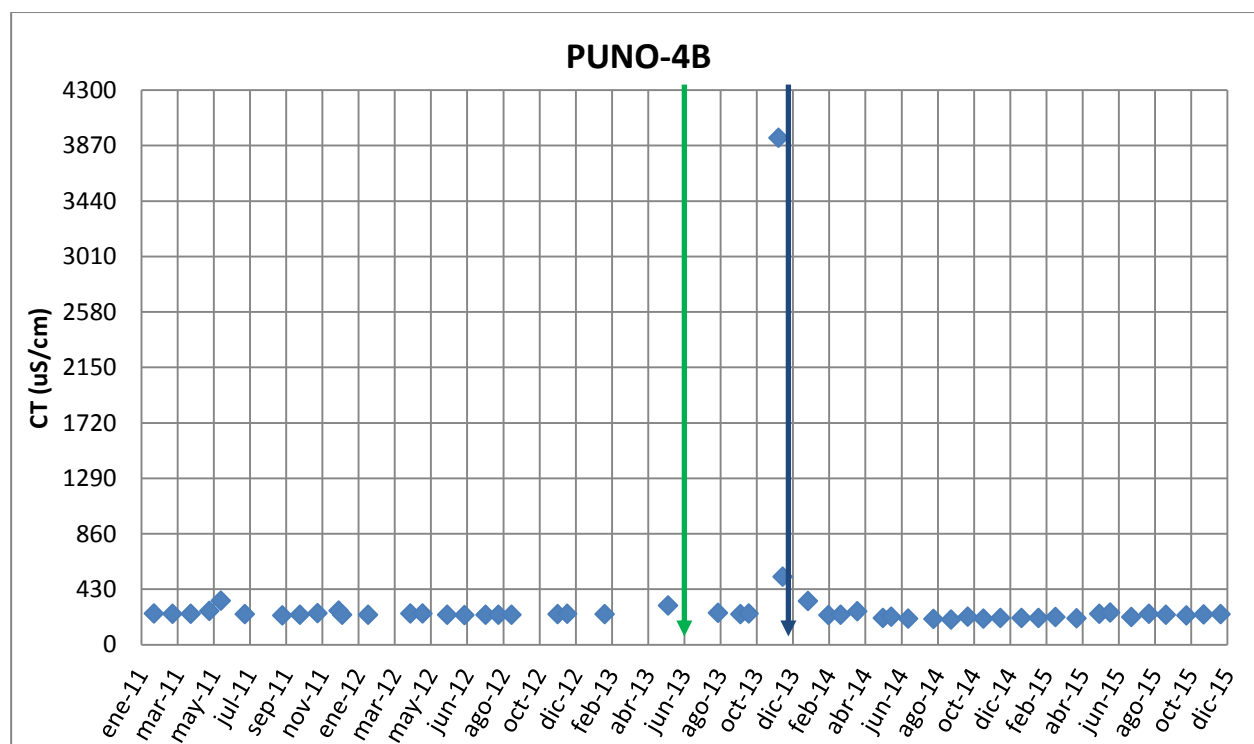
En las **Figuras 3-33, 3-34 y 3-35** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-4B.

La **Conductividad** registra un comportamiento estable durante el periodo, con un valor promedio de 311,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en un rango entre los 193,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 3930  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

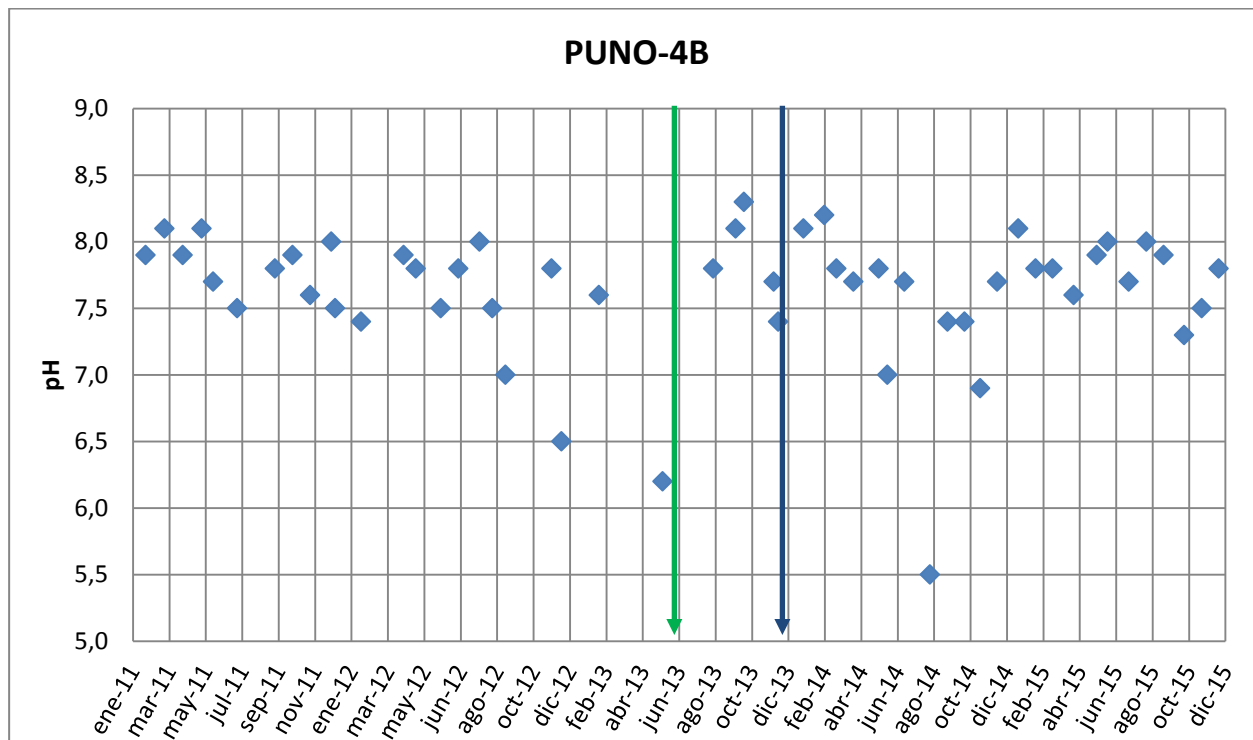
El **pH** durante el 2015 muestra valores que se mantienen alrededor de los 7,63. En general, las aguas del Pozo-4B se consideran neutras de acuerdo a los valores registrados.

Los contenidos de **Sulfatos** se presentan estables en torno los 25,9 mg/L como valor promedio, en un rango de 9,1 mg/L y 141,6 mg/L.

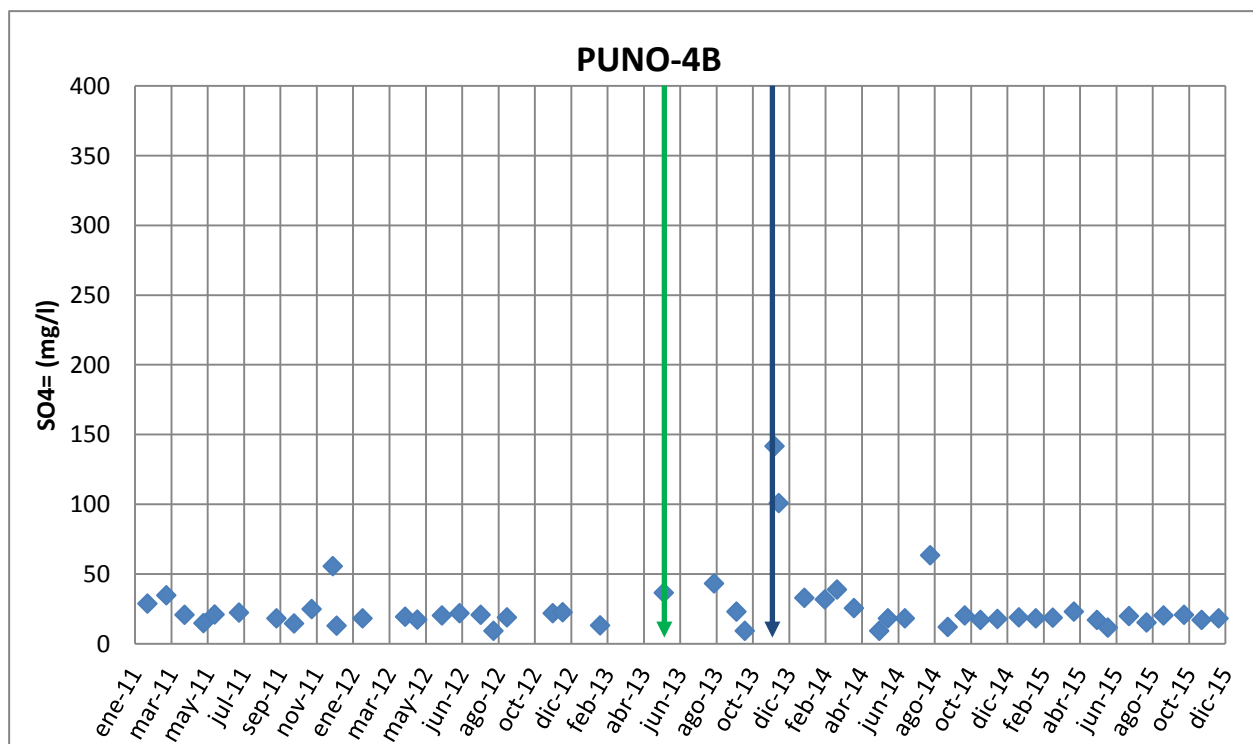
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Cloruradas/Cálcicas**, como se observa en el diagrama de Piper, y en los diagramas de Stiff. Las aguas para el mes de noviembre 2013 se presentan con mayor contenido de Sodio y Cloro, haciéndolas más Sódicas que Cálcicas.



**Figura 3-33 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-4B.**



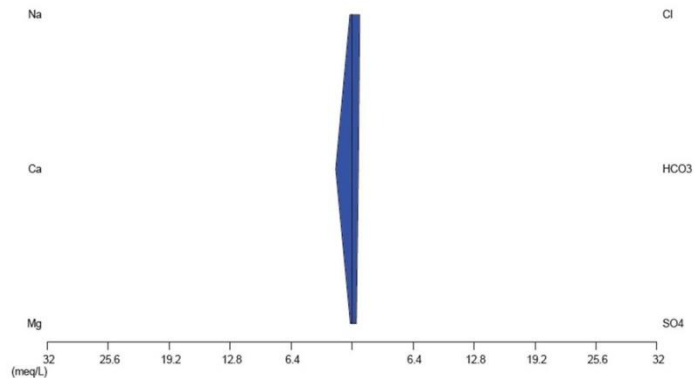
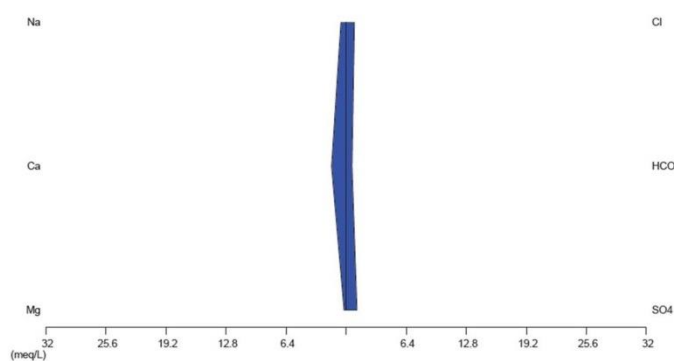
**Figura 3-34 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-4B.**



**Figura 3-35 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-4B.**

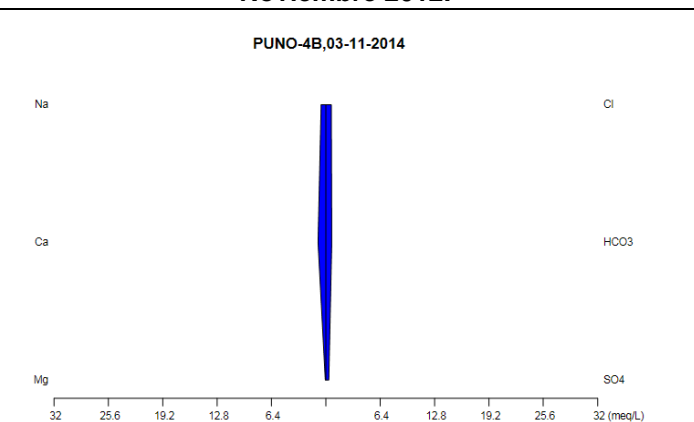
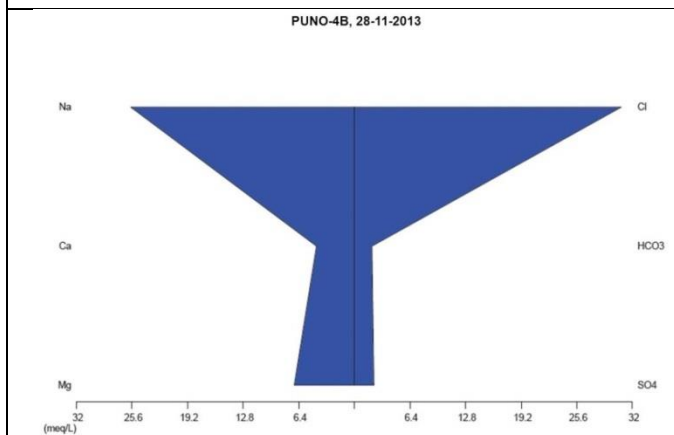
PUNO-4B, 30-11-2011

PUNO-4B, 27-11-2012



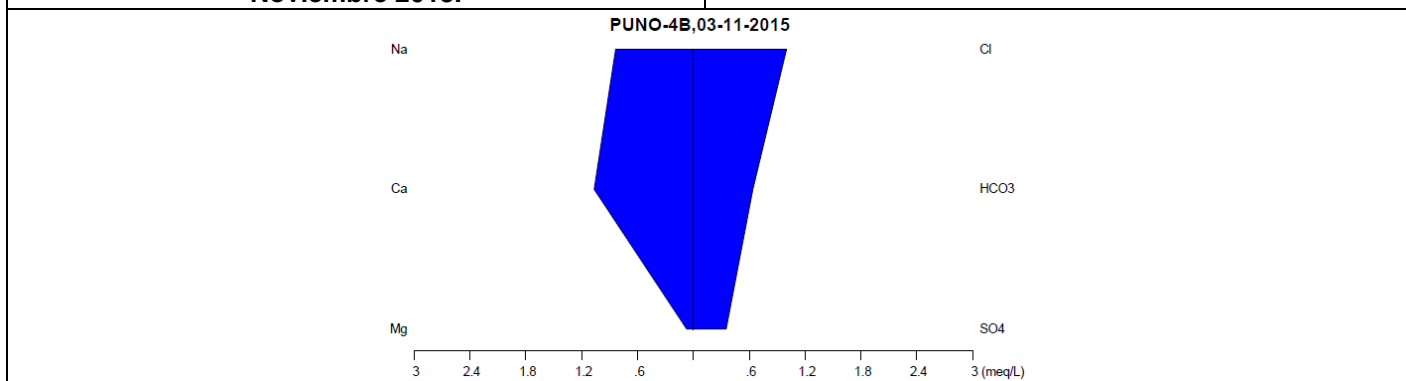
**Noviembre 2011.**

**Noviembre 2012.**



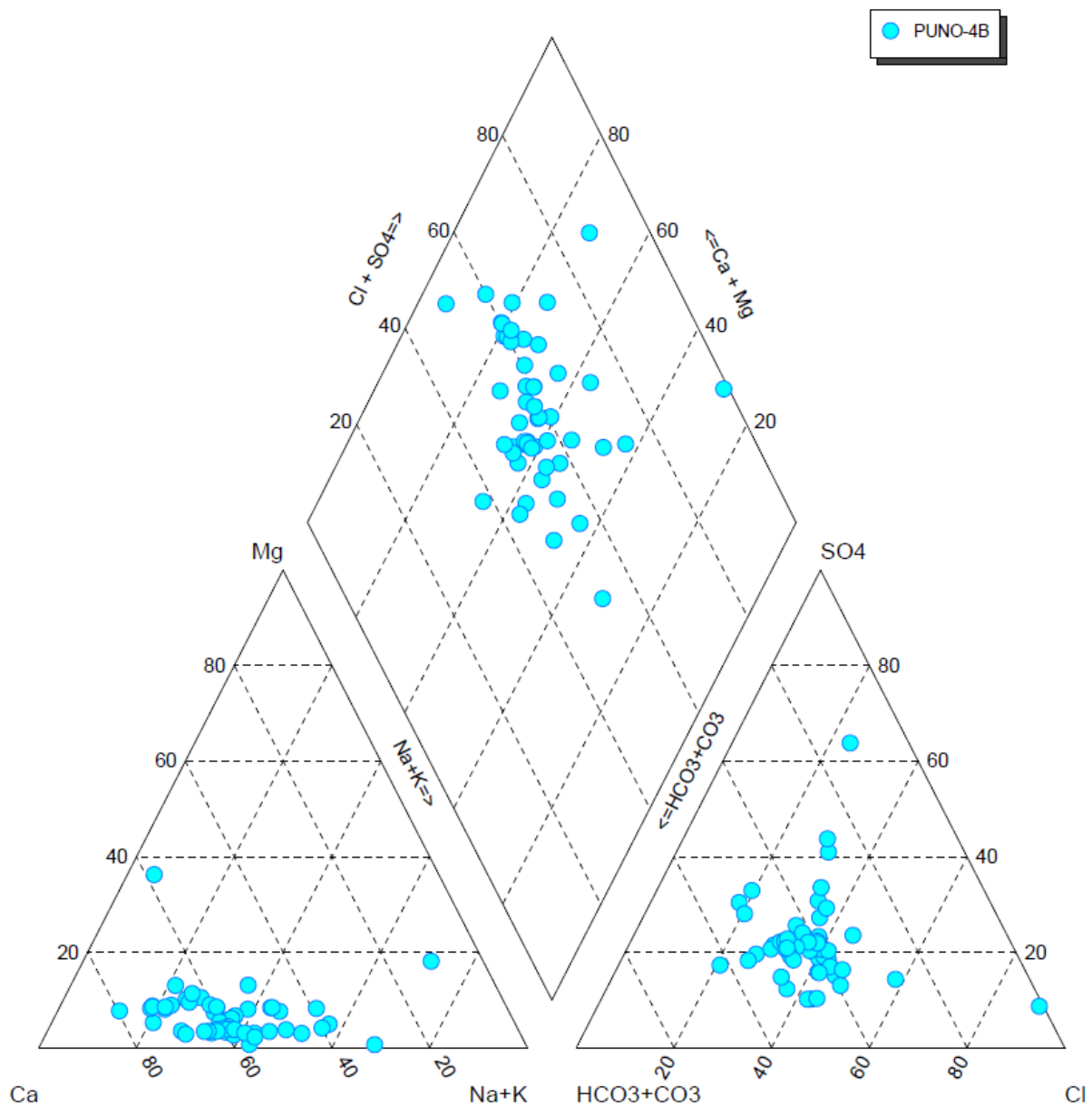
**Noviembre 2013.**

**Noviembre 2014.**



**Noviembre 2015**

**Figura 3-36 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-4B.**



**Figura 3-37 Diagrama de Piper del pozo PUNO-4B.**

## POZO PUNO-6B

Para este pozo, en el año 2011 hay datos desde enero a junio; no se dispone de datos para el año 2012, en el año 2013 se tiene datos desde Octubre, mientras que los años 2014 y 2015 están prácticamente completos.

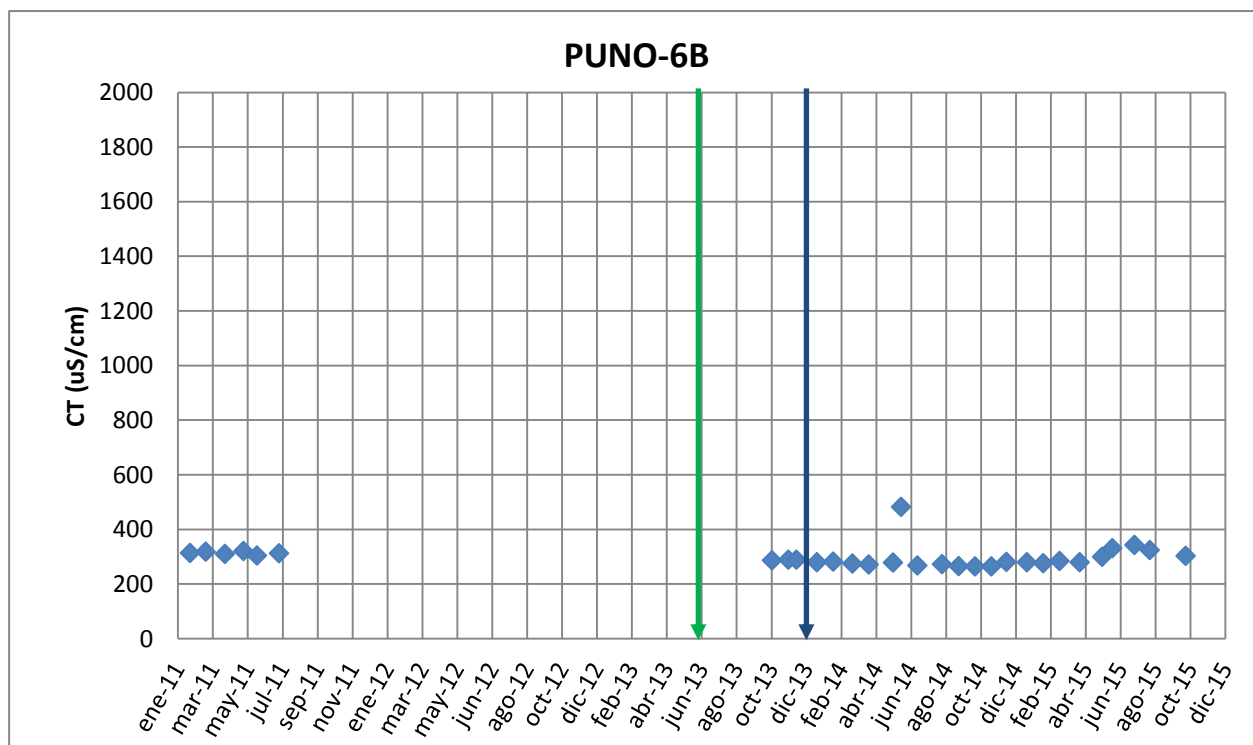
En las **Figuras 3-38, 3-39 y 3-40** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-6B.

La **Conductividad** presenta un comportamiento estable para los datos registrados y graficados de acuerdo a la data de la que se dispone, con un rango entre 264 y 482  $\mu\text{S/cm}$ , con un promedio de 298,2  $\mu\text{S/cm}$ .

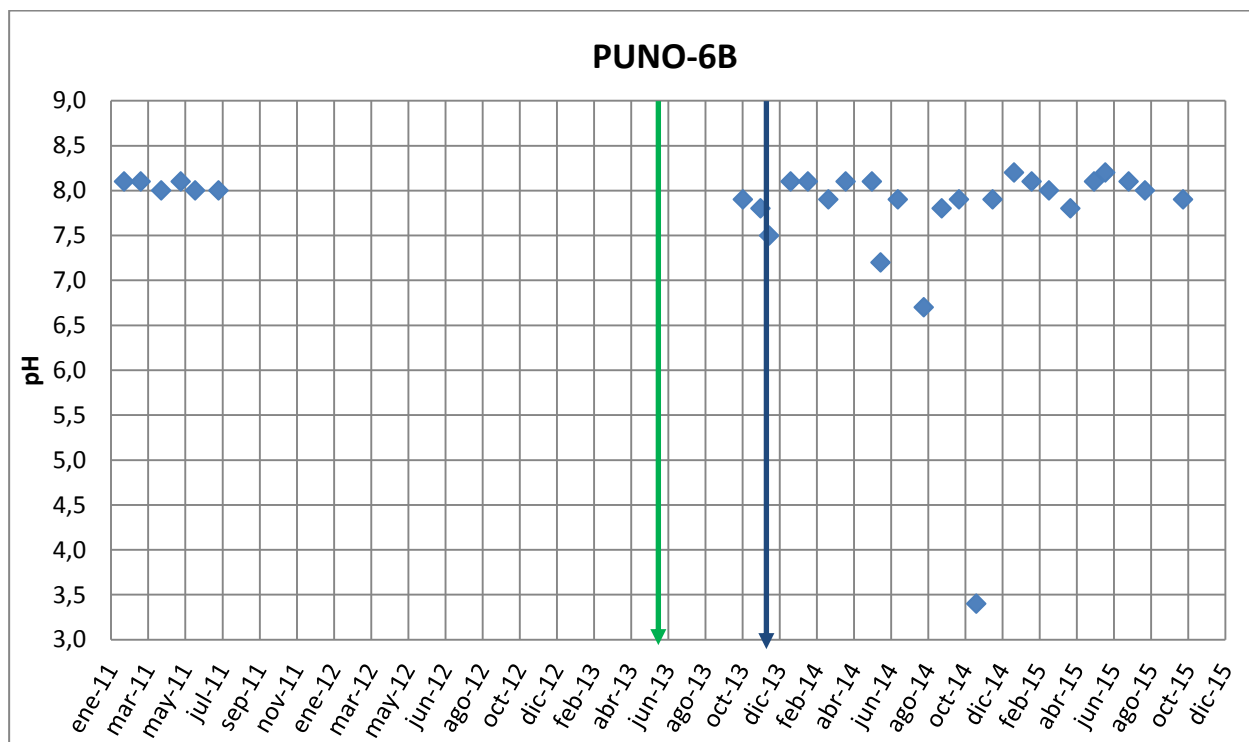
El **pH** muestra que el 2015 mantiene durante todo el año sus valores estables entre 7,8 y 8,2 de pH.

Los contenidos de **Sulfatos** durante el periodo se presentan relativamente estables, con valores entre los 49 y los 90,5 mg/L, con un promedio de 61,95 mg/L.

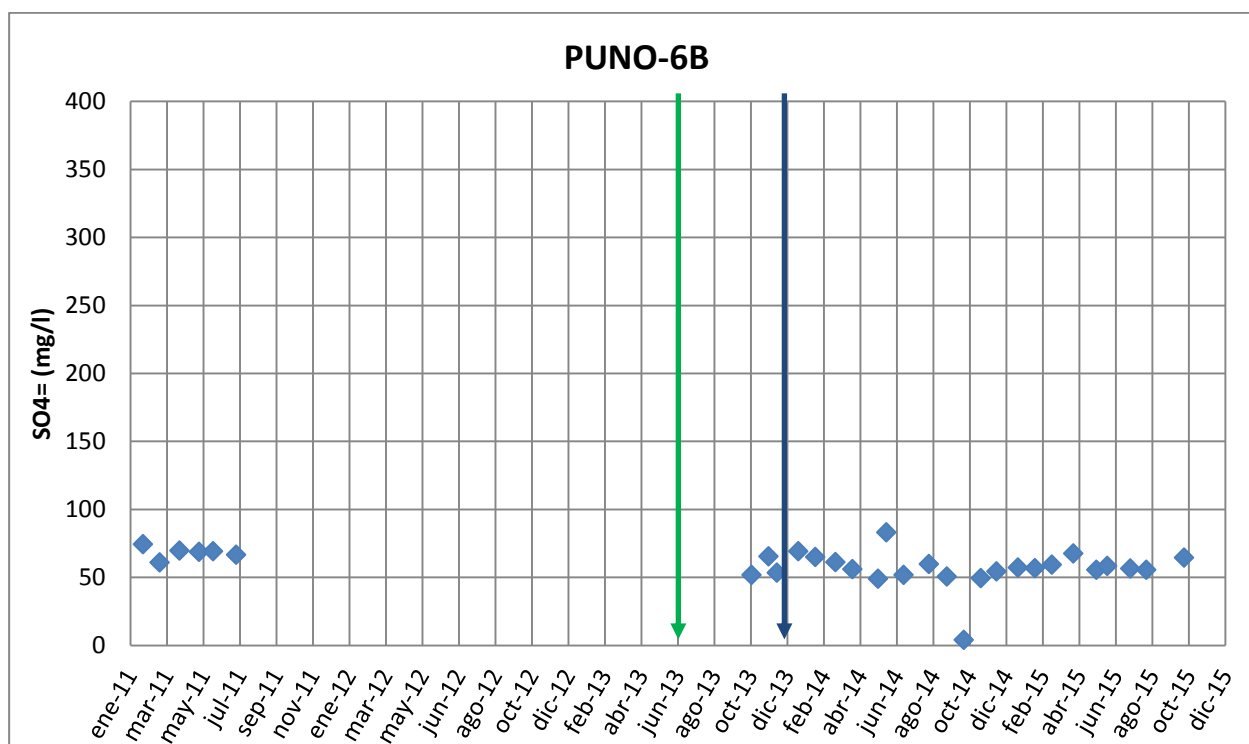
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Sódicas/Sulfatadas**, como se observa en el diagrama de Piper y en los diagramas de Stiff. Sin embargo, para diciembre 2015 se presentan aguas de tipo **Sódicas/Sulfatadas/Carbonatadas**.



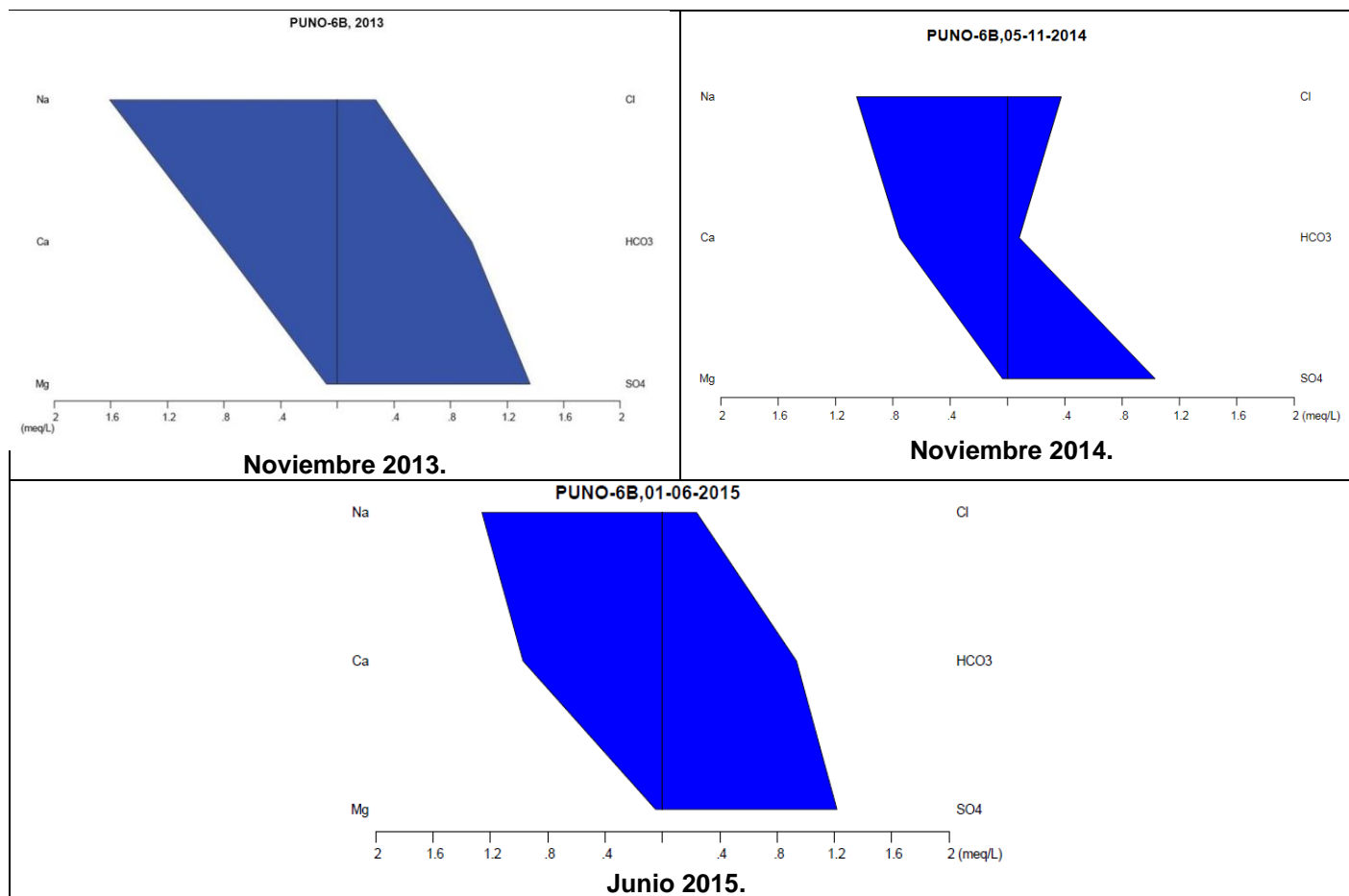
**Figura 3-38 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-6B.**



**Figura 3-39 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-6B.**



**Figura 3-40 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-6B.**



**Figura 3-41 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-6B.**

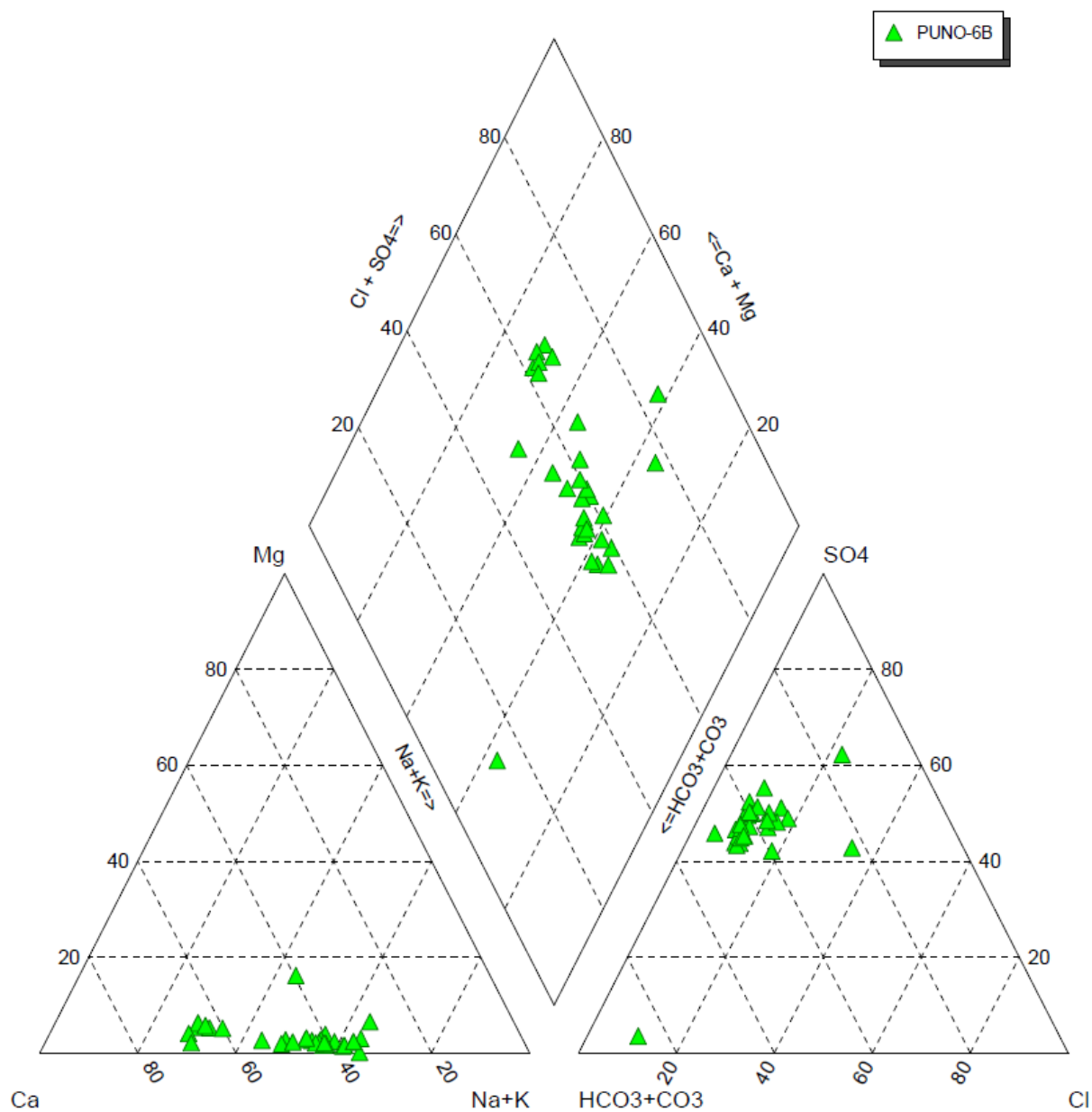


Figura 3-42 Diagrama de Piper del pozo PUNO-6B.

## POZO PUNO-7B

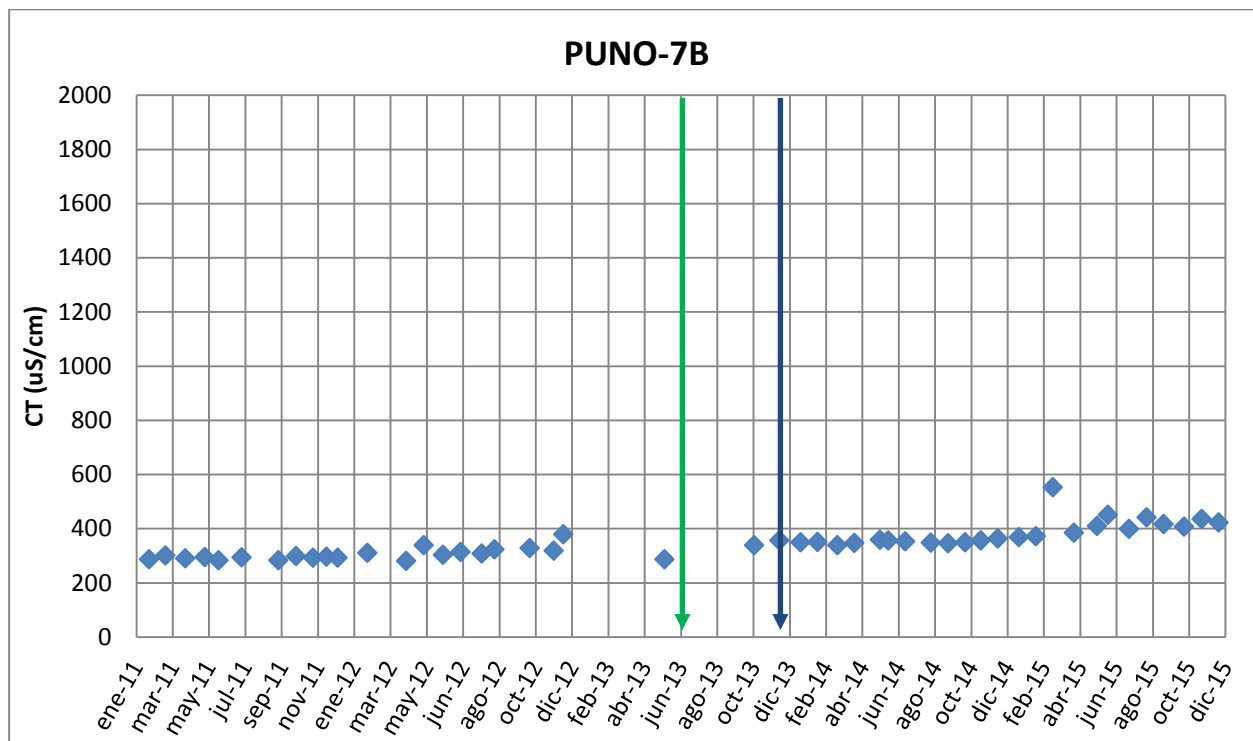
En las **Figuras 3-43, 3-44 y 3-45** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-7B.

La **Conductividad** presenta un comportamiento estable, con un valor promedio de este parámetro de 347,14  $\mu\text{S/cm}$ .

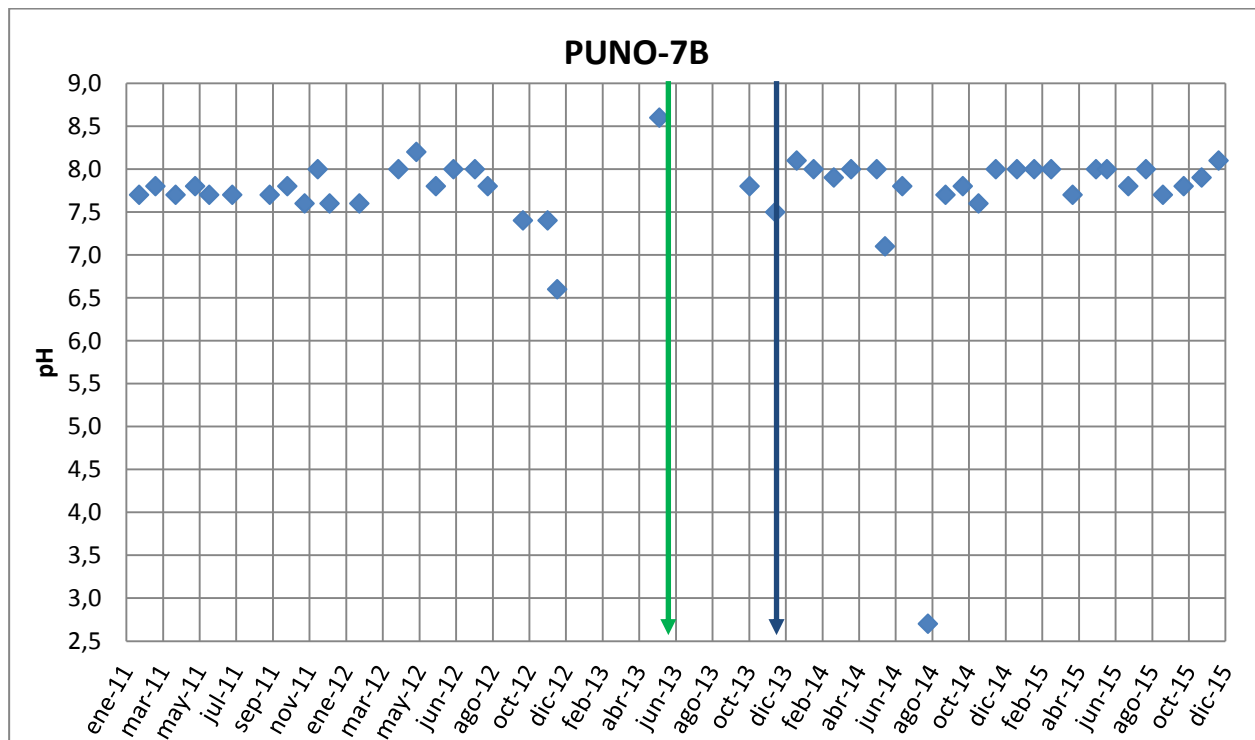
El **pH** entre septiembre de 2014 a diciembre de 2015 presenta valores entre 7,1 y 8,1.

Los contenidos de **Sulfatos** durante el periodo presentan un promedio de 90,45 mg/L.

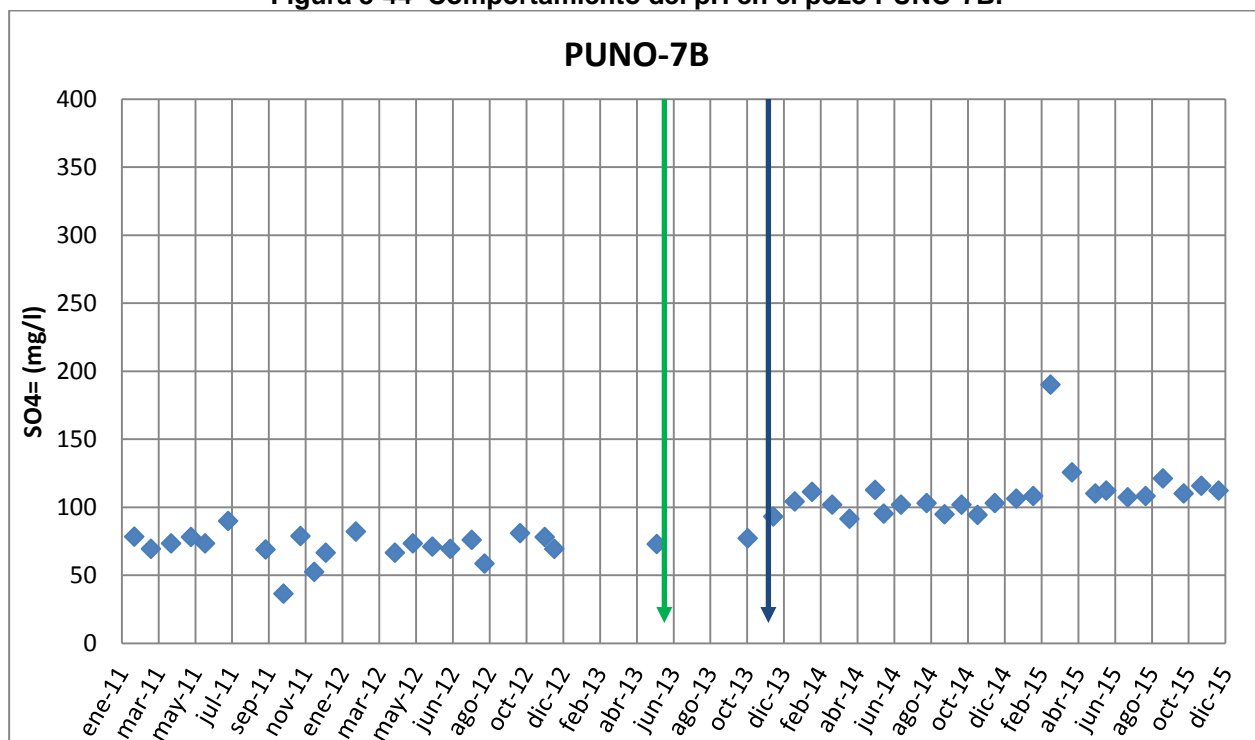
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Cálcicas /Sulfatadas**, como se observa en el diagrama de Piper, y en los diagramas de Stiff.



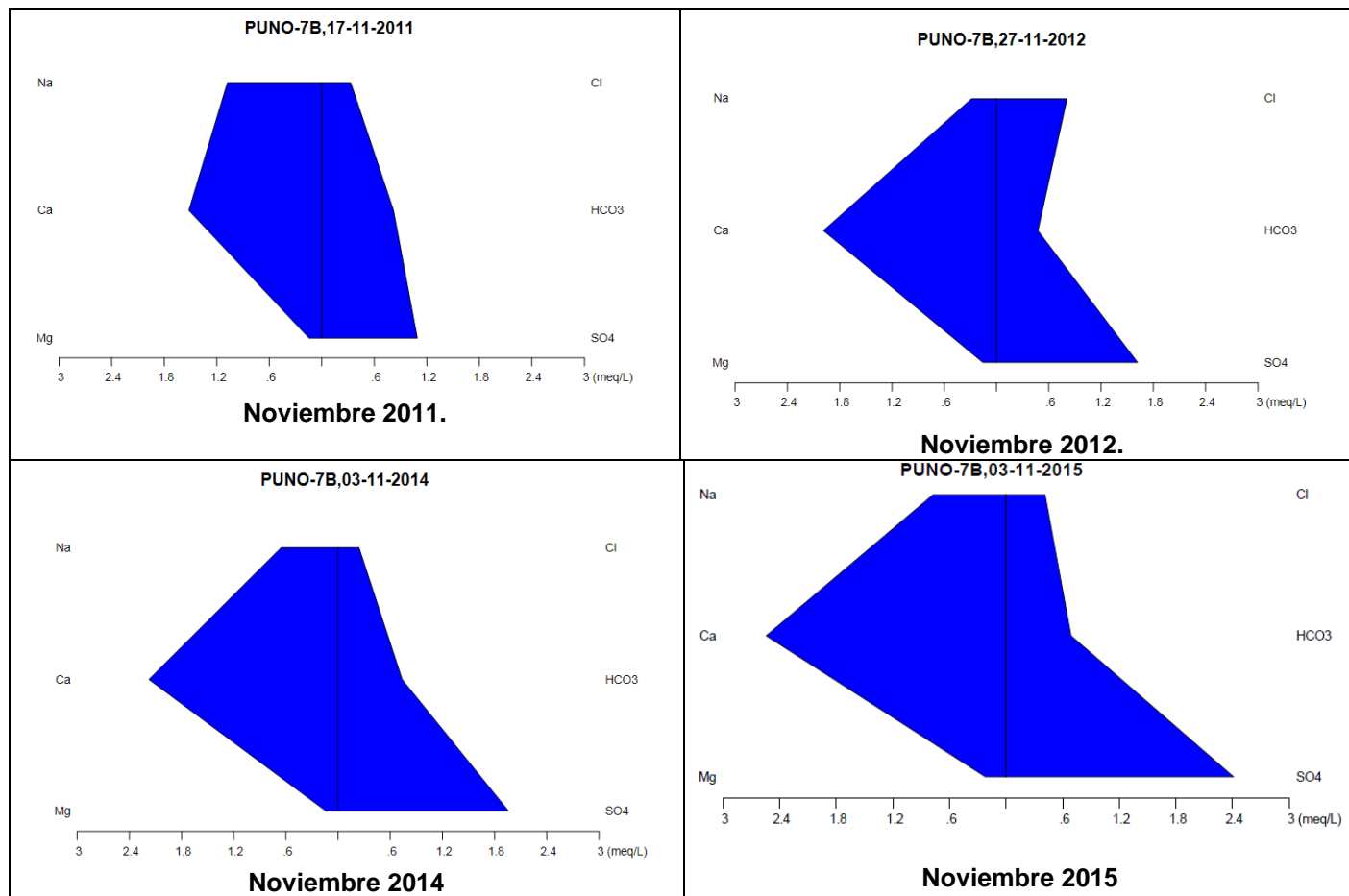
**Figura 3-43 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-7B.**



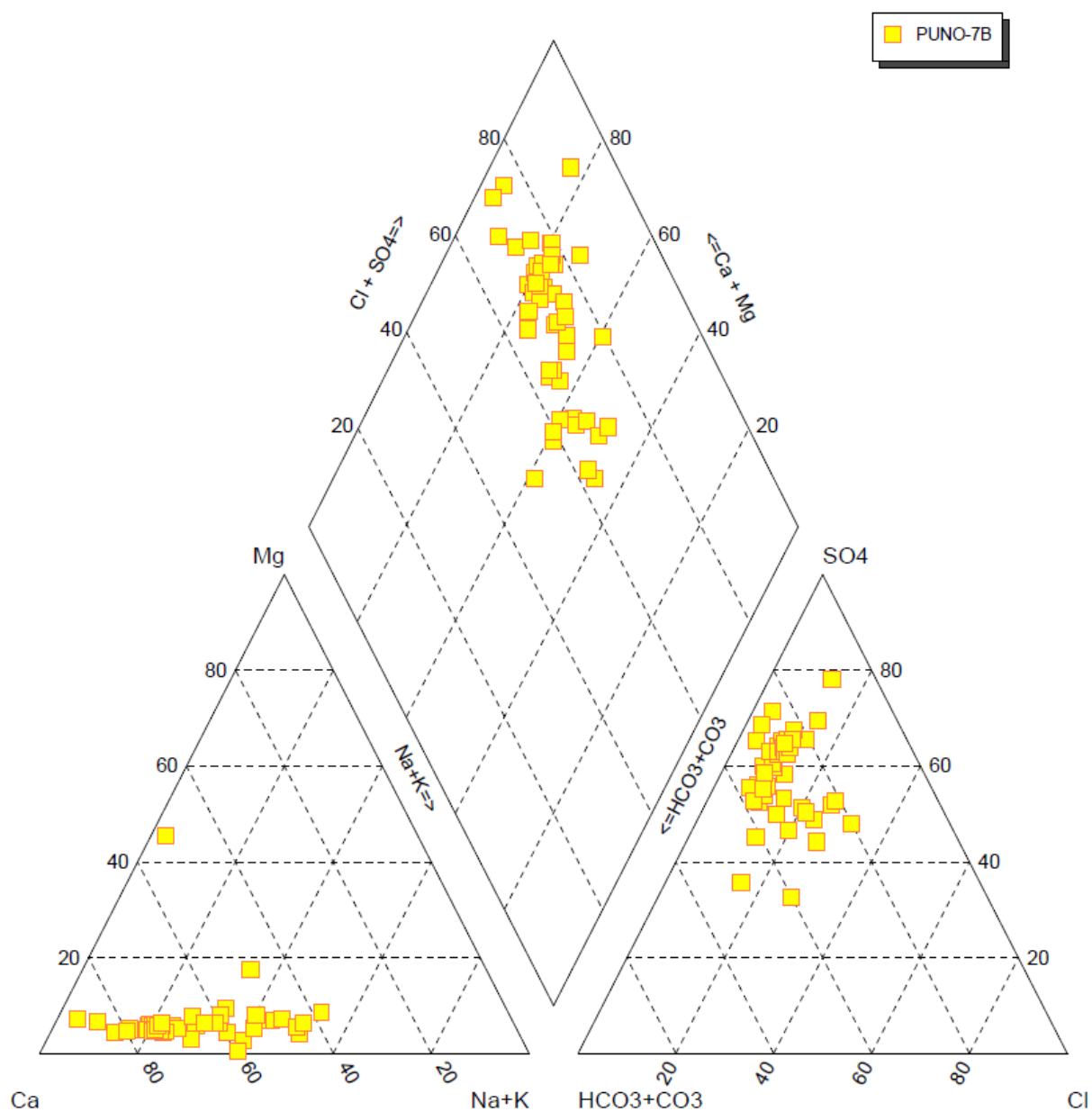
**Figura 3-44 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-7B.**



**Figura 3-45 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-7B.**



**Figura 3-46 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-7B.**



**Figura 3-47 Diagrama de Piper del pozo PUNO-7B.**

## POZO PUNO-8B

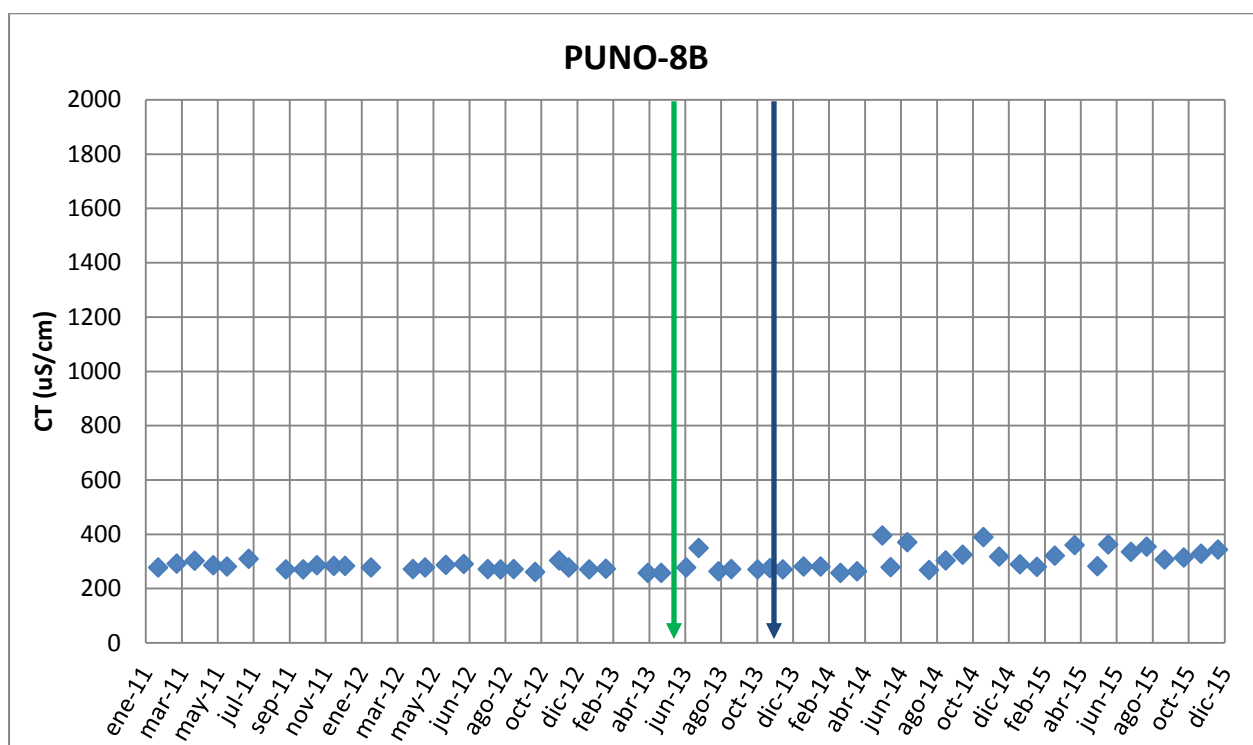
En las **Figuras 3-48, 3-49 y 3-50** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-8B.

La **Conductividad** presenta un comportamiento estable durante el periodo de monitoreo con valores que fluctúan entre los 256  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 395  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un promedio de 294,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

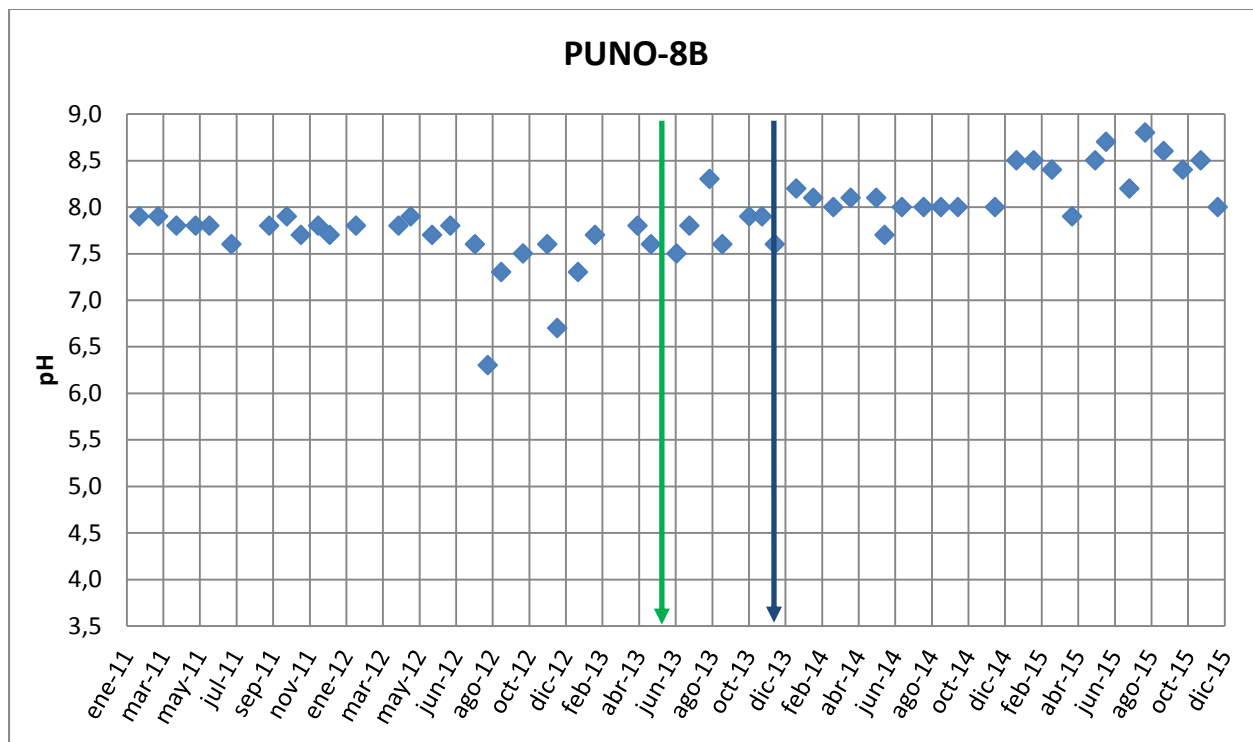
El **pH** muestra un comportamiento estable para los meses medidos durante el año 2015 manteniéndose durante todo el año alrededor de los 8,42.

Los contenidos de **Sulfatos** durante el periodo se presentan estables con un promedio para todo el periodo de medición de 19,86 mg/L.

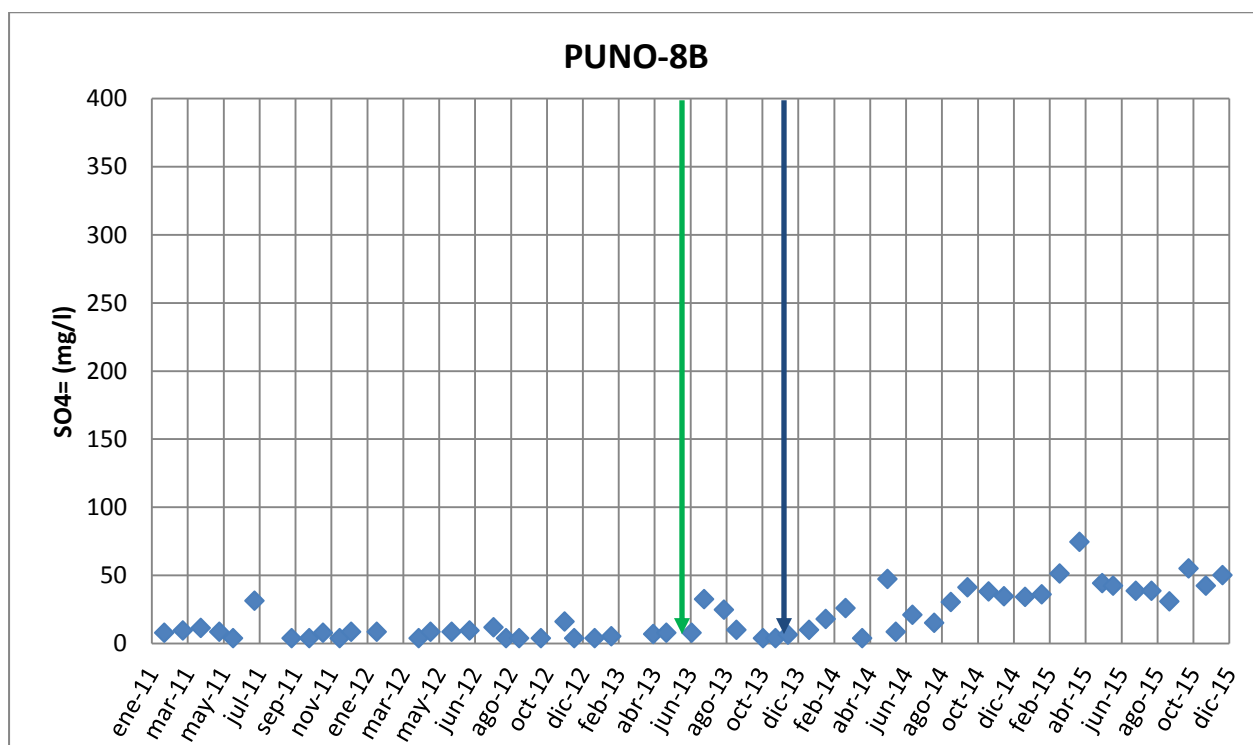
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Carbonatadas/Cálcicas/Sódicas**, como se observa en el diagrama de Piper y en los diagramas de Stiff. Se observa un menor contenido de Bicarbonato en noviembre de 2014, lo cual determina un tipo de agua **Cálcica/Sódica**.



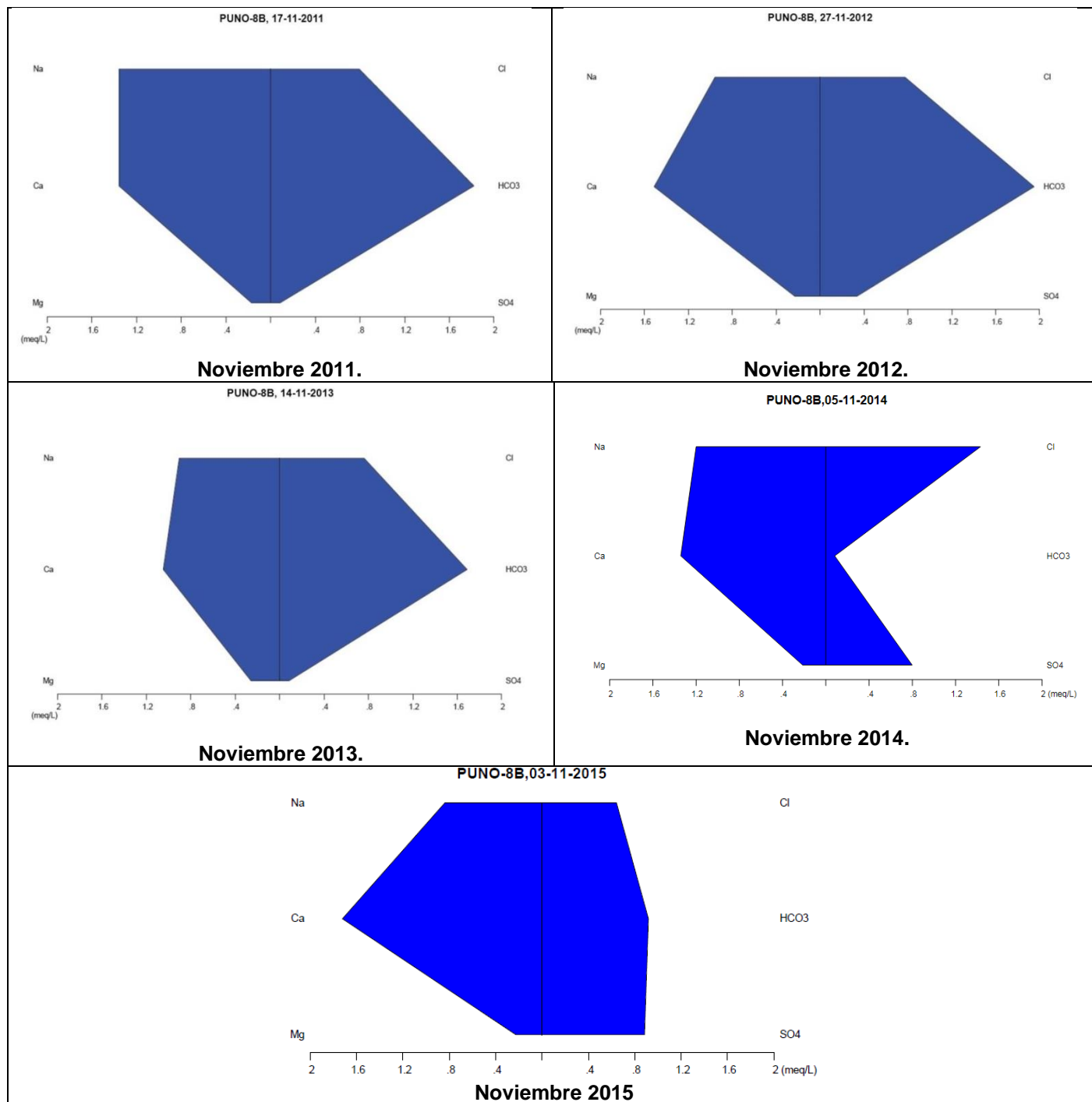
**Figura 3-48 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-8B.**



**Figura 3-49 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-8B.**



**Figura 3-50 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-8B.**



**Figura 3-51 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-8B.**

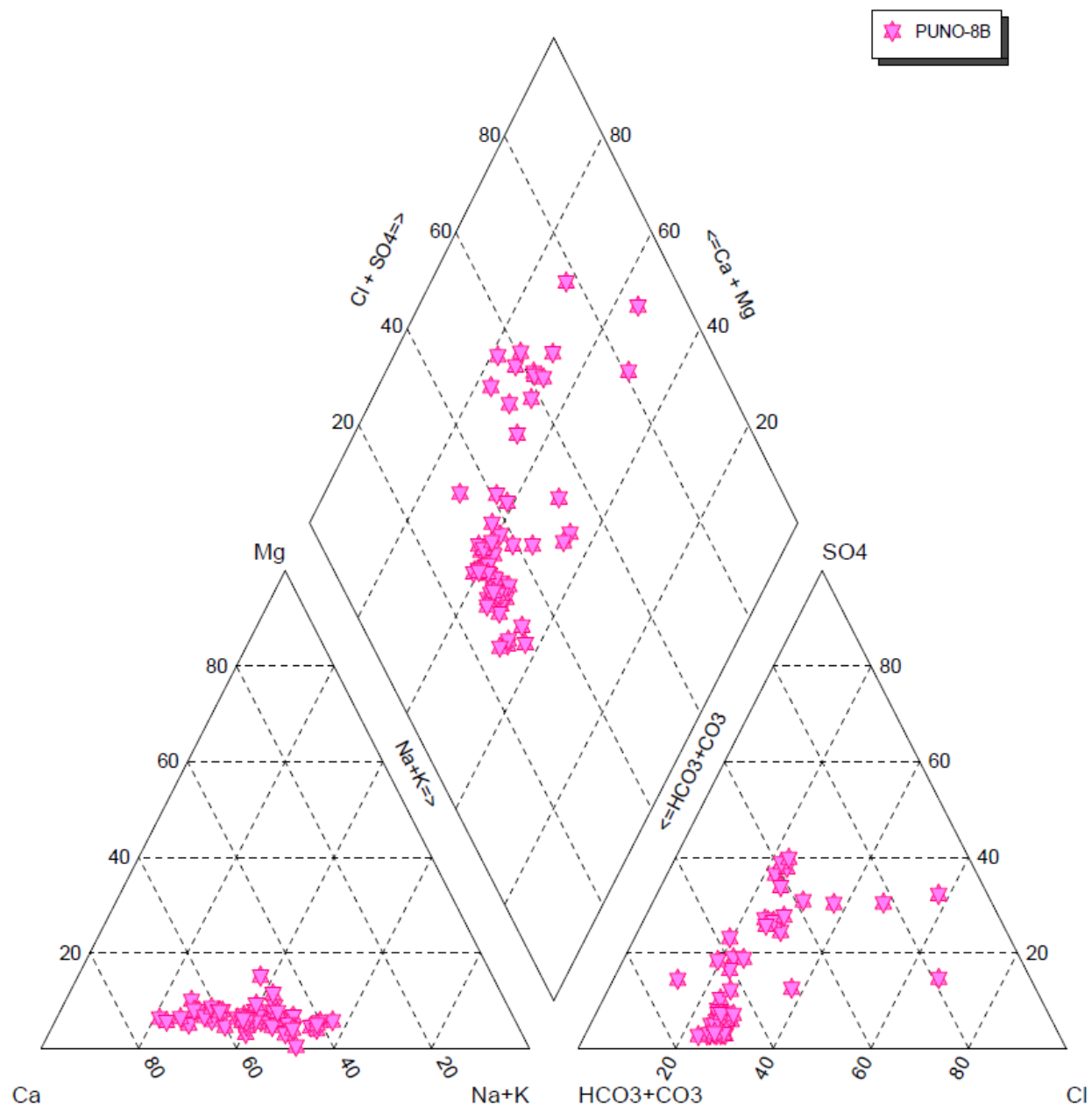


Figura 3-52 Diagrama de Piper del pozo PUNO-8B.

## POZO PUNO-9B

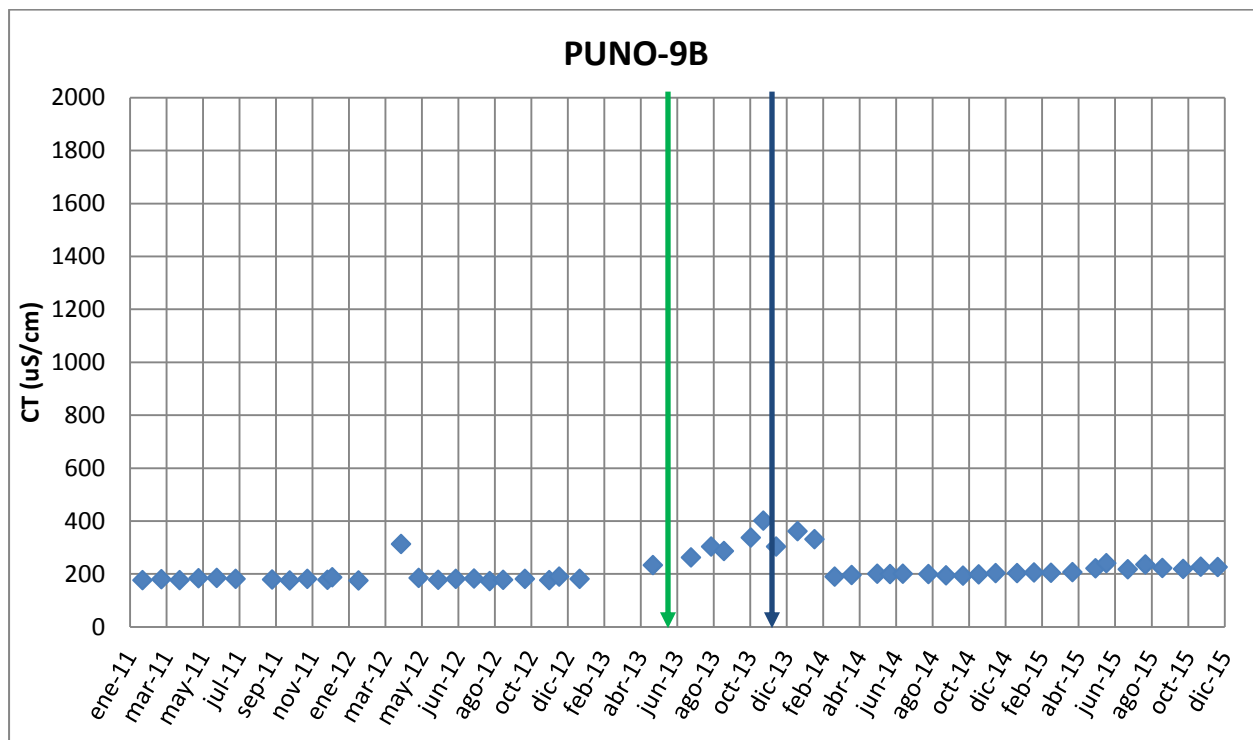
En las **Figuras 3-53, 3-54 y 3-55** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-9B.

La **Conductividad** presenta durante el periodo analizado, un comportamiento en general estable con un promedio de 215,8  $\mu\text{S/cm}$  en un rango entre 172  $\mu\text{S/cm}$  y 401  $\mu\text{S/cm}$ .

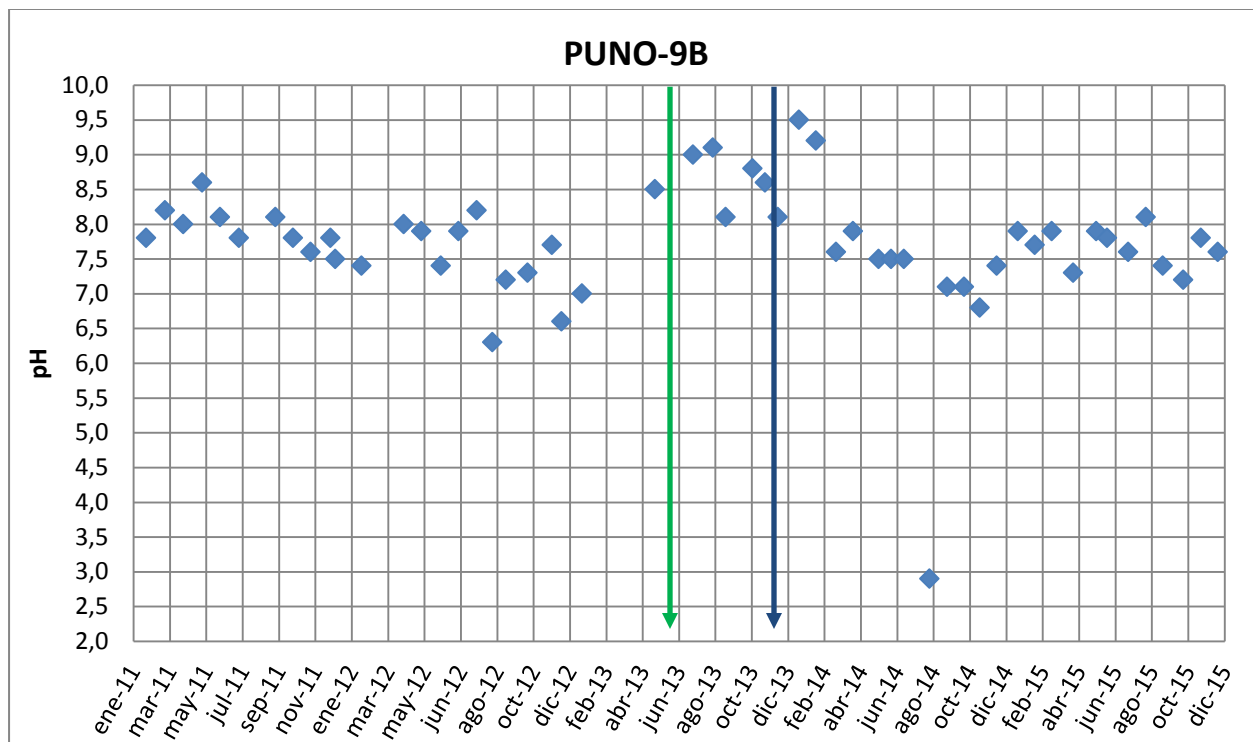
El **pH** muestra en el periodo septiembre de 2014 a diciembre de 2015 valores entre los 6,8 y los 7,9.

Los contenidos de **Sulfatos** medidos en el año 2015 se presentan alrededor de los 16,41 mg/L, con un peak de 60,5 mg/L.

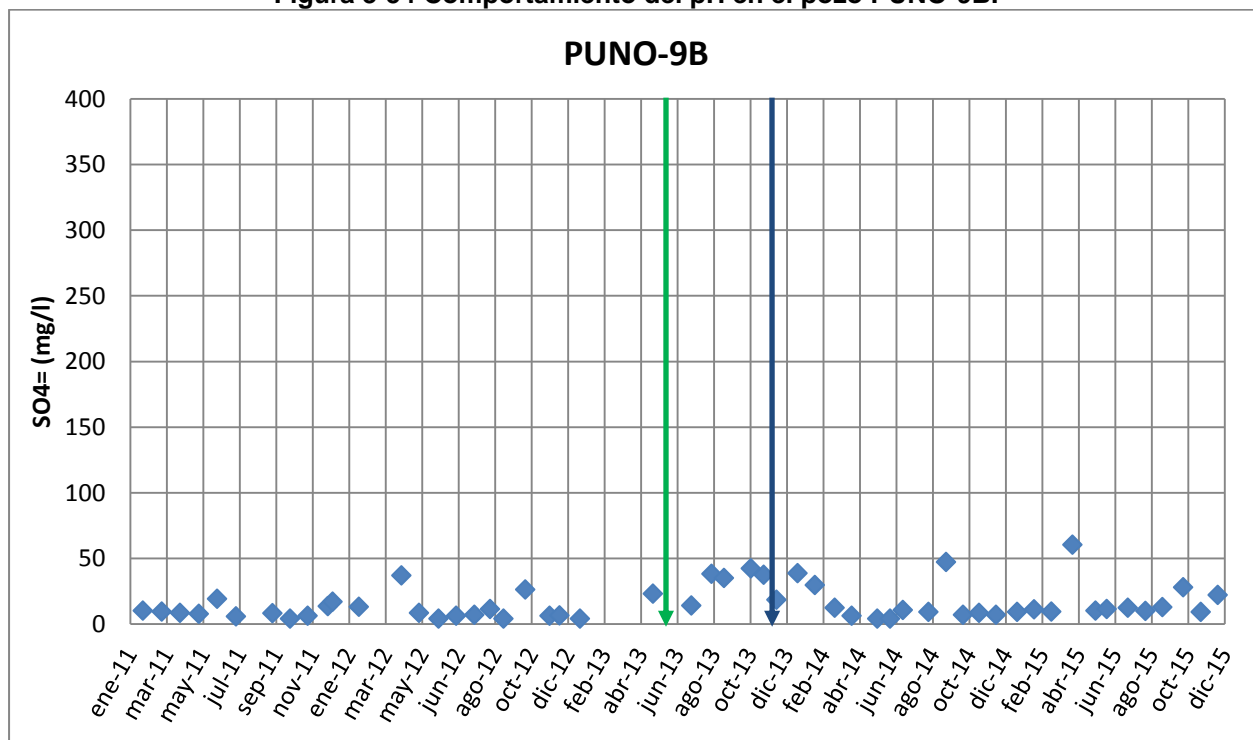
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Cloruradas/Cálcicas/Sódico**, como se observa en el diagrama de Piper y en los diagramas de Stiff. Aunque con mayor presencia de estos componentes en 2013.



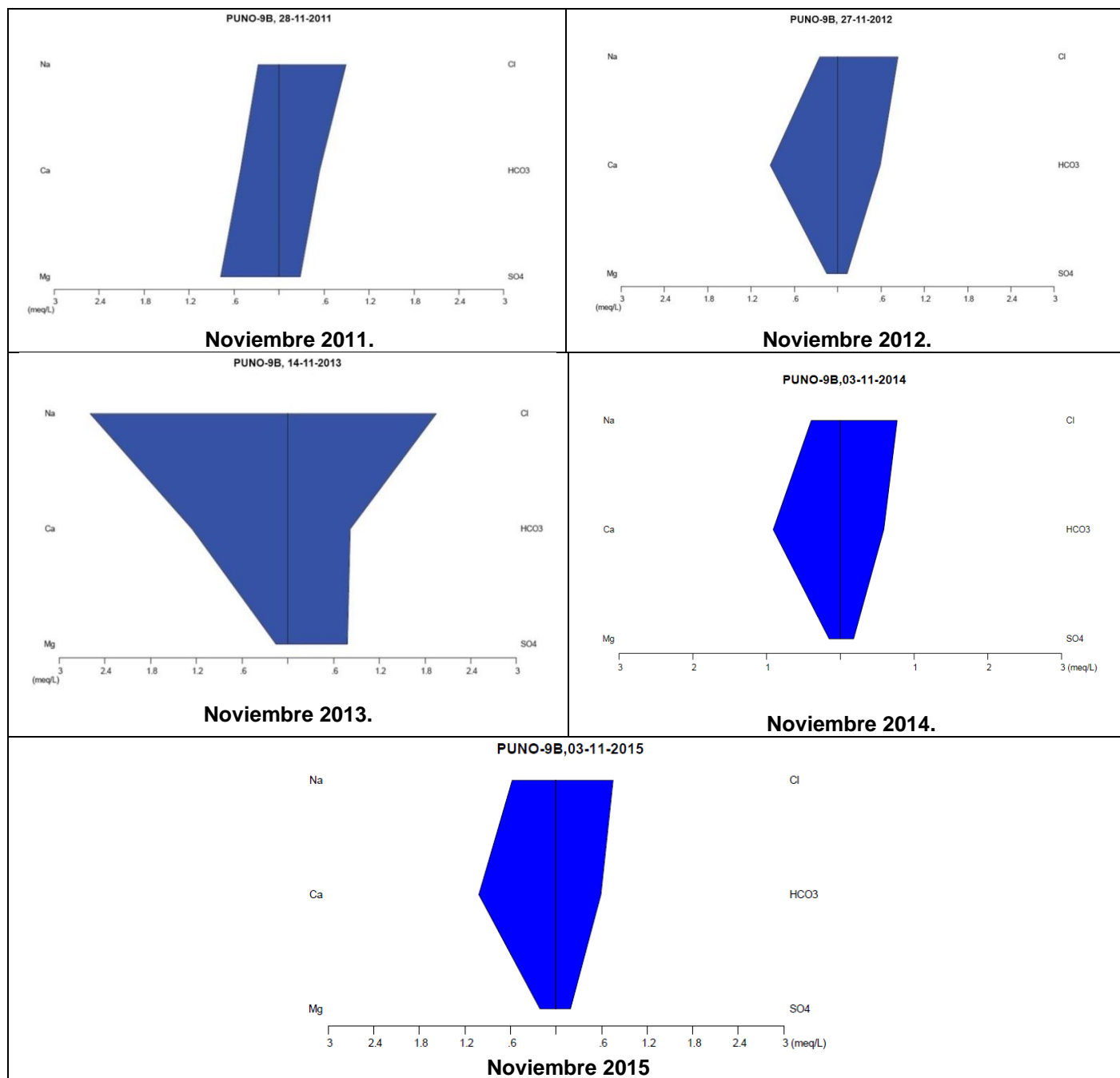
**Figura 3-53 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-9B.**



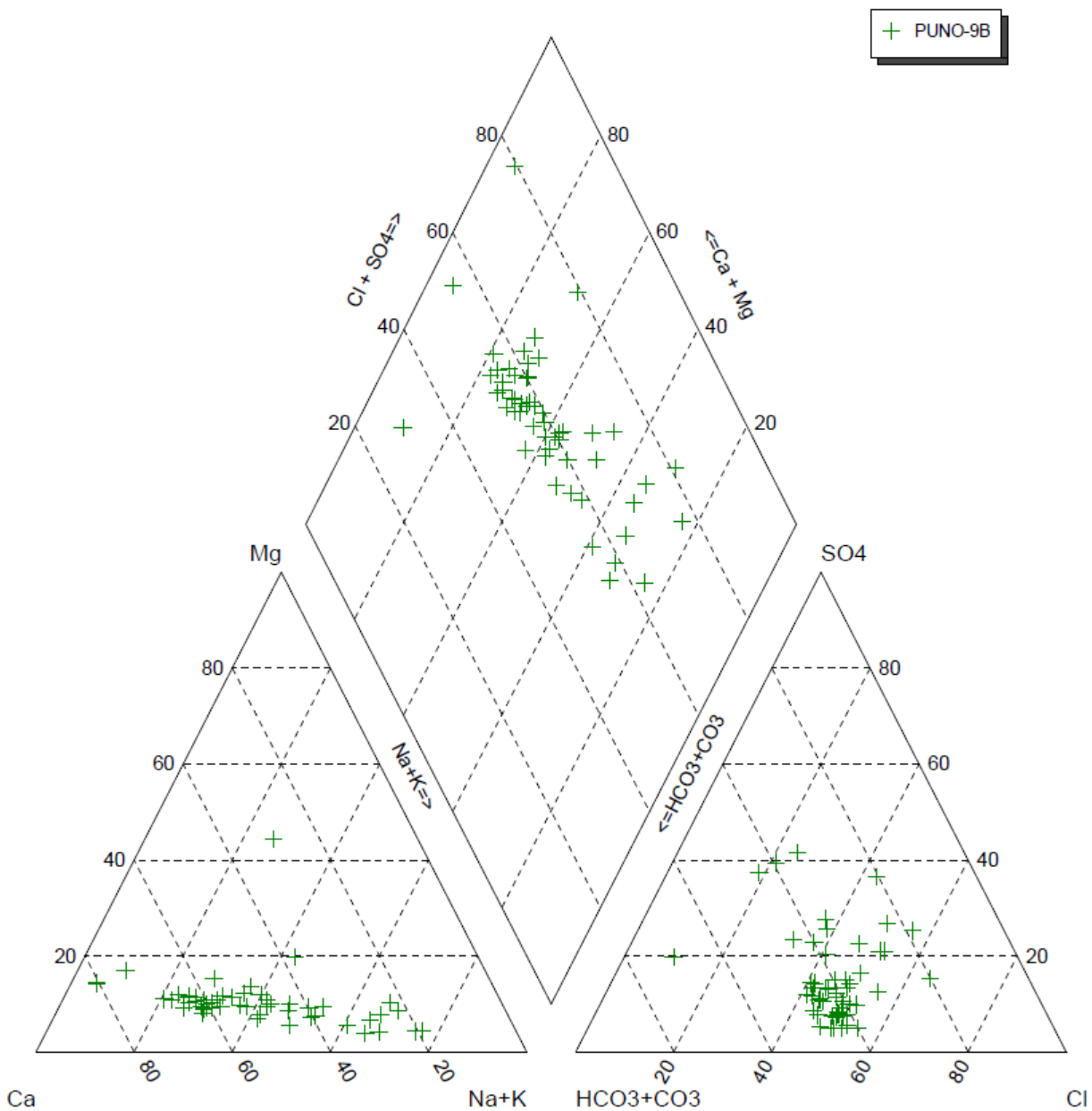
**Figura 3-54 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-9B.**



**Figura 3-55 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-9B.**



**Figura 3-56 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-9B.**



**Figura 3-57 Diagrama de Piper del pozo PUNO-9B.**

## POZO PUNO-10B

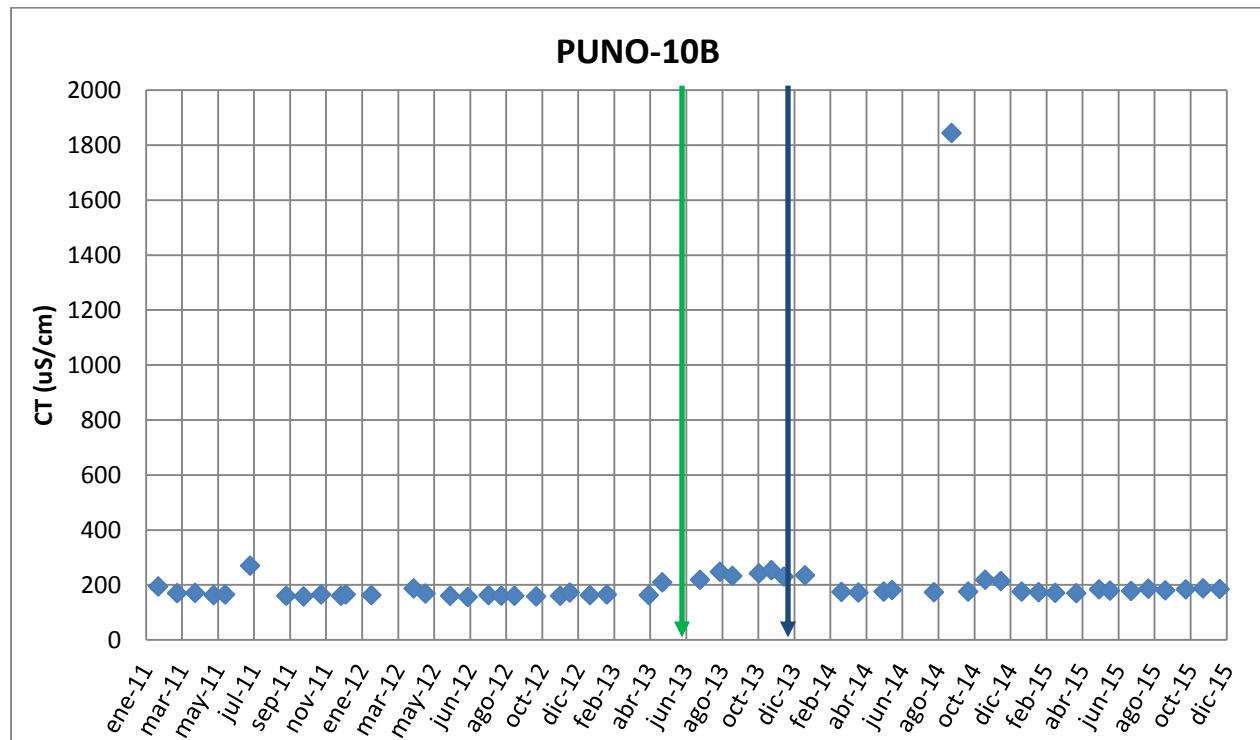
En las **Figuras 3-58, 3-59 y 3-60** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-10B.

La **Conductividad** presenta durante el periodo un comportamiento estable con un promedio de 214,5  $\mu\text{S/cm}$ , y en un rango de 156  $\mu\text{S/cm}$  y 1844  $\mu\text{S/cm}$ .

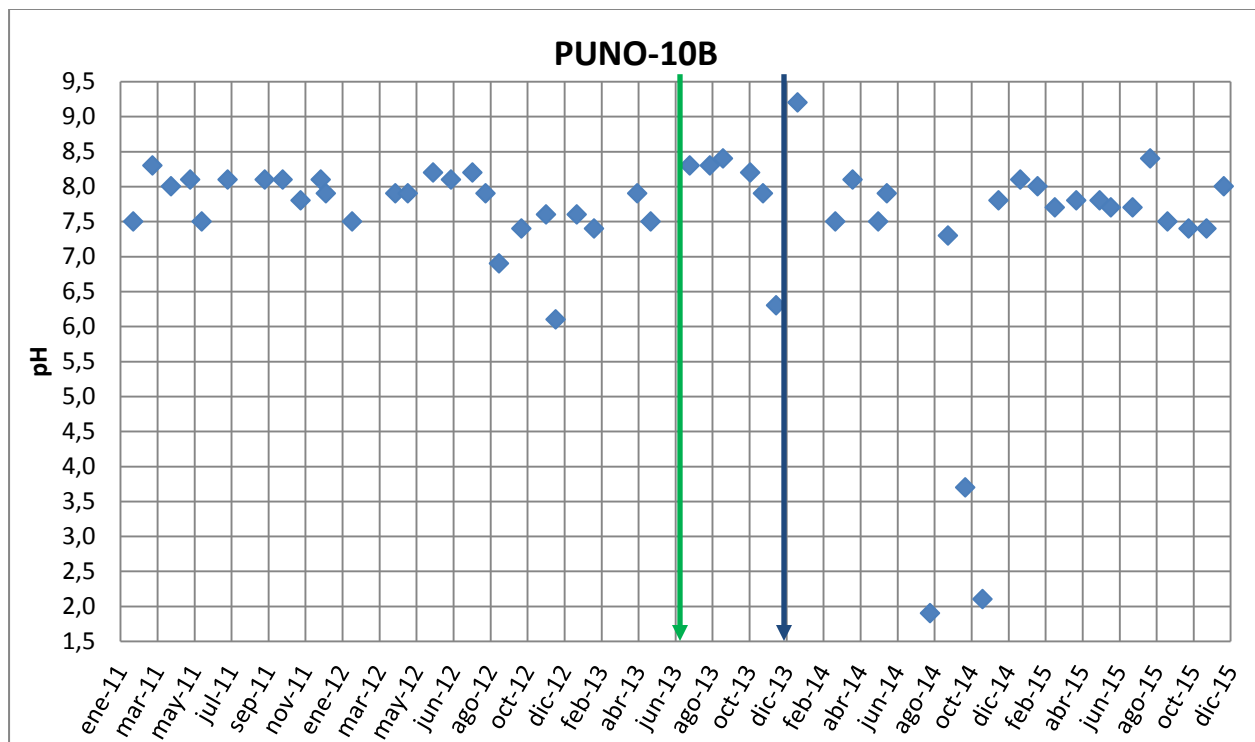
El **pH** durante los meses medidos en el año 2015 los valores se mantienen entre los 7,4 y 8,4.

Los contenidos de **Sulfatos** son bajos con un valor promedio de 18,84 mg/l.

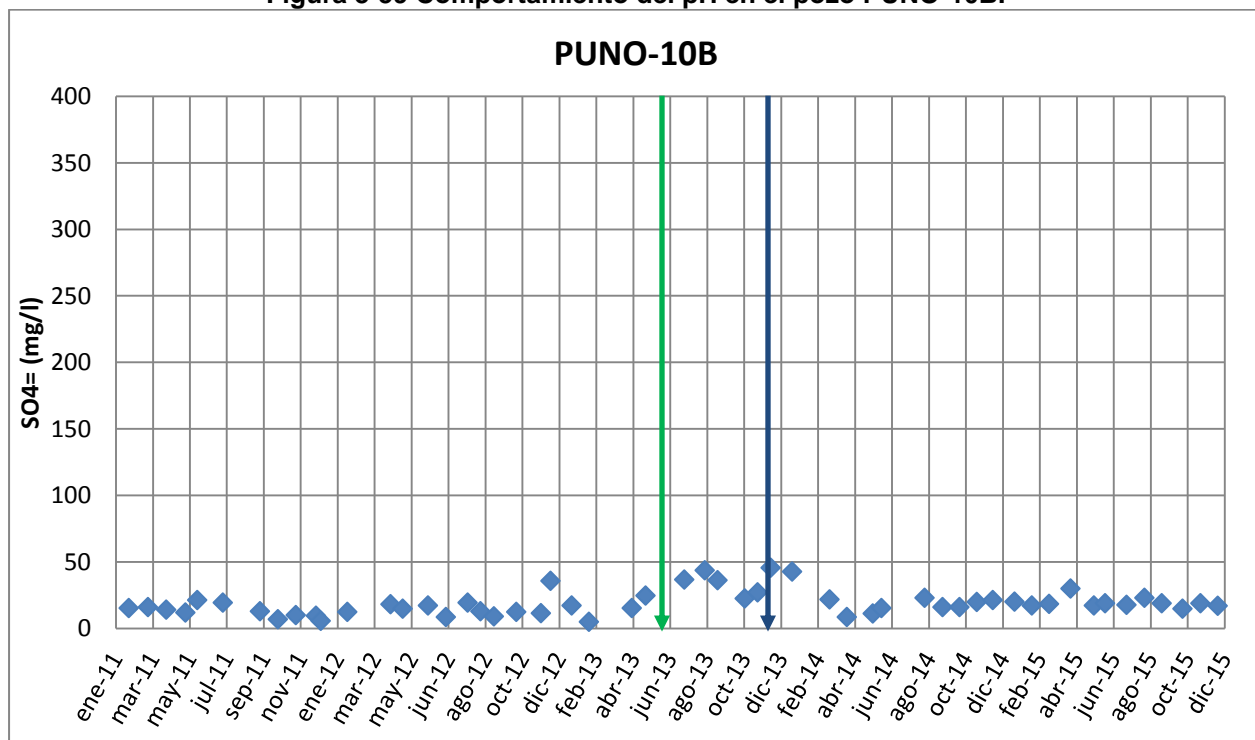
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Cálcicas/Sódicas/Carbonatadas**, como se observa en el diagrama de Piper y en los diagramas de Stiff. Presentando en noviembre 2013 el mismo tipo de agua, pero presenta mayor cantidad de Cloro y menor cantidad de Bicarbonato.



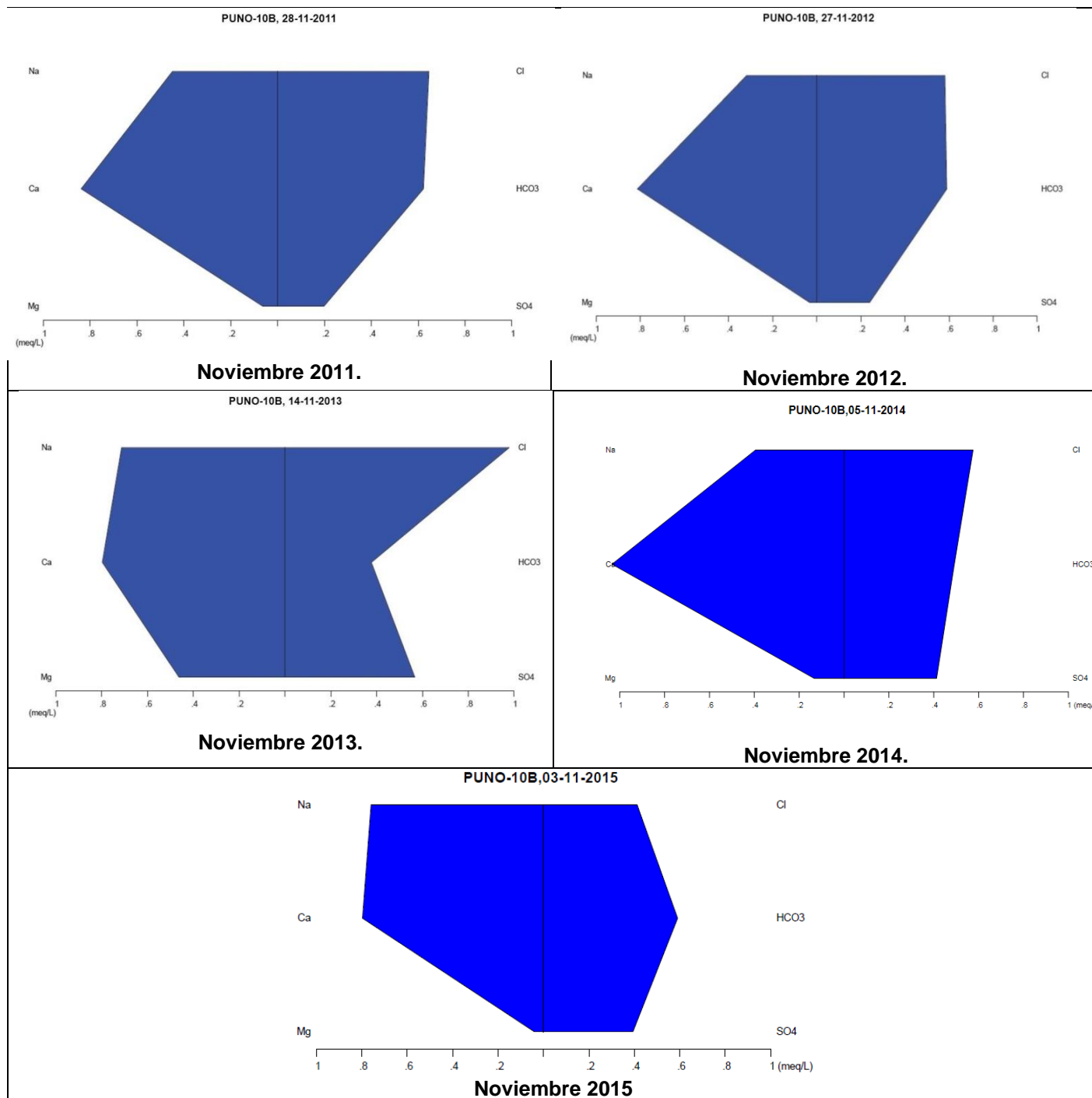
**Figura 3-58 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-10B.**



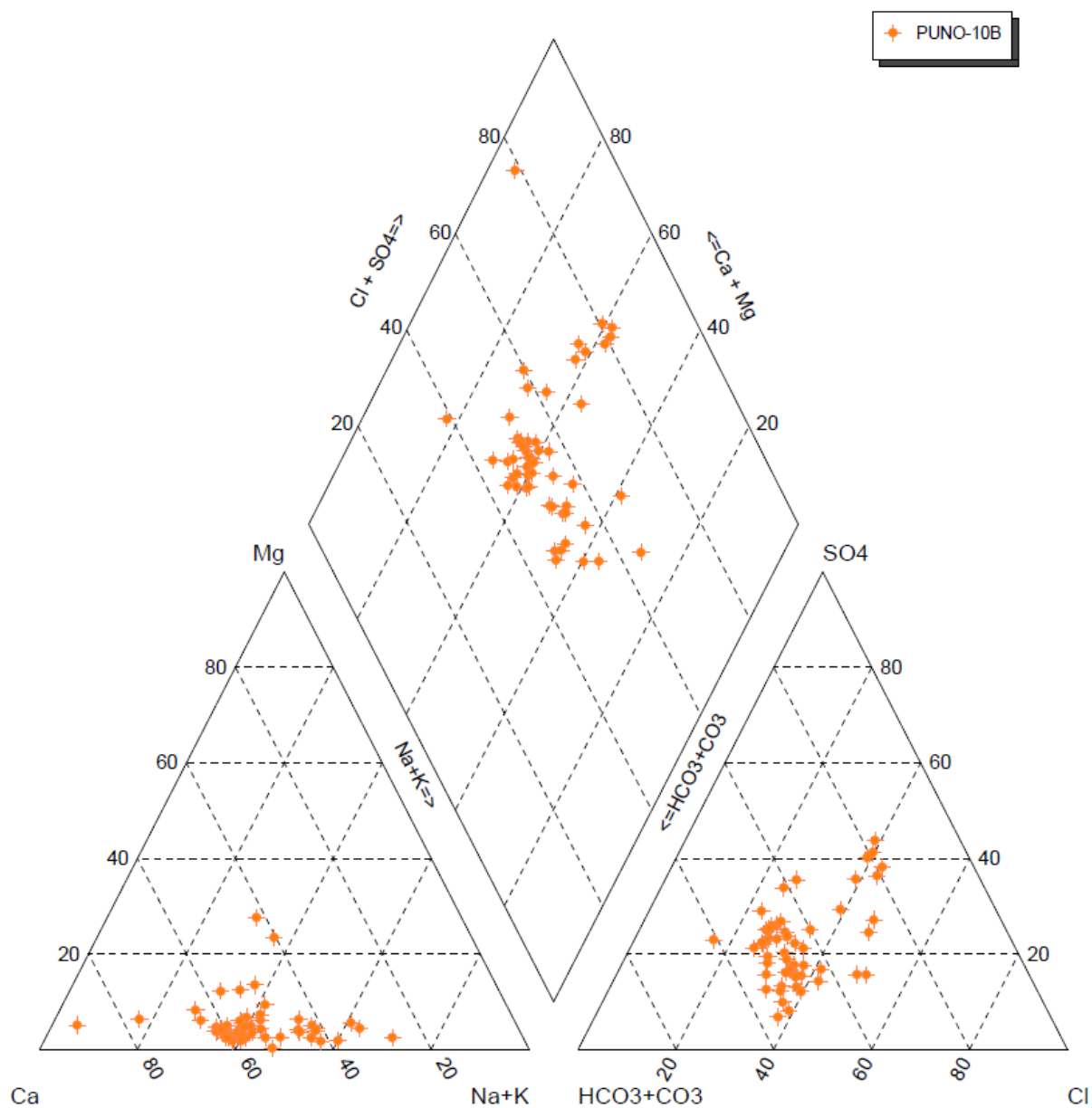
**Figura 3-59 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-10B.**



**Figura 3-60 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-10B.**



**Figura 3-61 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-10B.**



**Figura 3-62 Diagrama de Piper del pozo PUNO-10B.**

## POZO PUNO-11B

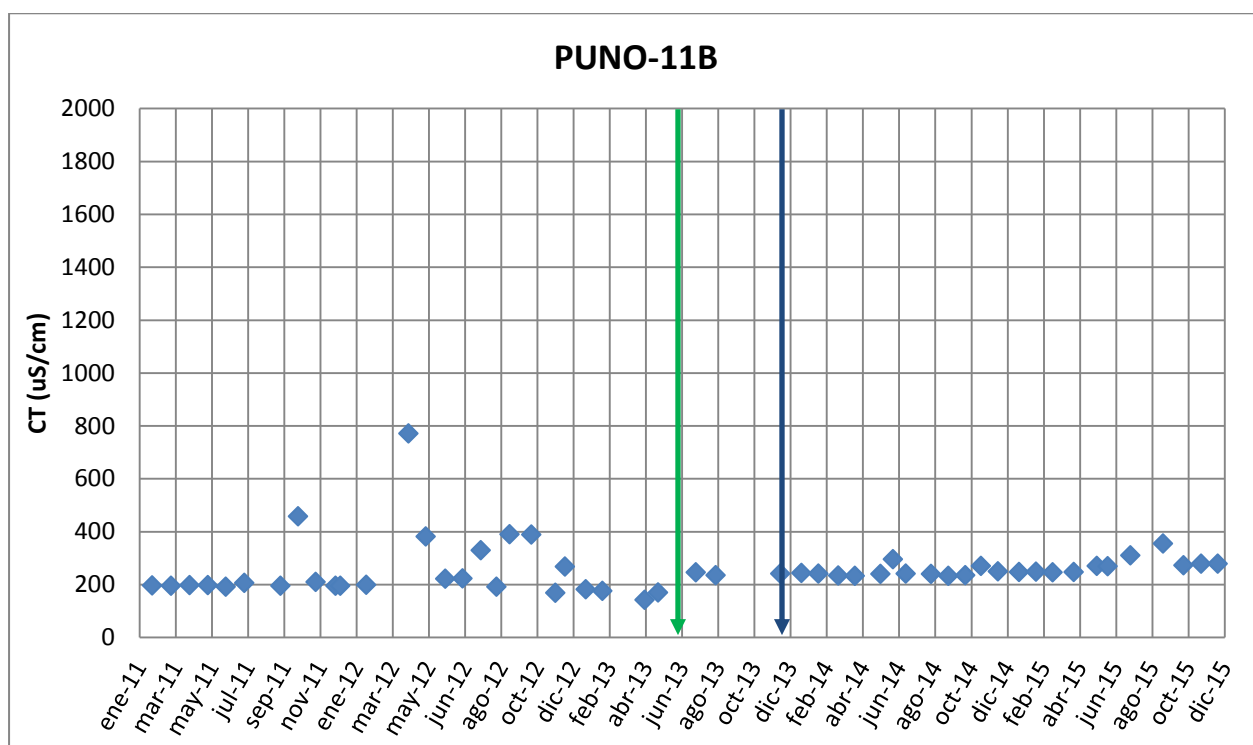
En las **Figuras 3-63, 3-64 y 3-65** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PUNO-11B.

La **Conductividad** presenta un comportamiento estable en general durante el periodo de monitoreo, con un valor promedio de 255,96  $\mu\text{S/cm}$ , en un rango entre los 141,4  $\mu\text{S/cm}$  y 771  $\mu\text{S/cm}$ .

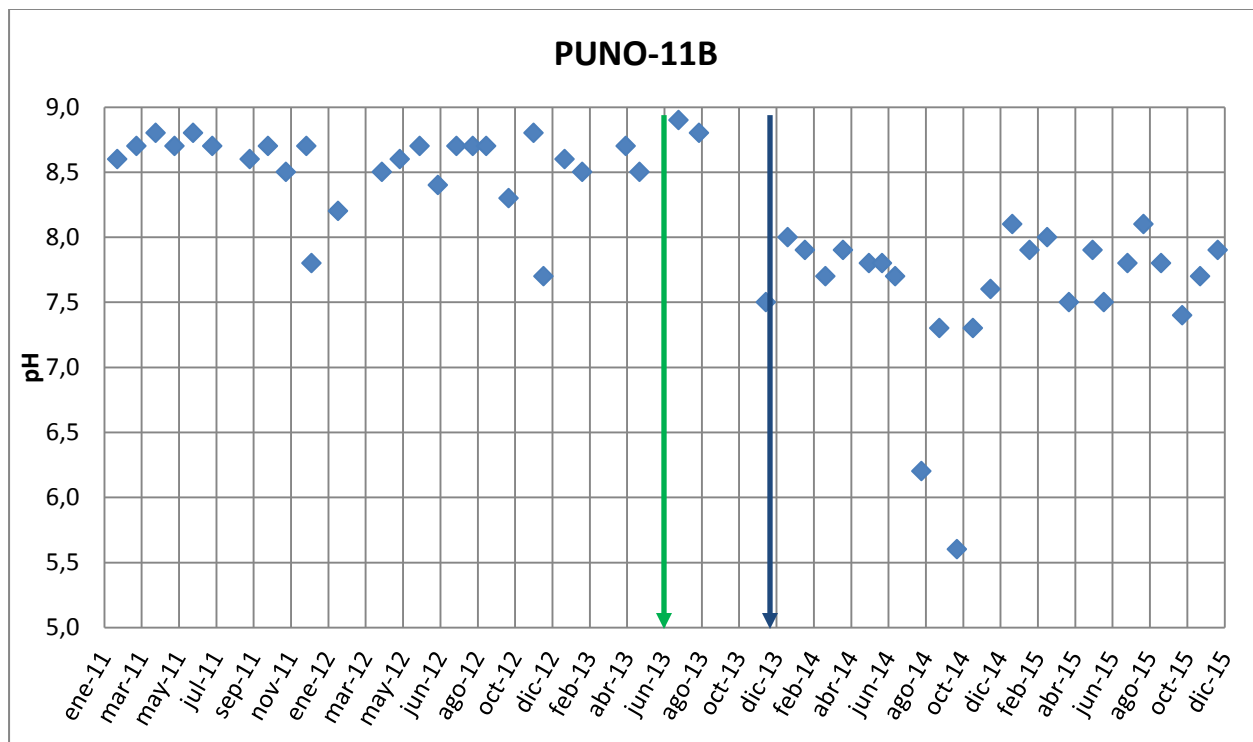
El **pH** se observa estable en general durante el periodo de monitoreo, con valores entre los 5,6 y 8,9, lo que indica aguas más básicas.

Los contenidos de **Sulfatos** se muestran estables en el periodo de monitoreo con valores entre los 9,1 mg/L y 79 mg/L durante todo el periodo analizado.

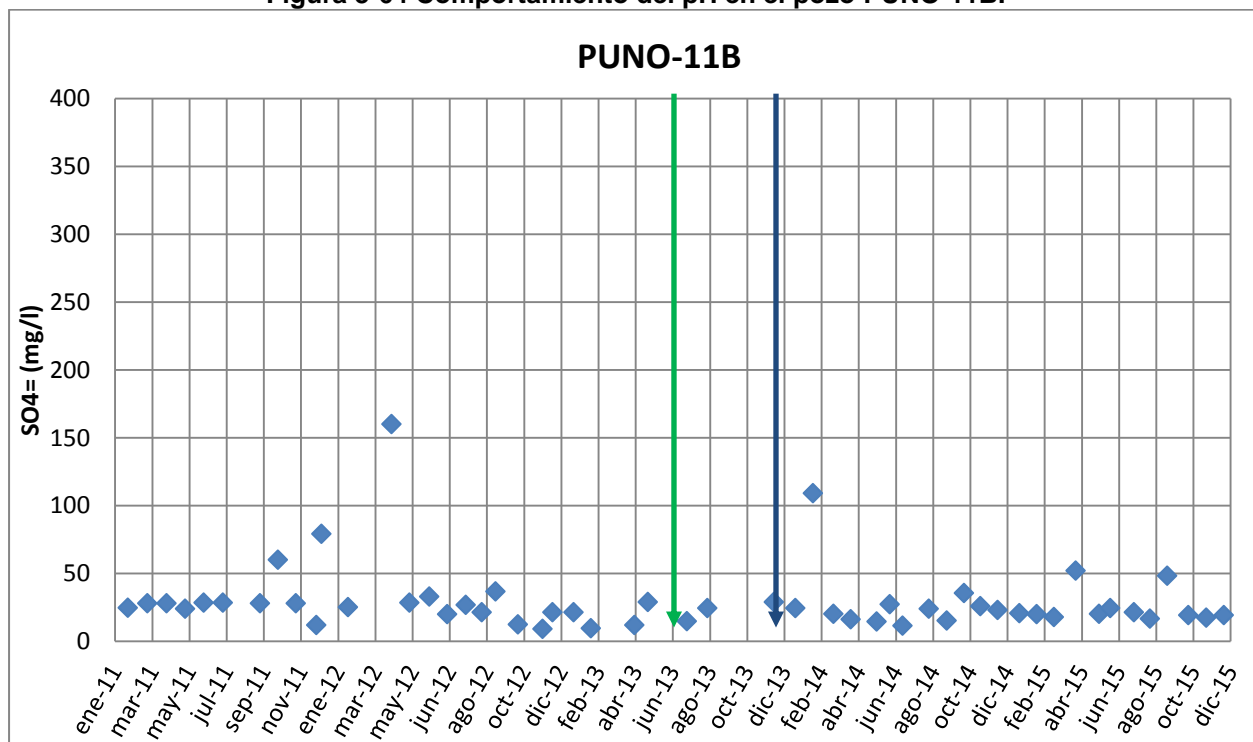
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Bicarbonatadas/Sódicas- Cálcidas**, como se observa en el diagrama de Piper y en los diagramas de Stiff. Aunque en noviembre de 2014 se presenta un mayor contenido de Calcio, se mantiene el tipo de agua, considerando que la escala de medición es muy baja. Indicar que en Noviembre 2015 aumenta el contenido de Cloro.



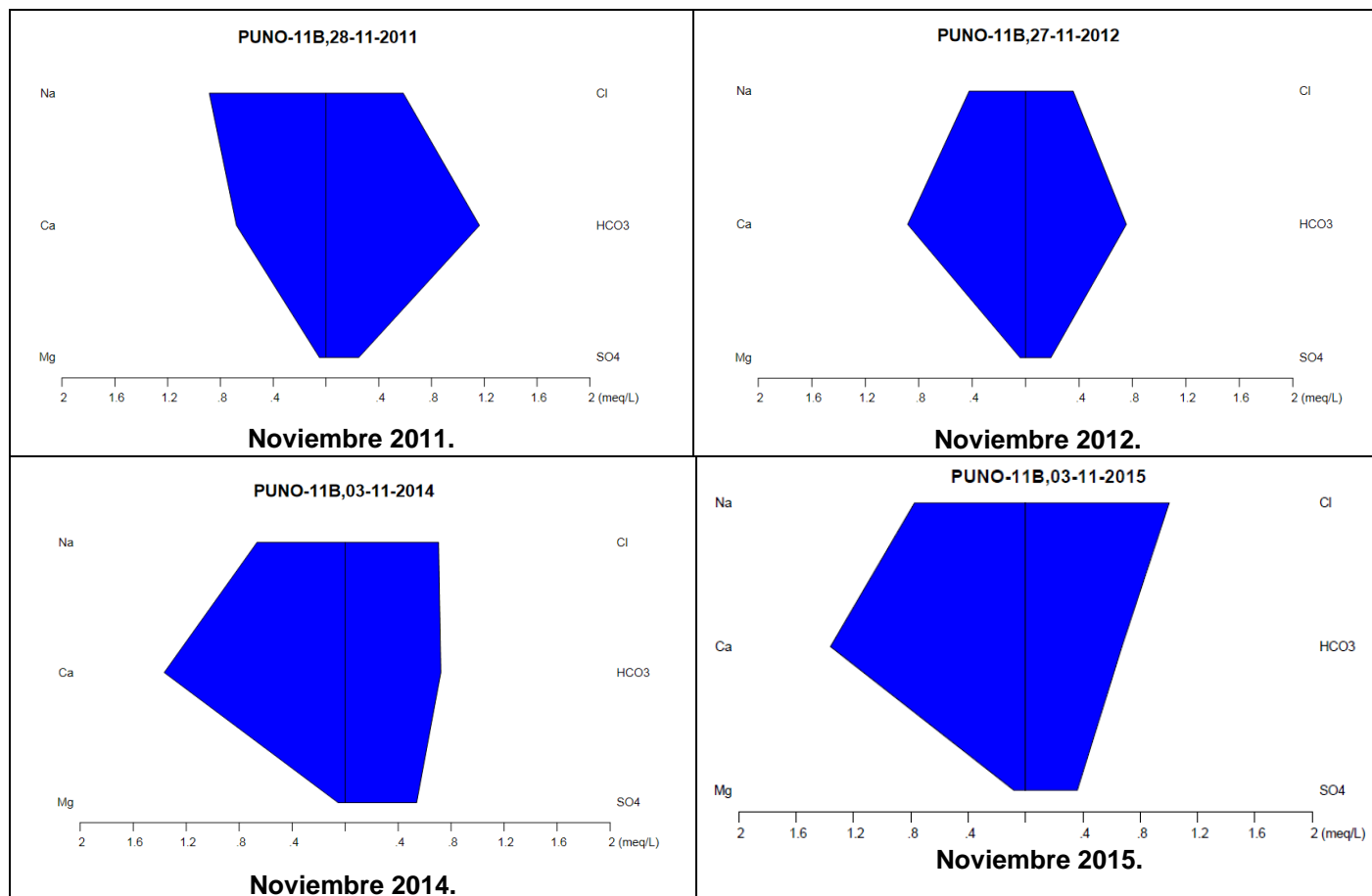
**Figura 3-63 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PUNO-11B.**



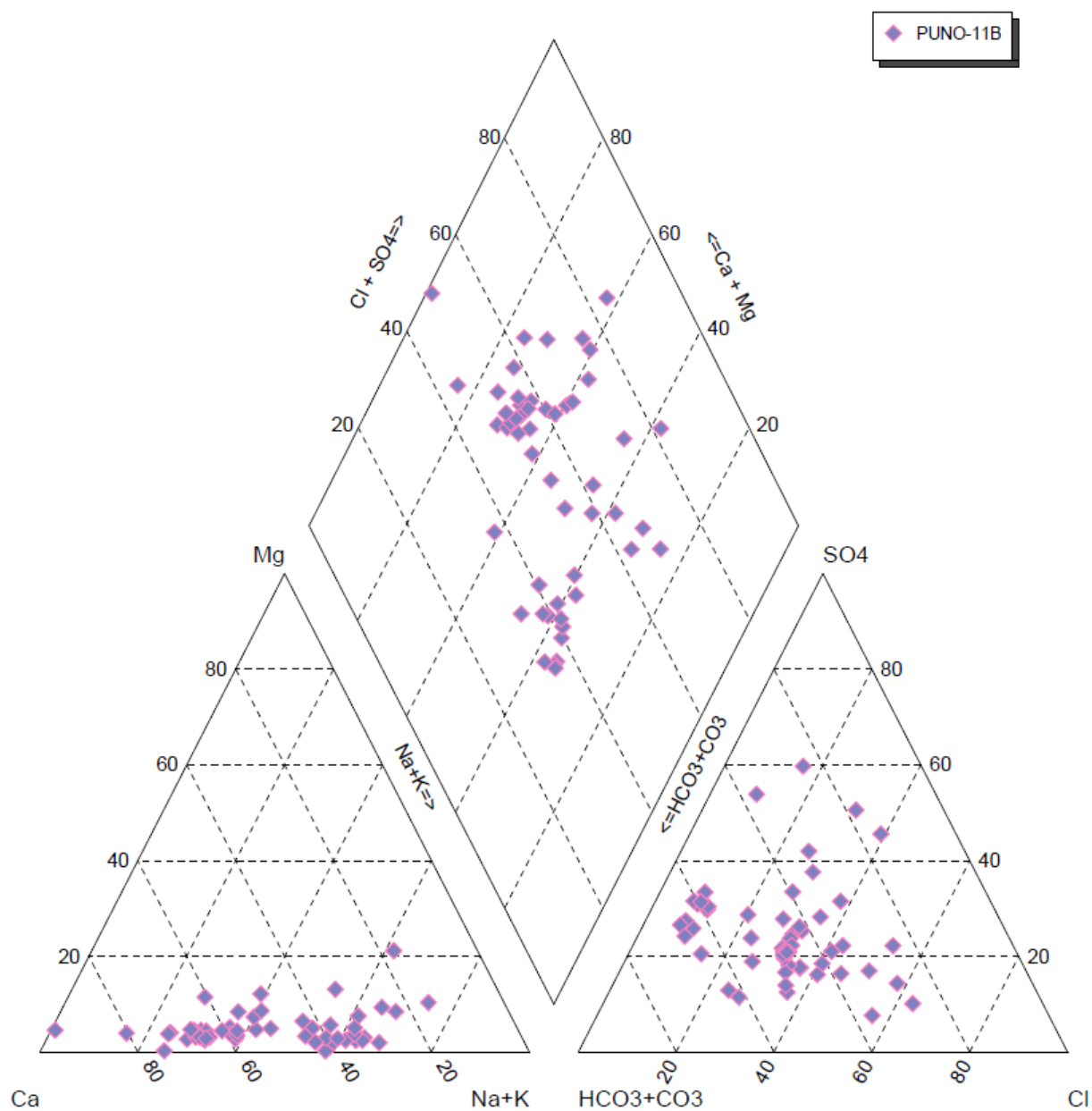
**Figura 3-64 Comportamiento del pH en el pozo PUNO-11B.**



**Figura 3-65 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PUNO-11B.**



**Figura 3-66 Diagrama de Stiff del pozo PUNO-11B.**



**Figura 3-67 Diagrama de Piper del pozo PUNO-11B.**

## POZO PIB-1

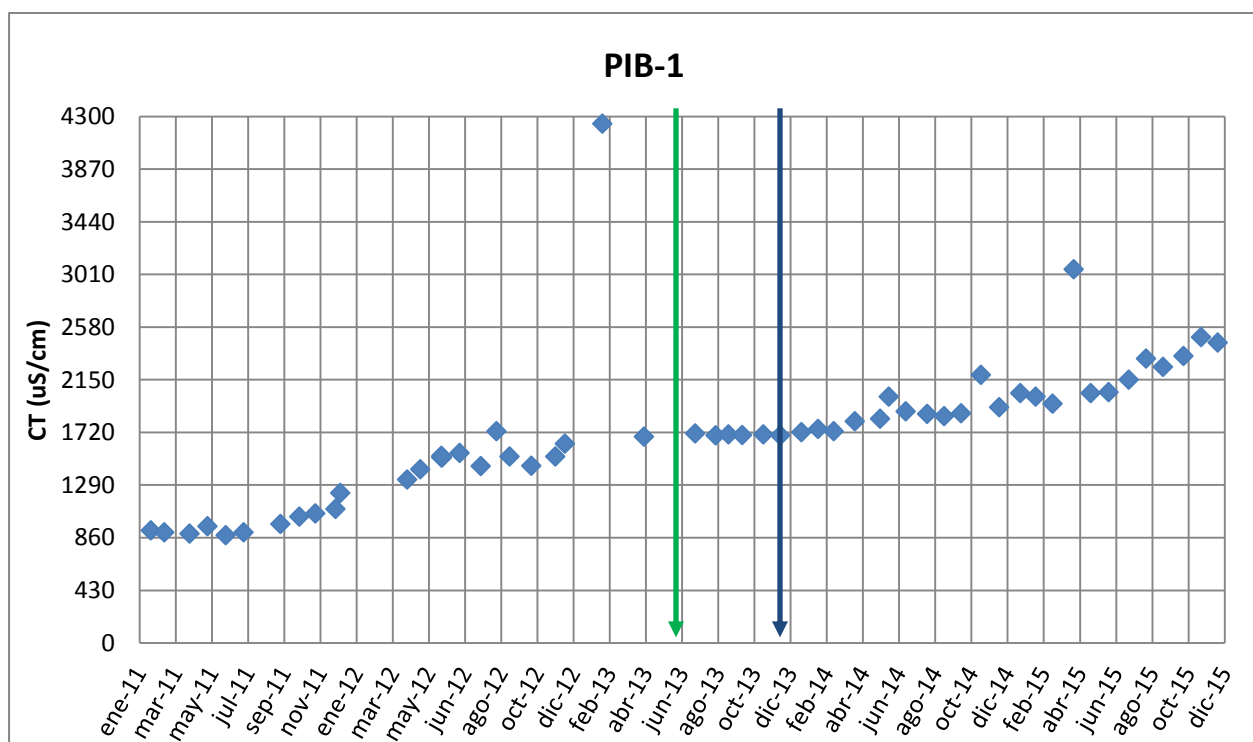
En las **Figuras 3-68, 3-69 y 3-70** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en el pozo PIB-1.

La **Conductividad** durante el periodo se presentan valores entre 879  $\mu\text{S/cm}$  y 2.496,6  $\mu\text{S/cm}$ , con un promedio registrado de 1.647  $\mu\text{S/cm}$ .

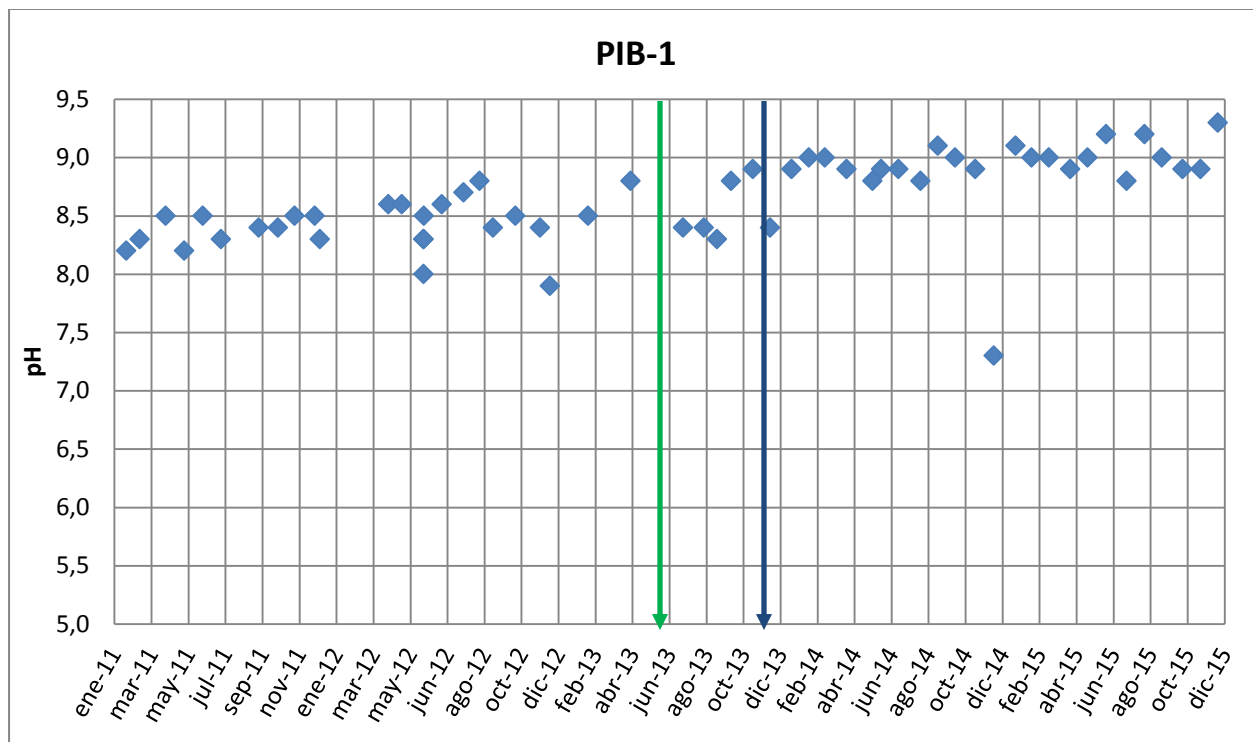
El **pH** se observa con valores en todo el periodo analizado que fluctúan entre los 7,3 y 9,3.

Por su parte, los **Sulfatos** presentan un valor promedio de 145,3 mg/l, en un rango de 73 mg/L y 283 mg/L.

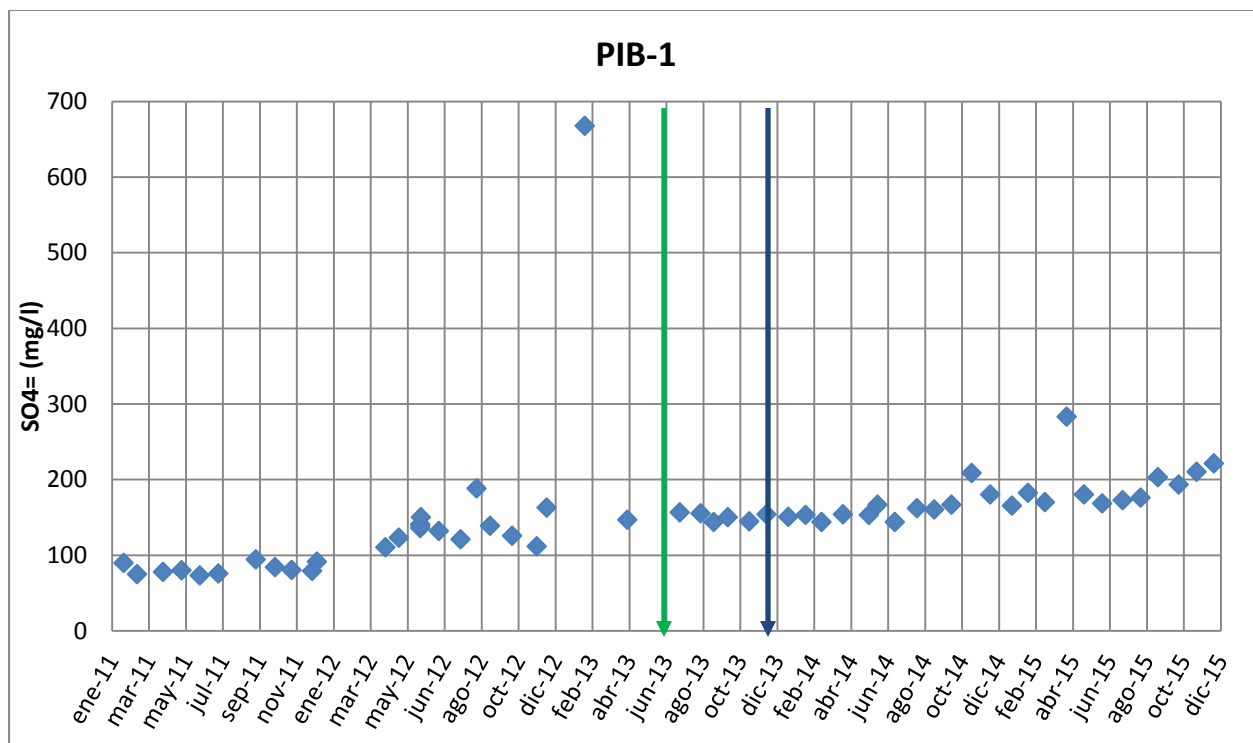
Las aguas alumbradas por este pozo corresponden a aguas **Cloruradas/Sódicas**, como se observa en el diagrama de Piper y en los diagramas de Stiff, con menor cantidad de estos elementos en noviembre de 2011.



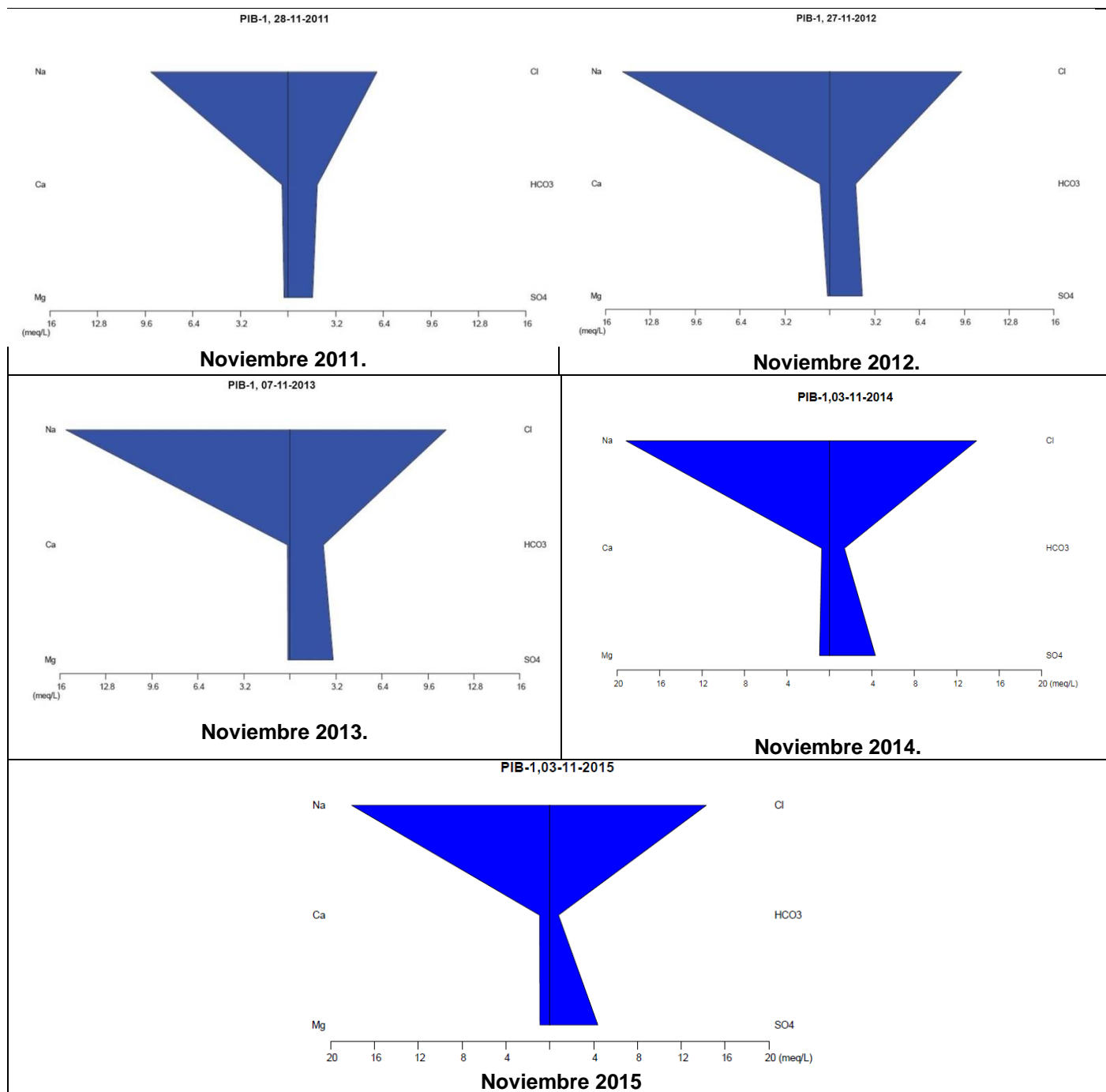
**Figura 3-68 Comportamiento de la Conductividad en el pozo PIB-1.**



**Figura 3-69 Comportamiento del pH en el pozo PIB-1.**



**Figura 3-70 Comportamiento de Sulfatos en el pozo PIB-1.**



**Figura 3-71 Diagrama de Stiff del pozo PIB-1.**

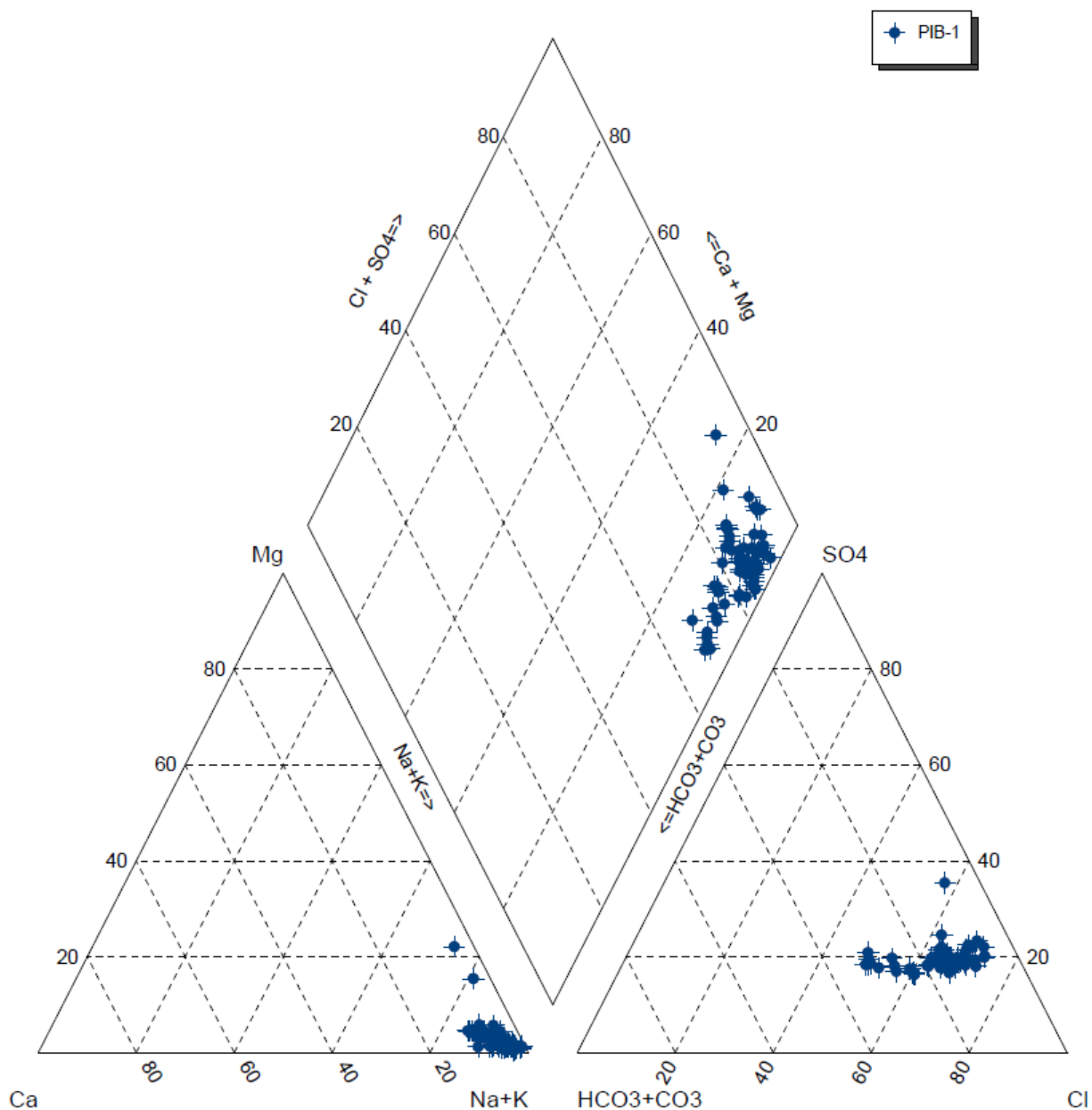


Figura 3-72 Diagrama de Piper del pozo PIB-1.

## Comportamiento de los parámetros indicadores para todos los pozos e Índice de Langelier

La siguiente tabla muestra los parámetros calculados según PAT de Pampa Puno, e incluye Índice de Langelier, Alcalinidad como mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

**Tabla 3- 3 Parámetros calculados de las aguas subterráneas.**

Pozo	Índice de Langelier (Dic de 2015)	Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) (Dic de 2015)	Índice de Langelier (Junio 2015)	Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) (Junio de 2015)	Índice de Langelier (Noviembre de 2014)	Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) (Noviembre de 2014)	Índice de Langelier (Mayo de 2014)	Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) (Mayo de 2014)	Índice de Langelier (Noviembre de 2013)	Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) (Noviembre de 2013)
PUNO-2B	-0,60	46,07	-0,9	41,97	-0,91	44,43	-0,73	45,25	-0,9	48,53
PUNO-314B	-2,19	25,57	-1,25	24,75	-5,39	12,19	-0,73	26,39	-1,13	34,58
PUNO-4B	-1,30	41,97	-1,1	41,15	-2,18	42,79	-1,24	41,97	-0,22	109,23
PUNO-6B	-0,92	53,45	-0,79	55,10	-6,3	11,66	-1,24	54,28	-1,23	55,91
PUNO-7B	-0,62	46,07	-0,71	43,61	-1,11	45,25	-0,71	46,07	-0,9****	50,17
PUNO-8B	-0,79	48,53	-0,08	55,10	-6,33	11,23	-0,71	87,91	-0,8	92,82
PUNO-9B	-1,54	40,33	-1,31	40,33	-2,29	37,87	-1,56	38,69	-0,3	49,35
PUNO-10B	-1,27	40,33	-1,46	36,23	-7,23	22,41	-1,68	39,51	-1,47	27,2
PUNO-11B	-1,06	45,25	-1,54	40,33	-1,47	44,43	-1,68	44,43	-0,24***	28,02
PIB -1	0,22	66,09	-0,06	97,20	-0,04	98,89	-0,26	106,2	-0,57	124,82

\*Octubre de 2012

\*\* Junio de 2011 última fecha de medición

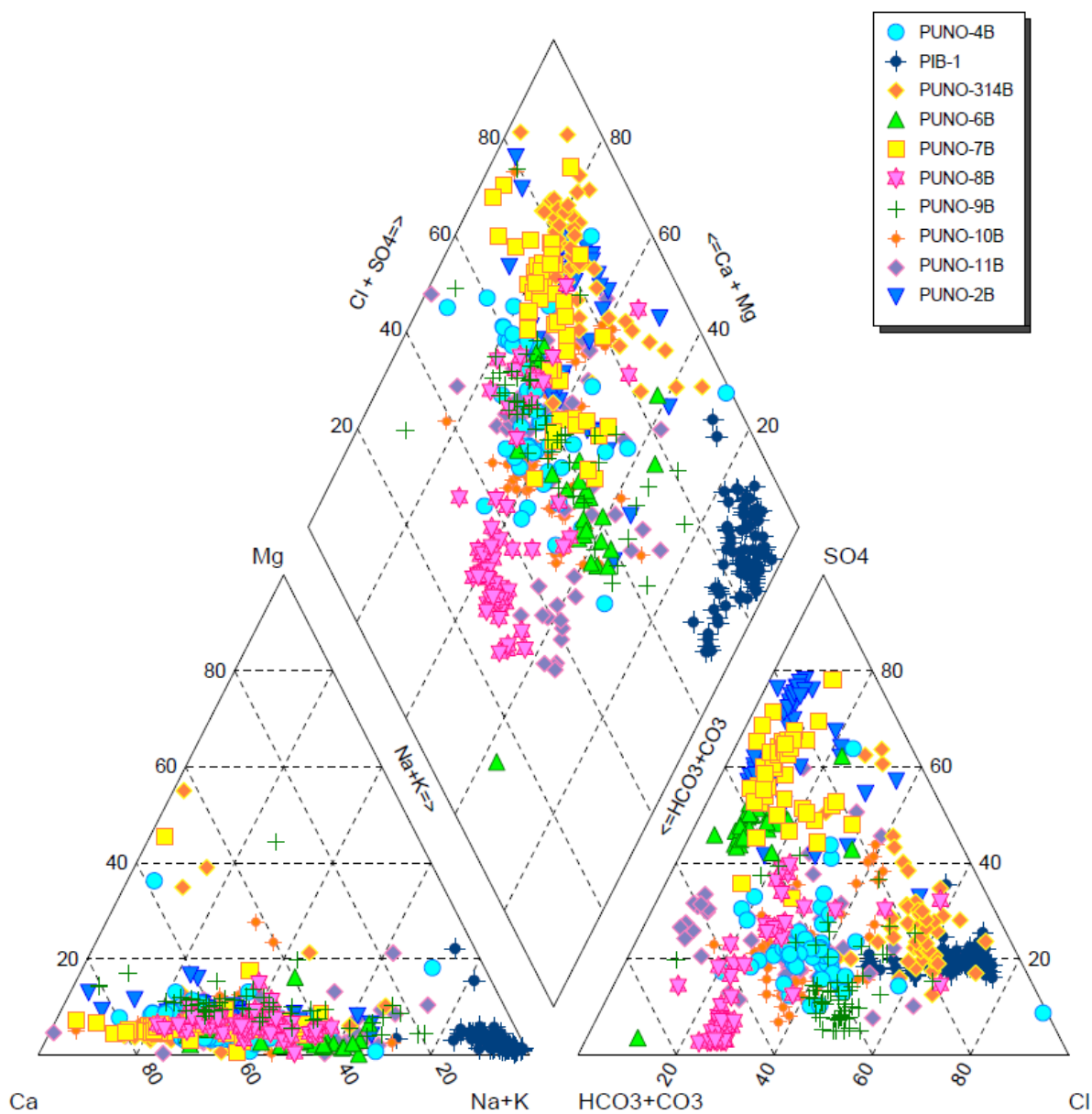
\*\*\* Agosto de 2013

\*\*\*\* Octubre de 2013

**Tabla 3-4: Interpretación del Índice de Langelier.**

Valor	Interpretación
menor a -2	Severa Corrosión
entre -0.5 y -2	Leve Corrosión pero no forma incrustaciones a alta escala
entre -0.5 y 0.5	Balanceado pero posible Corrosión
0.5 y 2	Leve Incrustación y Corrosividad
más que 2	Incrustaciones pero No Corrosivo

Fuente: Software AquaChem, Schlumberger Water Services 2012.V1



**Figura 3-73 Diagrama de Piper sector Pampa Puno y Pitausa-Yocas.**

## 4. VEGA SAPUNTA

### 4.1 Aspectos Generales

A continuación se presenta el seguimiento efectuado en la Vega Sapunta, correspondiente a:

- Niveles de Agua
- Calidad del agua Subterránea

En la **Tabla Nº 4.1** se presenta el período estadístico analizado en términos de niveles y características físico química de los puntos monitoreados en la Vega Sapunta.

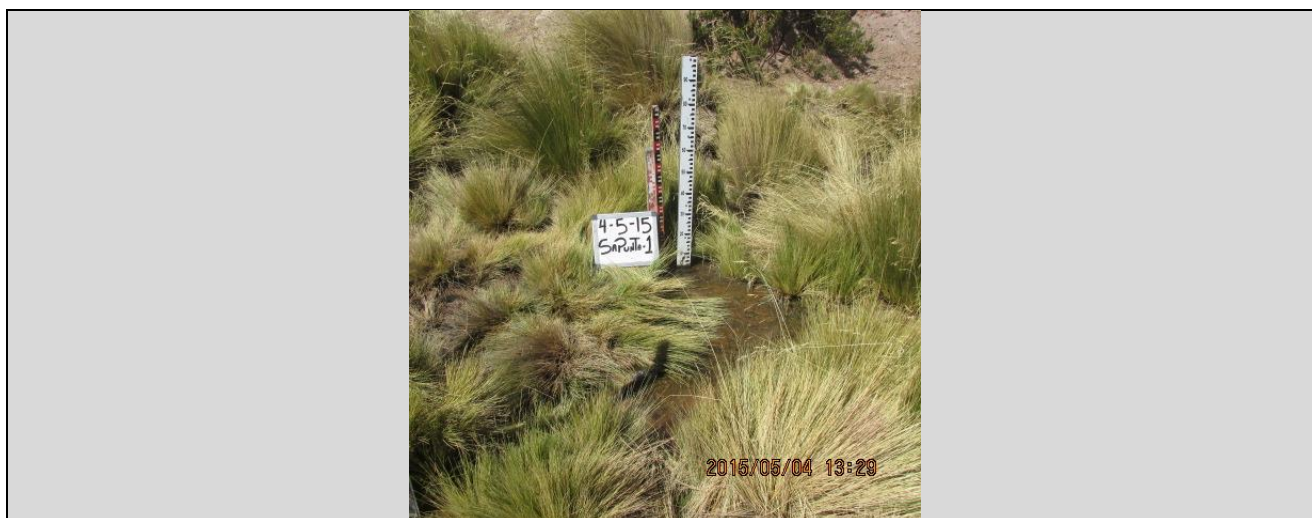
Se presentan fotografías tomadas en febrero de 2011 en las pozas que se monitorean en Vega Sapunta, correspondientes a las estaciones SAPUNTA-1 y SAPUNTA-2. En ellas se observan las reglas graduadas utilizadas en la medición de niveles. En la **Figura Nº 4.1** se muestra la ubicación de los puntos monitoreados en Vega Sapunta.

**Tabla 4- 1 Período estadístico de variables analizadas en vega Sapunta.**

Pozo	Este (UTM)	Norte (UTM)	Período Estadístico de Niveles		Período Estadístico Características Físico Químicas	
LIMNSAP-1 (SAPUNTA-1)	523538	7645187	Ene-11	Dic- 15	Ene-11	Dic- 15
LIMNSAP-2 (SAPUNTA-2)	524005	7645195	Ene-11	Dic- 15	Ene-11	Dic- 15
PSAP-1	523530	7645179	Ene-11	Dic- 15	No Aplica	No Aplica
PSAP-2	523468	7645129	Ene-11	Dic- 15	No Aplica	No Aplica
PSAP-3	523285	7644990	Ene-11	Dic- 15	No Aplica	No Aplica

**DATUM WGS84 19S**

**No Aplica, significa que no se realiza la medición de esa variable en el pozo.**



Fotografía de estación SAPUNTA-1, ubicada en poza de vega Sapunta, Mayo 2015.



Fotografía de estación SAPUNTA-2, ubicada en poza de vega Sapunta, Mayo 2015.



**Figura 4-1 Ubicación estaciones monitoreadas en Vega Sapunta.**

## 4.2 Niveles de Agua Subterránea

Para el análisis del comportamiento de niveles en las pozas y piezómetros se han graficado la serie de mediciones correspondientes al período de enero 2011 a diciembre de 2015, además se incluye el umbral de descensos máximos permitidos establecido en la RCA para las pozas y piezómetros.

Según la Resolución DGA N° 682/2013, el umbral de afección para los piezómetros PSAP-1; PSAP-2; y PSAP-3 es de 25 cm medido desde la cota de la profundidad promedio en metros que corresponde a 1,81 m; 2,09 m; y 2,83 m respectivamente.

Este umbral fue medido en base a la data del periodo marzo 2010 y enero 2013. Cabe indicar que en el presente informe el umbral de afección se presenta en m.s.n.m. que fueron traducidos en base a la cota de terreno para cada piezómetro, y que es representado en las Figuras N° 4.6; Figura N° 4.7 y Figura N° 4.8 con una línea horizontal morada trazada para todo el periodo.

Según la Resolución DGA N° 682/2013, se considera afección si durante la fase de operación los niveles de agua en alguno de los referidos tres piezómetros descienden 25 cm durante tres meses consecutivos con respecto a la profundidad promedio.

Cabe tener presente, que las mediciones de nivel se efectúan desde el extremo superior de la regleta hasta el nivel del agua en las pozas.

En el **ANEXO E**, se adjunta la serie del último período analizado con niveles en las pozas y piezómetros de Vega Sapunta.

Los gráficos presentes en este capítulo, presentan una línea vertical de color verde (junio 2013) que indica el inicio del bombeo preliminar o de pruebas hidráulicas y la de color azul el inicio del bombeo productivo (diciembre 2013).

## ESTACIÓN SAPUNTA-1 (LIMNSAP-1)

En la **Figura N° 4-2** se presentan los registros de niveles del agua en la estación SAPUNTA-1 (LIMNSAP-1).

El umbral de afectación para esta poza, de acuerdo a la RCA del proyecto se determina por el promedio de los datos entregados más la desviación estándar.

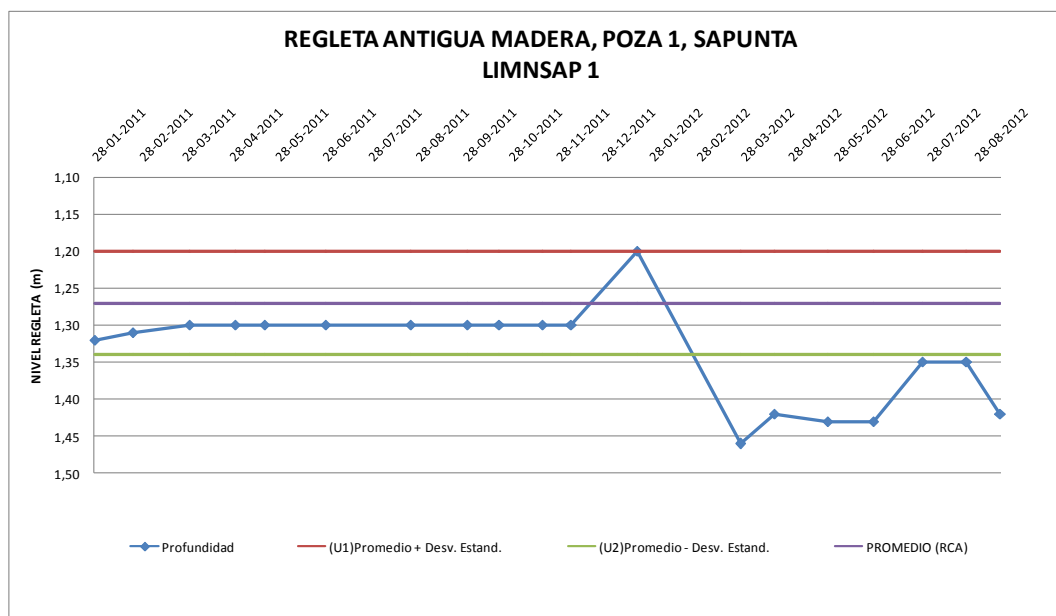
Por ello para la poza LIMNSAP-1, que históricamente ha sido medida desde su borde superior (cero de referencia), corresponde al Umbral 1, identificado en la tabla N° 4-2, con un valor de 1,34 m.

**Tabla 4- 2 Umbral de afección de pozas de acuerdo a RCA N° 2603/2005.**

ESTADISTICO	Sapunta 1	Sapunta 2
PROMEDIO	1,26	1,41
MAXIMO	1,48	2,00
DESV. ESTANDART	0,07	0,37
<i>PROMEDIO + DESV. EST. (UMBRAL 1)</i>	<b>1,33</b>	<b>1,78</b>
<i>PROMEDIO - DESV. EST. (UMBRAL 2)</i>	<b>1,19</b>	<b>1,04</b>

El comportamiento descrito por el nivel de agua de esta poza se presenta por separado, ya que a fines del año 2012 las regletas se deterioraron producto de las condiciones climáticas, por lo que fueron cambiadas por regletas de acero graduadas en el mes de junio del 2013.

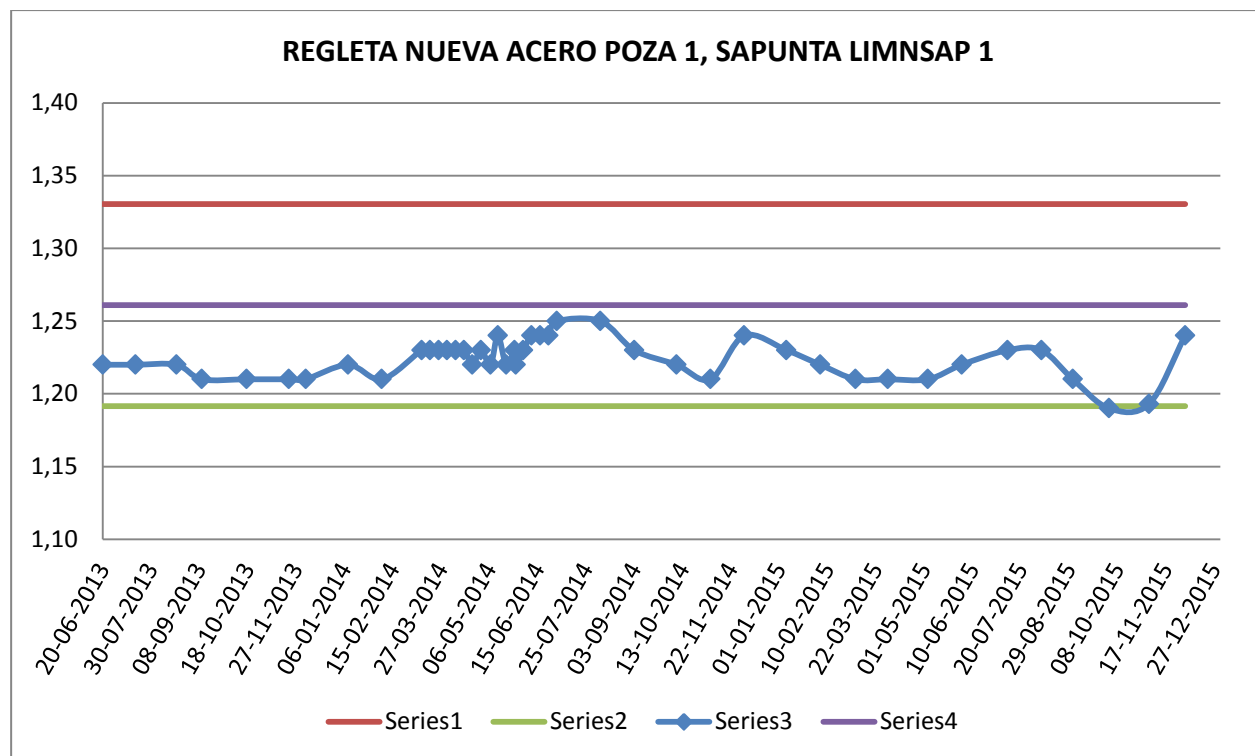
En el cambio de regletas, se procedió a establecer un nivel de referencia topográfico para hacer las lecturas comparables. Para una mejor lectura se decidió realizar la medición directa con el cero de referencia en el borde inferior, por ello que los gráficos se presentan invertidos y en el caso del umbral, por corresponder a la desviación estándar en vez de ser sumada se restó al promedio indicado, generando el umbral 2.



**Figura 4-2 Comportamiento nivel de agua en Poza 1, enero 2011- septiembre 2012.**

En la **Figura N° 4-3**, se presentan los niveles de agua de la Poza Sapunta 1, medidos con la regleta nueva.

Cabe señalar, que el umbral de afección de esta poza es el Umbral 2, de 1,20 m.

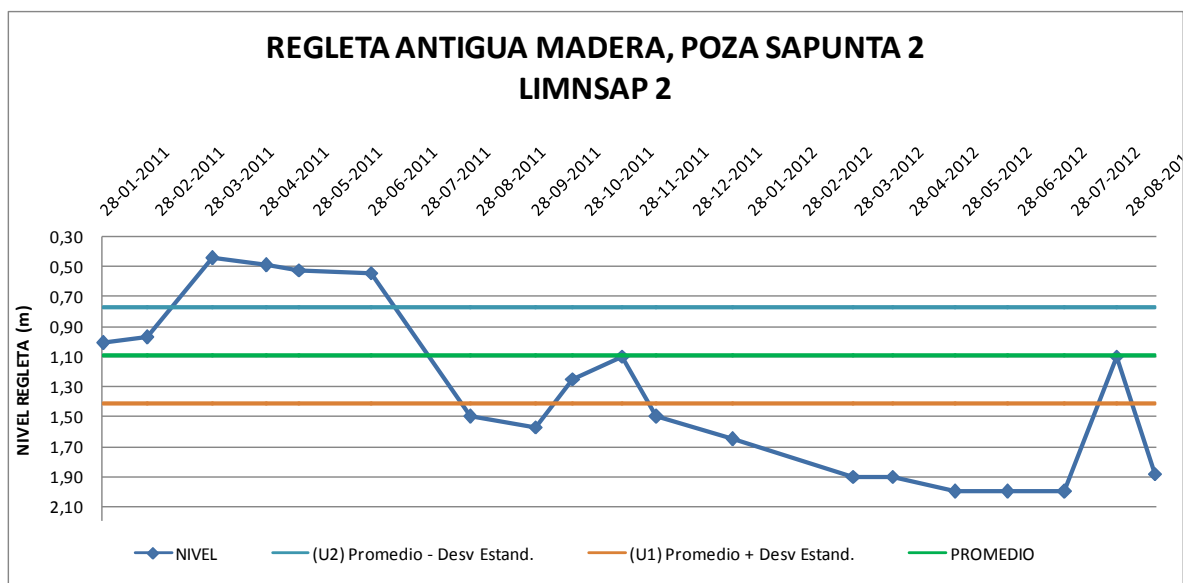


**Figura 4-3 Comportamiento nivel de agua en Poza 1, junio 2013- diciembre 2015.**

## ESTACIÓN SAPUNTA-2 (LIMNSAP-2)

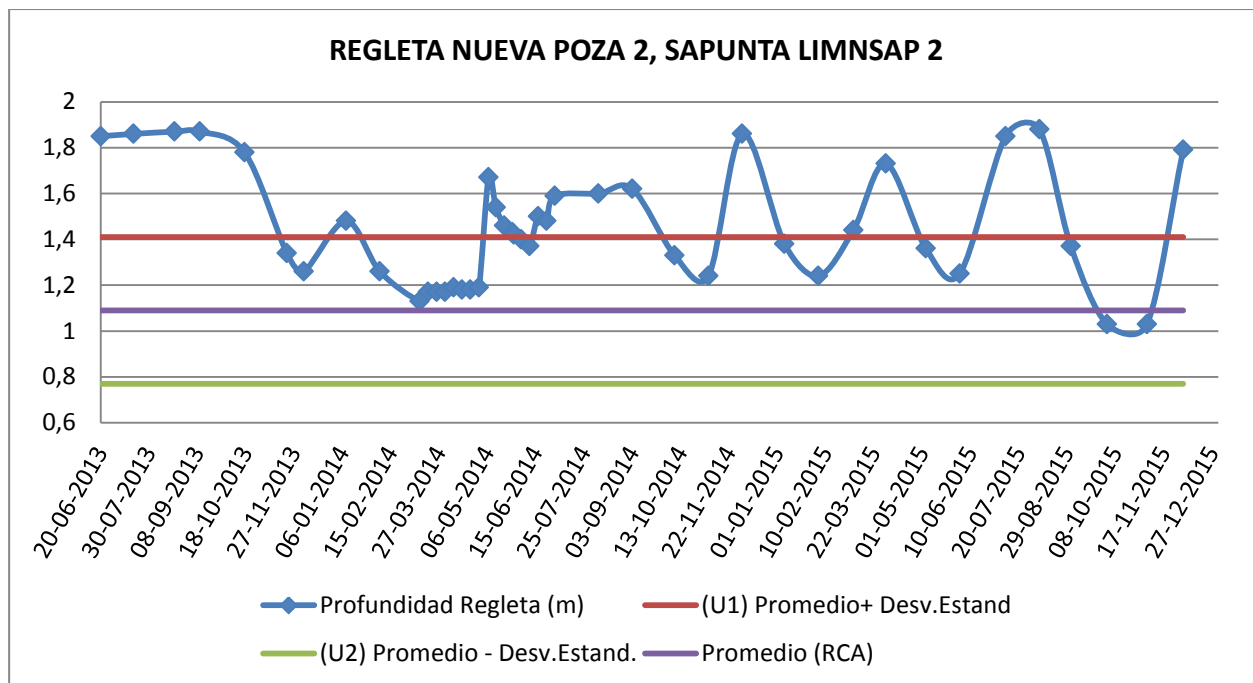
En la **Figura N° 4-4** se presentan los registros en el tiempo de los niveles de agua en la estación SAPUNTA-2 (LIMNSAP-2).

El umbral de afectación para este pozo establecido por la DGA es de 1,41 m (Umbral 1).



**Figura 4-4 Comportamiento nivel de agua en Poza SAPUNTA-2, enero 2011- septiembre 2012.**

Luego del cambio de regleta (junio 2013), se presenta en la **Figura N° 4-5**, como umbral de afección el Umbral 2, con un valor de 0,77 m.

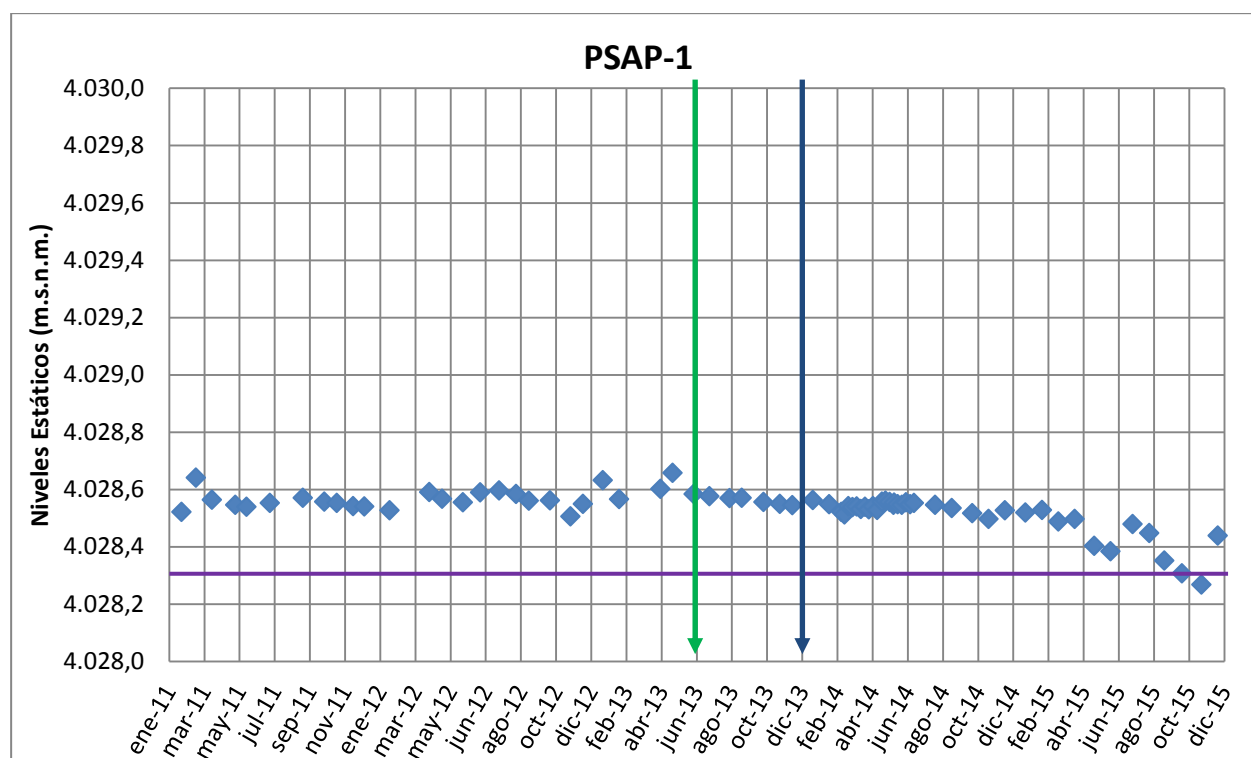


**Figura 4-5 Comportamiento de niveles en poza SAPUNTA-2, junio 2013 a diciembre 2015.**

## PIEZOMETRO PSAP-1

En la **Figura N° 4-6** se presentan los registros en el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 de los niveles de agua en el piezómetro PSAP-1.

Según la Resolución DGA N° 682, el umbral de afección para la poza PSAP-1 es de 25 cm medido desde la profundidad promedio en metros que corresponde a 1,81 m y que traducidos a cota da un valor de 4028,55 m.s.n.m., Presentándose entonces un valor **umbral de 4028,3 m.s.n.m.**, y el cual es representado en la Figura N° 4-6 con la línea morado.

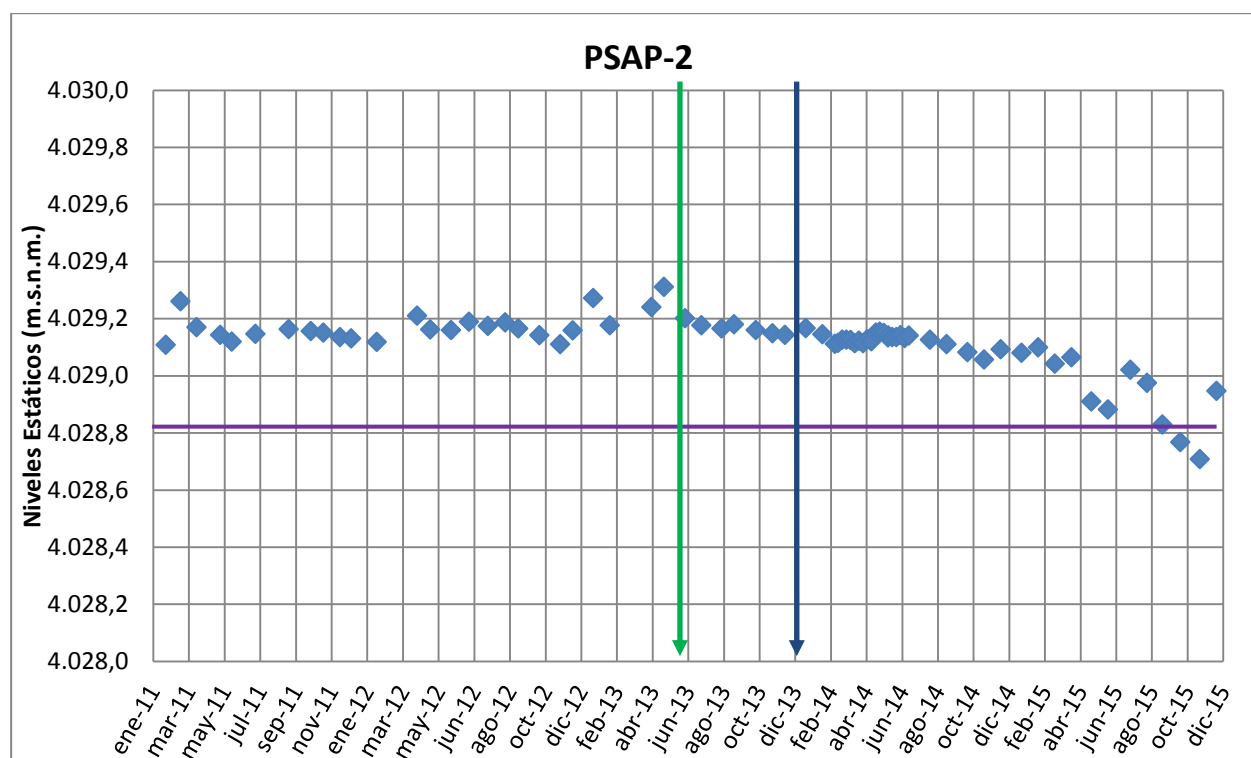


**Figura 4-6 Comportamiento de niveles de las aguas en piezómetro PSAP-1.**

## PIEZOMETRO PSAP-2

En la **Figura N° 4-7** se presentan los registros en el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 de los niveles en el piezómetro PSAP-2.

Según la Resolución DGA N° 682, el umbral de afección para la poza PSAP-2 es de 25 cm medido desde la profundidad promedio en metros que corresponde a 2,09 m y que traducidos a cota da un valor de 4029,1 m.s.n.m., Presentándose entonces un valor **umbral de 4028,8 m.s.n.m.**, y el cual es representado en la Figura N° 4-7 con la línea morada.

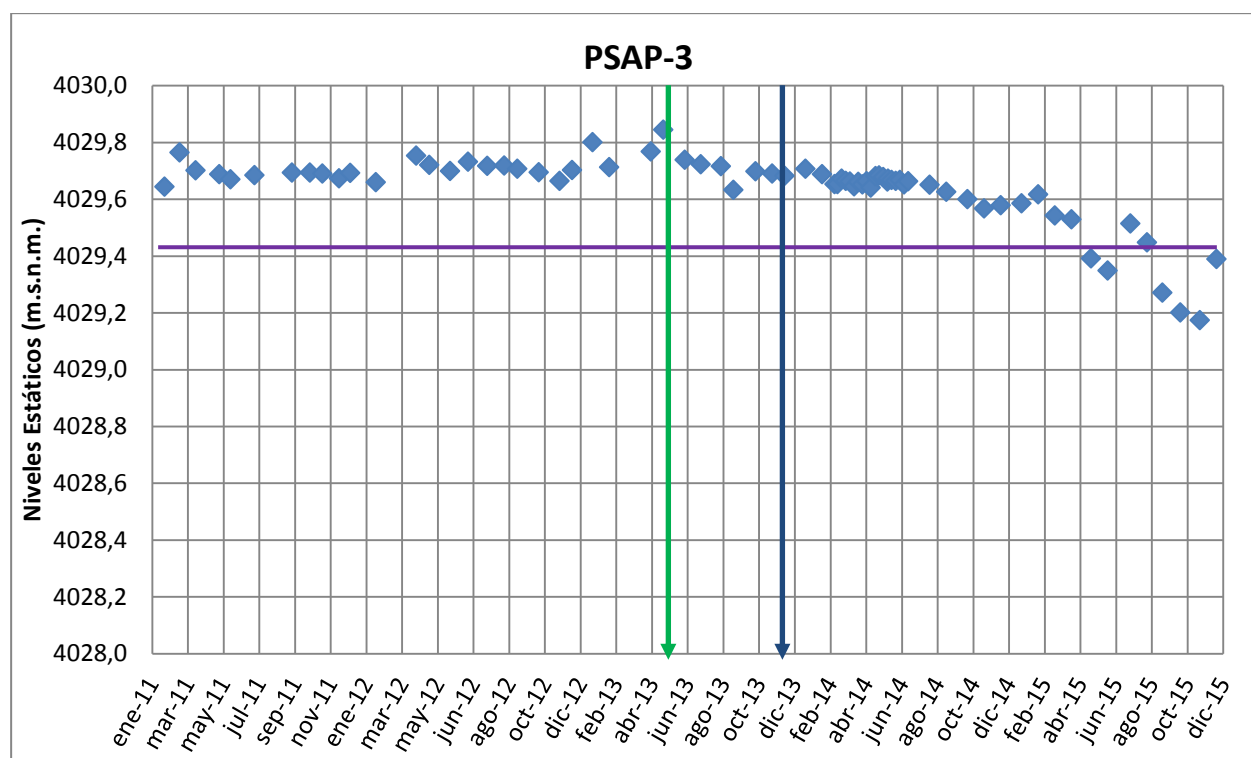


**Figura 4-7 Comportamiento de niveles de las aguas en piezómetro PSAP-2.**

## PIEZOMETRO PSAP-3

En la **Figura N° 4-8** se presentan los registros en el periodo de enero 2011 a junio 2015 de los niveles en el piezómetro PSAP-3.

Según la Resolución DGA N° 682, el umbral de afección para la poza PSAP-3 es de 25 cm medido desde la profundidad promedio en metros que corresponde a 2,83 m y que traducidos a cota da un valor de 4029,68 m.s.n.m., Presentándose entonces un valor **umbral de 4029,43 m.s.n.m.**, y el cual es representado en la Figura N° 4-8 con la línea morada.



**Figura 4-8 Comportamiento de niveles de las aguas en piezómetro PSAP-3.**

### 4.3 Calidad de Agua Subterránea

La características físico química de las aguas superficiales de las pozas ubicadas en la vega Sapunta es monitoreada mensualmente, en términos de los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Al, As, CO<sub>3</sub>, Ca, Cd, Cl, Cr, Cu, Fe, HCO<sub>3</sub>, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, PO<sub>4</sub>, Pb, Zn, Si, SO<sub>4</sub>, SS, ST, STD, y Turbiedad. Cabe señalar que todos los metales corresponden a la fracción total.

A objeto de analizar el comportamiento de la calidad de las aguas de las pozas, en la etapa de pre-bombeo, se han graficado los parámetros indicadores principales correspondientes a **Conductividad, pH y Sulfatos**.

Del mismo modo, con el fin de identificar el tipo de aguas y diferenciarlas entre sí, los registros del último periodo han sido graficados en diagramas de Piper. Se han efectuado también gráficos de Stiff a objeto de cumplir con lo señalado en el PAT establecido por la DGA. Para ello, se ha utilizado como fecha de referencia el mes de noviembre para los años 2011, 2012, 2013, 2014 y diciembre 2015.

En el **ANEXO F** se encuentra la serie estadística del último período analizado de las características Físico Química de las pozas de Vega Sapunta correspondientes al PAT de Pampa Puno.

A la vez en el **ANEXO G** se presentan los gráficos de todos los parámetros físico-químicos actualmente medidos.

Los gráficos presentes en este capítulo, presentan una línea vertical de color verde (junio 2013) que indica el inicio del bombeo preliminar o de pruebas hidráulicas y la de color azul el inicio del bombeo productivo (diciembre 2013).

## 1. ESTACIÓN SAPUNTA-1

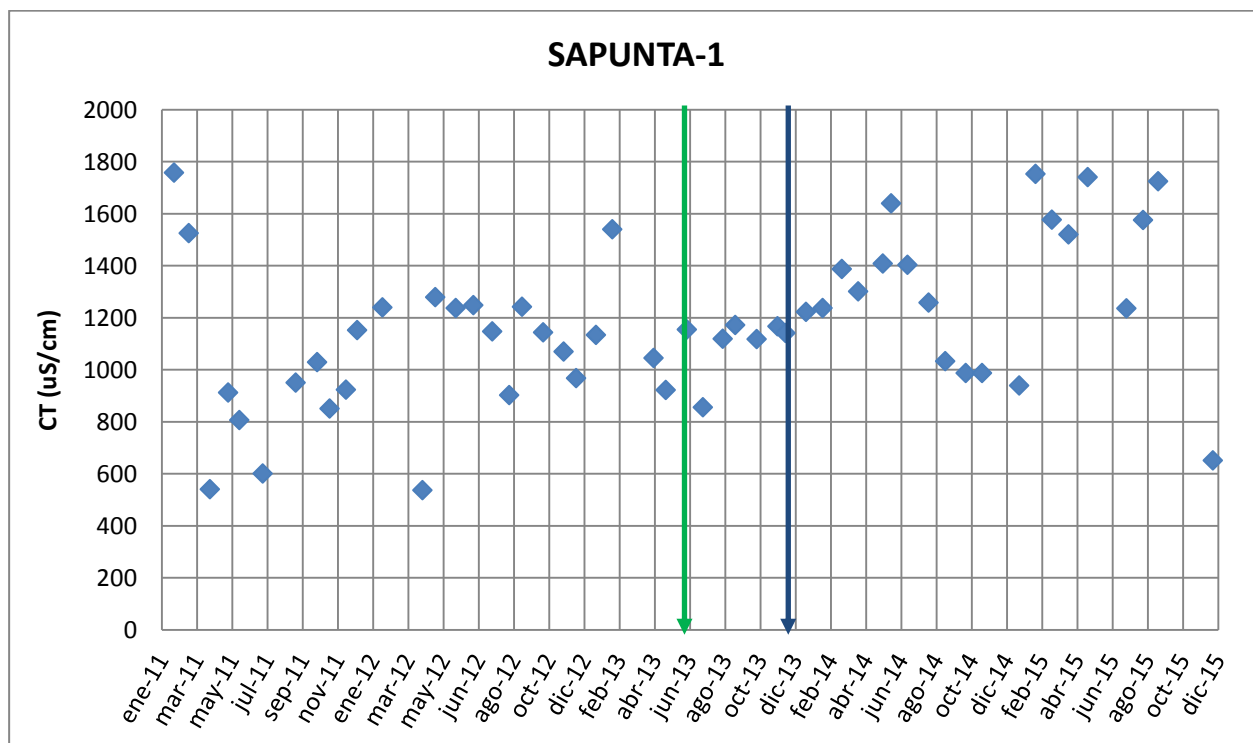
En las **Figuras 4-9, 4-10 y 4-11** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en SAPUNTA-1. Para esta estación, se ha graficado y analizado los datos entre enero de 2011 y diciembre 2015.

La **Conductividad** presenta durante los meses medidos del año 2015 valores fluctuantes entre 651,3 y 2.621  $\mu\text{S/cm}$ . Para el periodo de medición se presenta un promedio de 1.197,2  $\mu\text{S/cm}$ .

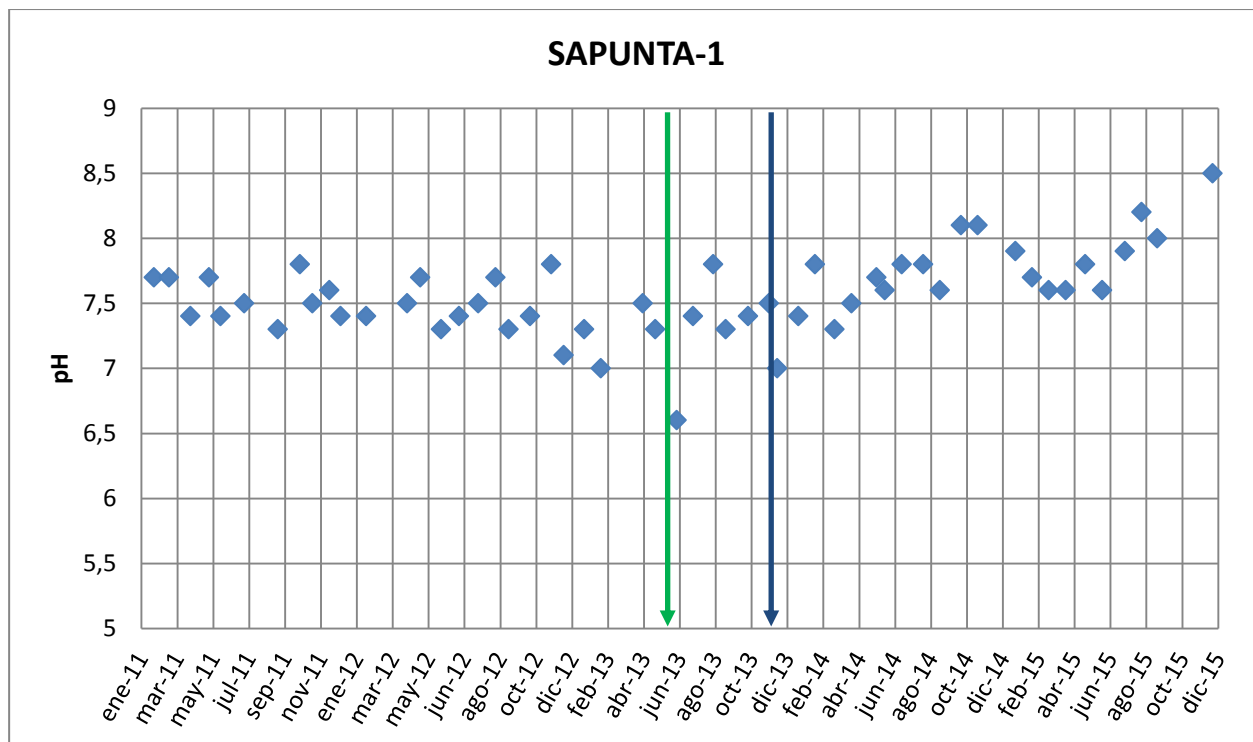
El **pH** se muestra estable durante el periodo de monitoreo en un rango de movimiento de 6,6 y 9.

Por su parte los contenidos de **Sulfatos** presentan valores entre 92,6 mg/L y 904 mg/L, con un promedio de 404,5 mg/L.

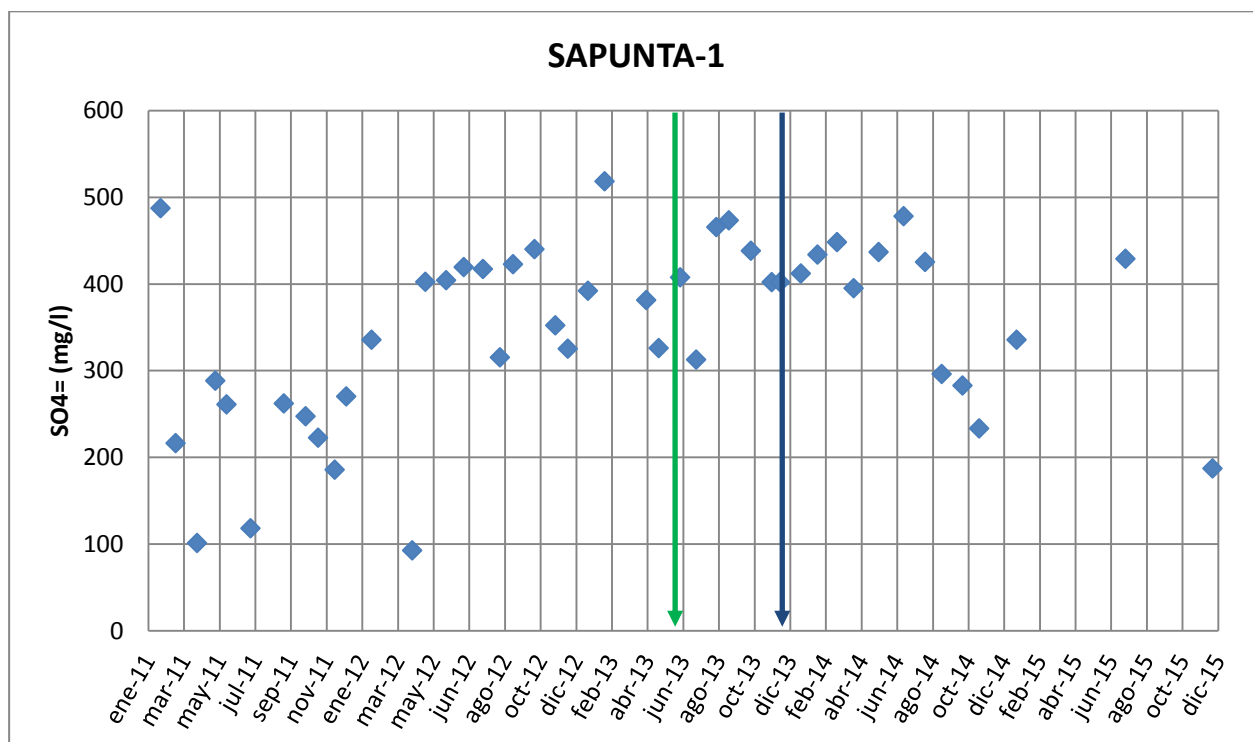
Las aguas en SAPUNTA-1 corresponden a aguas **Cálcicas/Sulfatadas-Bicarbonatadas**, como se observa en el diagrama de Piper, así mismo se aprecia en los diagramas de Stiff. Con menor presencia de Sulfatos en noviembre de 2011 y 2014. En diciembre 2015 se presentan menores contenidos de todos los componentes, y aguas de tipo **Cálcicas/Sulfatadas**.



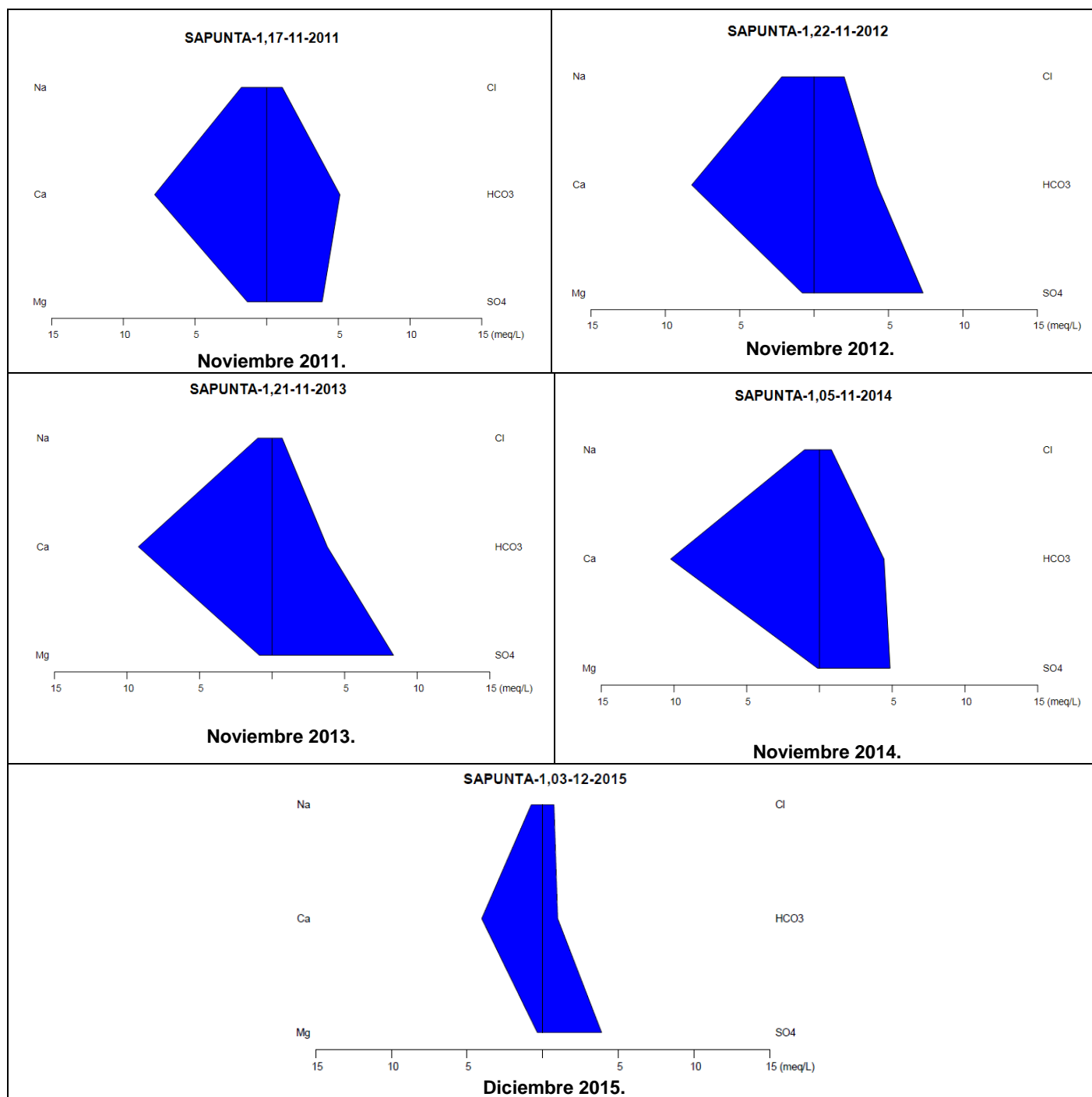
**Figura 4-9 Comportamiento de la Conductividad de aguas en SAPUNTA-1**



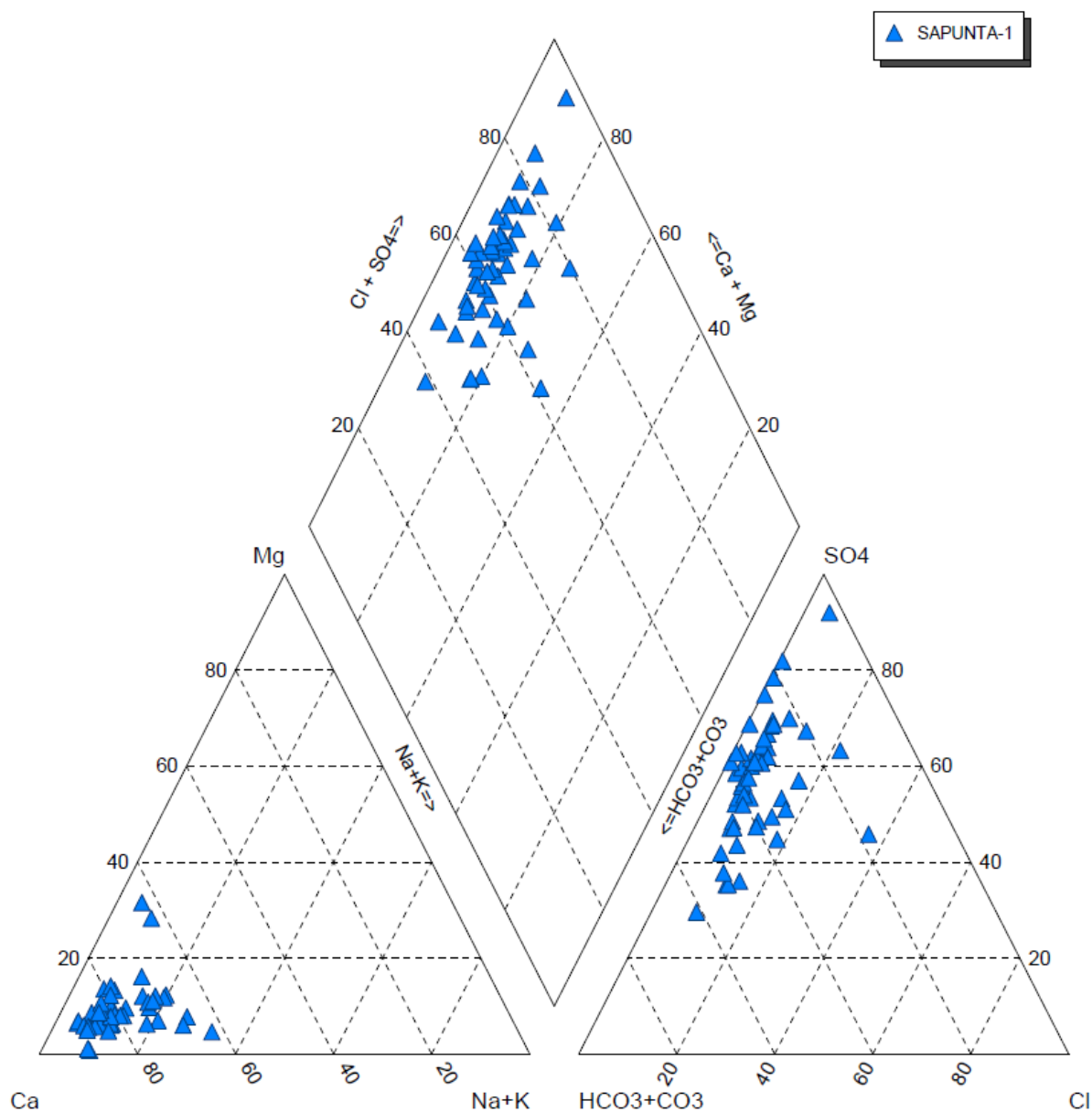
**Figura 4-10 Comportamiento del pH de aguas en SAPUNTA-1**



**Figura 4-11 Comportamiento de Sulfatos de aguas en SAPUNTA-1**



**Figura 4-12 Diagrama de Stiff del pozo SAPUNTA-1.**



**Figura 4-13 Diagrama de Piper del pozo SAPUNTA-1.**

## 2. ESTACIÓN SAPUNTA-2

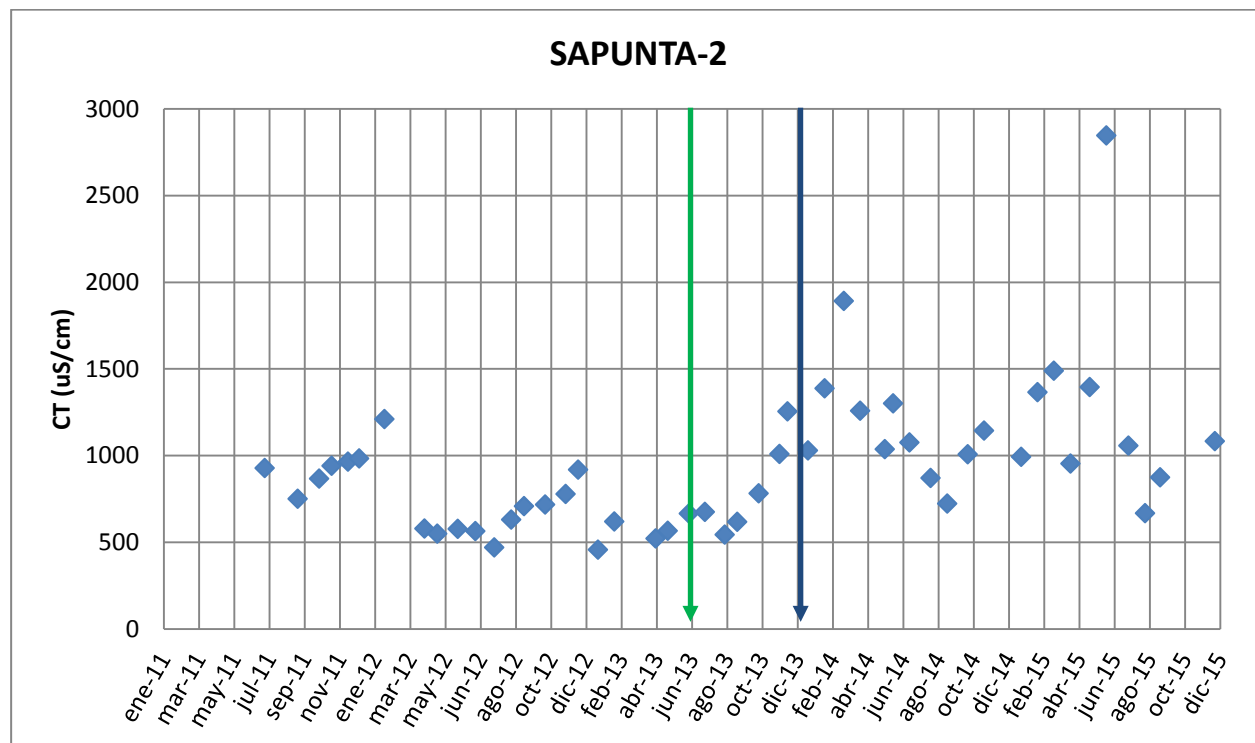
En las **Figuras 4-14, 4-15 y 4-16** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en SAPUNTA-2. Para esta estación, al igual que para la anterior, se ha graficado y analizado los datos entre enero de 2011 y diciembre 2015.

La **Conductividad**, presenta durante todo el periodo de análisis un promedio de 938,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

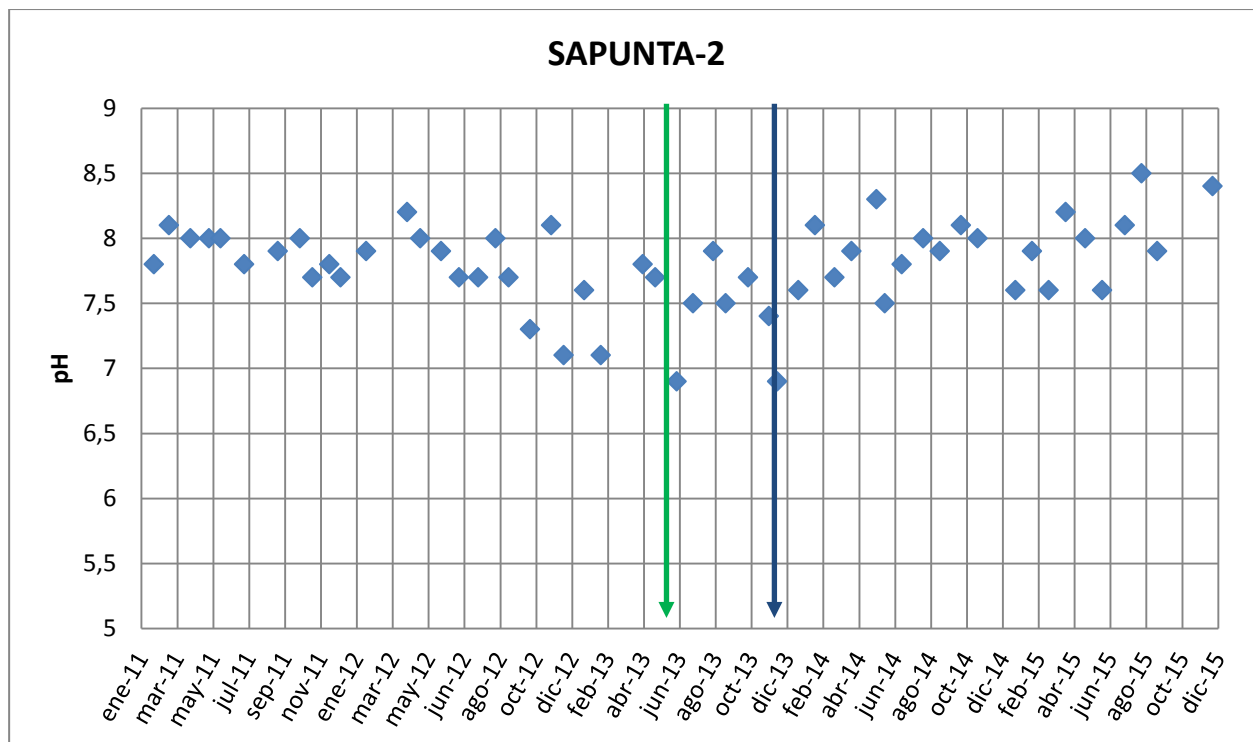
El **pH** se muestra estable en un rango de entre los 6,9 y 8,5.

Por su parte los contenidos de **Sulfatos** presentan un promedio entre enero de 2011 y mayo de 2015 de 260,9 mg/L.

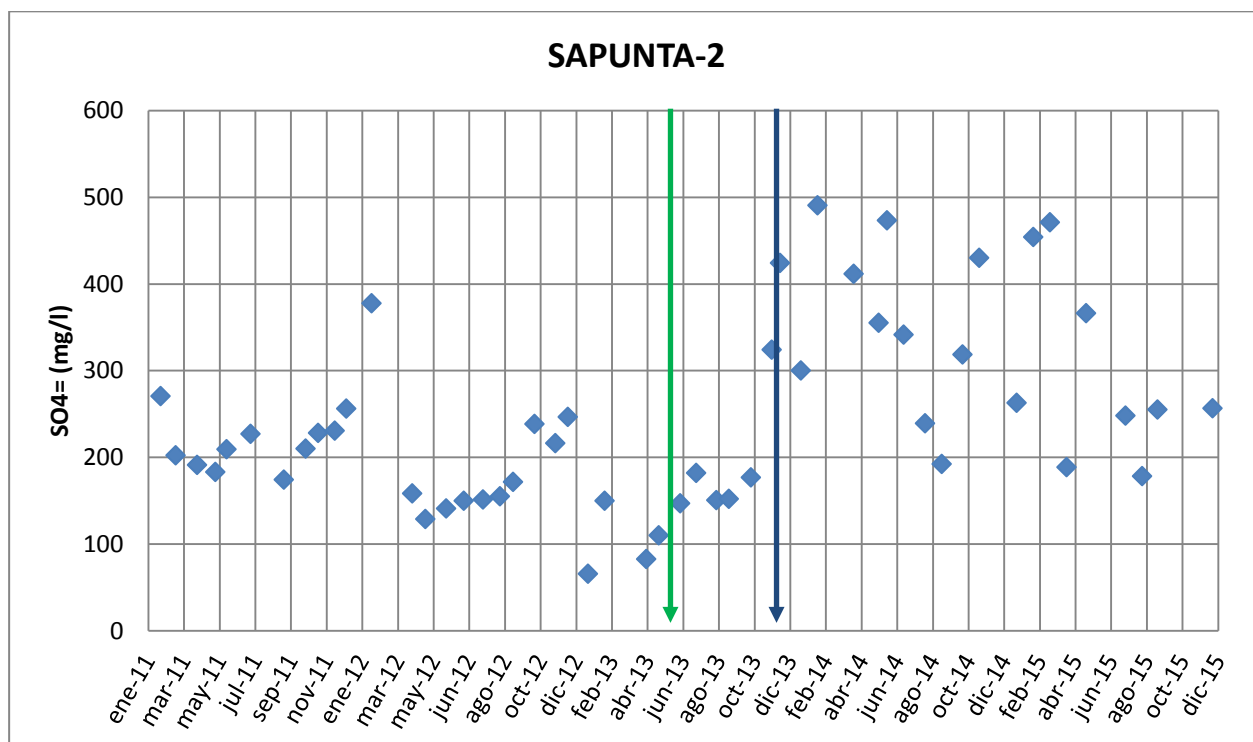
Las aguas en SAPUNTA-2 corresponden a aguas **Cálcicas/Sulfatadas-Carbonatadas**, como se observa los diagramas de Stiff. Sin embargo, para noviembre 2012 las aguas presentan menor contenido de estos elementos en relación a los otros años analizados.



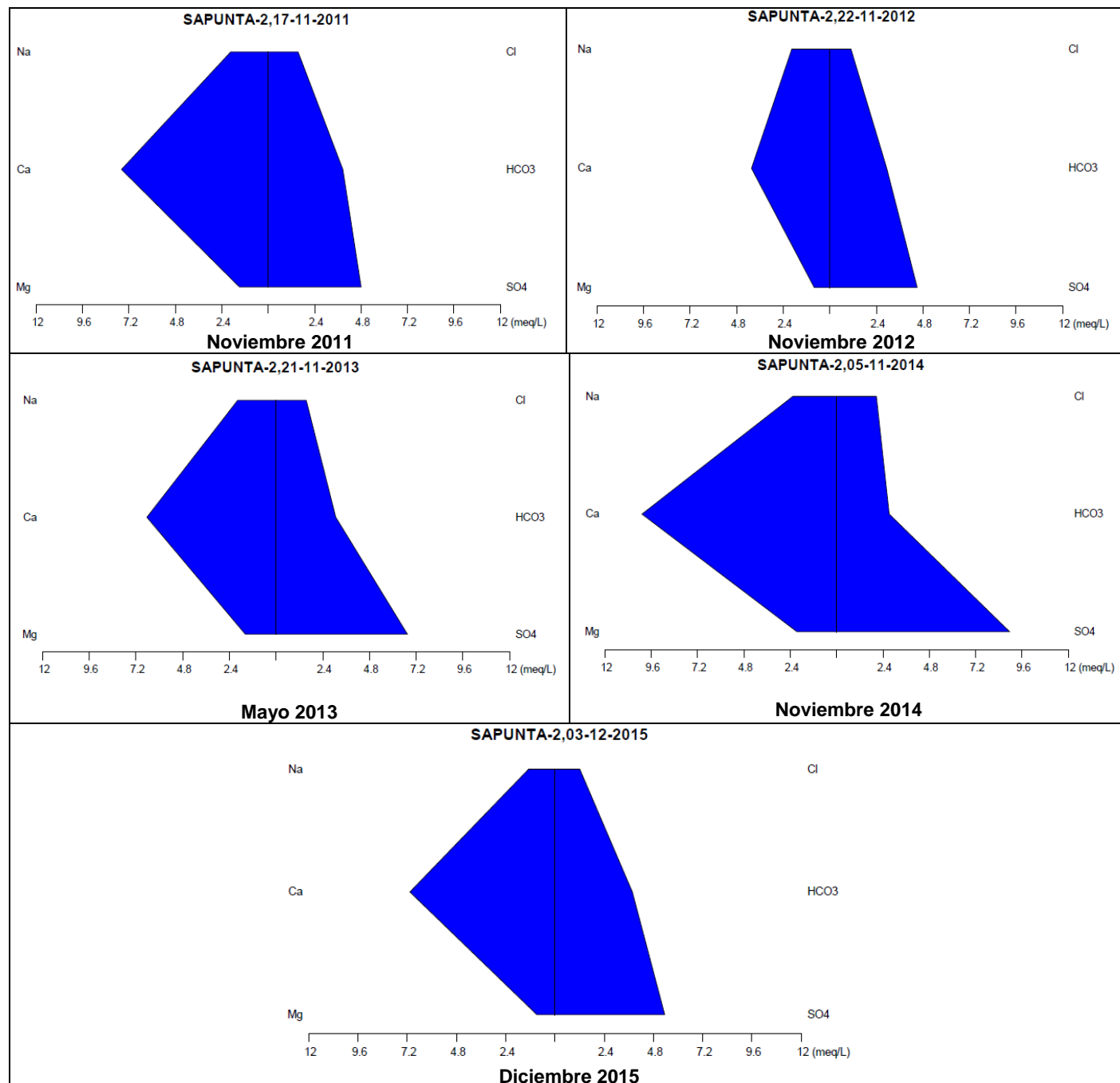
**Figura 4-14 Comportamiento de la Conductividad de aguas en SAPUNTA-2**



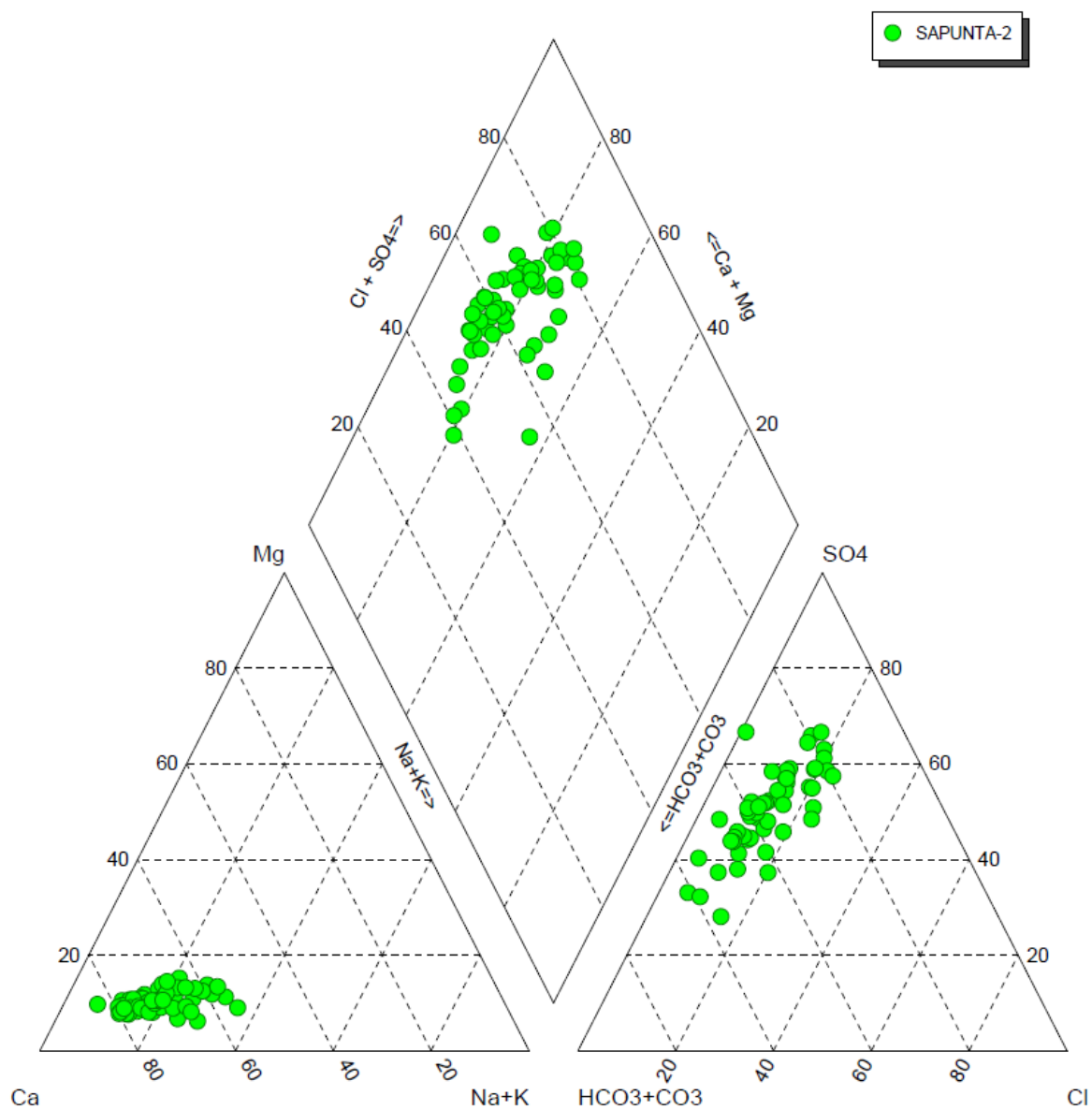
**Figura 4-15 Comportamiento del pH de aguas en SAPUNTA-2**



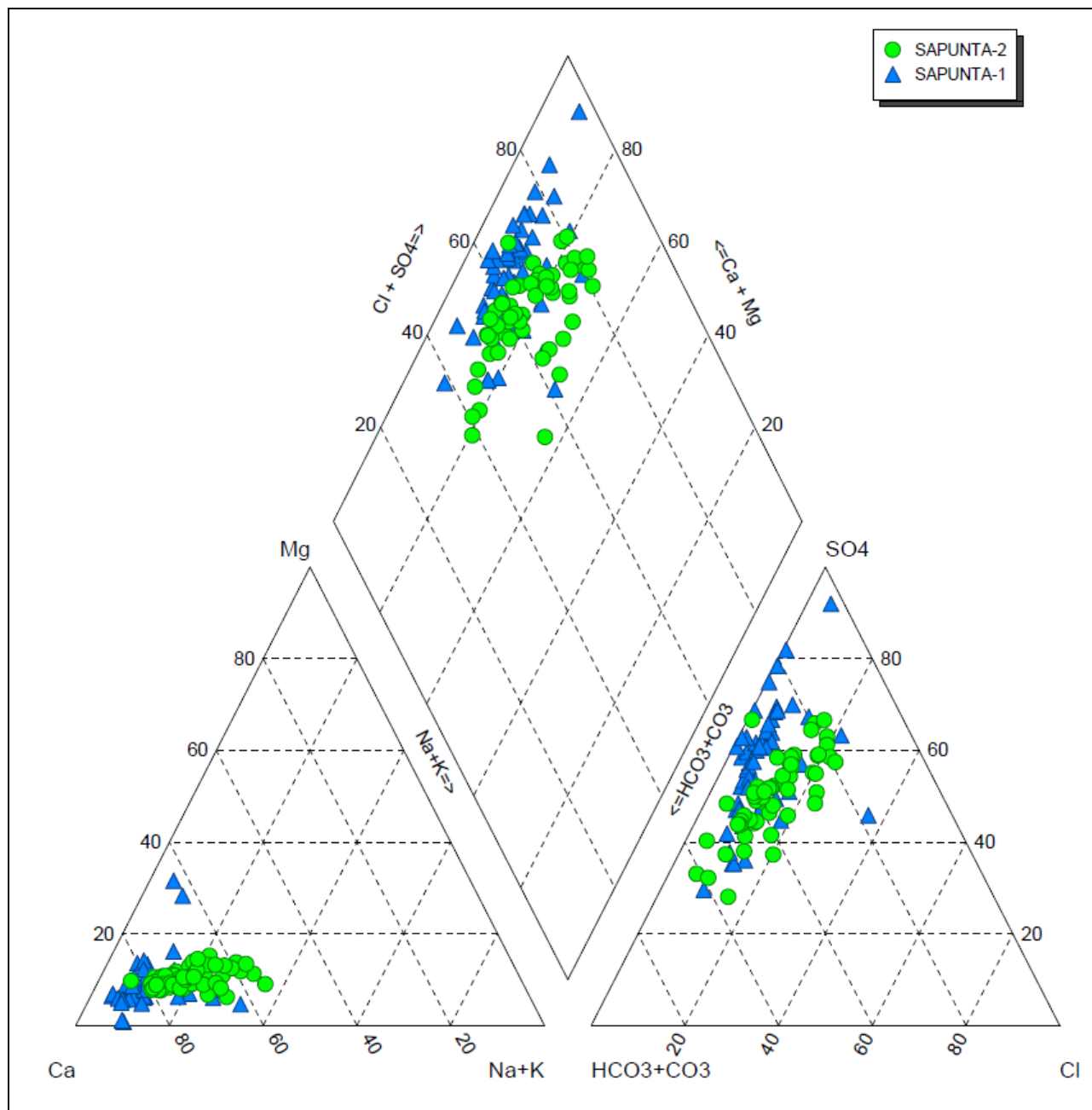
**Figura 4-16 Comportamiento de Sulfatos de aguas en SAPUNTA-2**



**Figura 4-17 Diagrama de Stiff del pozo SAPUNTA-2.**



**Figura 4-18 Diagrama de Piper del pozo SAPUNTA-2.**



**Figura 4-19 Diagrama de Piper Estaciones y Pozas Vega Sapunta.**

## 5. RÍO LOA ALTO

### 5.1 Aspectos Generales

A continuación se presenta el seguimiento efectuado en el río Loa, de las siguientes componentes:

- Caudales
- Calidad del Agua Superficial (concentración de diversos parámetros)

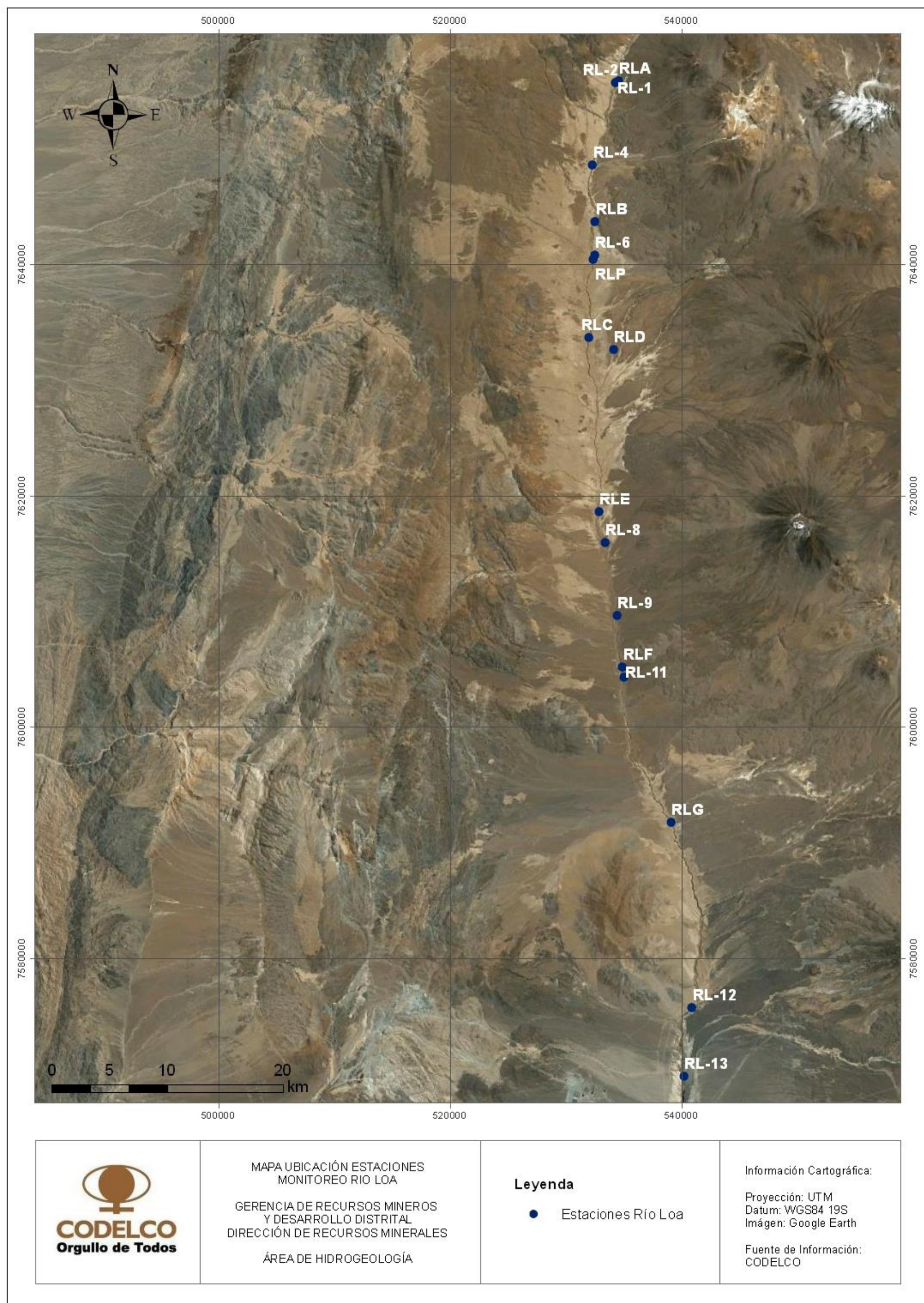
En la **Tabla Nº 5-1** se presenta el período estadístico analizado en términos de caudales y calidad físico química monitoreados en el río Loa, cuyas frecuencias de medición son mensuales. Cabe señalar, que las estaciones han sido presentadas en el orden del sentido del escurrimiento. En la **Figura Nº 5-1** se muestra la ubicación de los puntos monitoreados en el río Loa.

**Tabla 5- 1 Período estadístico de variables analizadas en río Loa.**

Estación	Descripción Ubicación	Cauce	Este (UTM)	Norte (UTM)	Período Estadístico de Caudales		Período Estadístico Características Físico Químicas	
RLA	Paco-Paco	Paco Paco	534599	7655827	Ene-11	Dic-15	Ene-11	Dic-12
RL-1	Nacimiento	Loa	534451	7655743	Ene-11	Sep-15	No Aplica	No Aplica
RL-2	Canal de Aforo destruido	Loa	534361	7655681	Ene-11	Sep-15	No Aplica	No Aplica
RL-4	Río Blanco	Loa	532352	7648546	Ene-11	Ene-12	No Aplica	No Aplica
RLB	Quebrada Esquina	Loa	532541	7643641	Ene-11	Sep-15	Ene-11	Dic-15
RL-6	Quebrada Sapunta	Loa	532523	7640769	Ene-11	Sep-15	No Aplica	No Aplica
RLP	Río Loa	Loa	532408	7640386	Mar-11	Jun-15	No Aplica	No Aplica
RLC	Pampa Bacañan	Loa	532063	7633680	Ene-11	Sep-15	Ene-11	Dic-15
RLD	Río Chela	Chela	534144	7632598	Ene-11	Oct-15	Feb-11	Oct-15
RLE	Quebrada Chala	Loa	532882	7618631	Ene-11	Ene-15	Ene-11	Ene-15
RL-8	Ichuno	Loa	533410	7615966	Ene-11	Ene-15	No Aplica	No Aplica
RL-9	Quebrada Luchita	Loa	534452	7609664	Ene-11	Sep-15	No Aplica	No Aplica
RLF	Antes Bocatoma Lequena	Loa	534944	7605216	Ene-11	Sep-15	Ene-11	Dic-15
RL-11	Despues Bocatoma Lequena	Loa	535038	7604295	Ene-11	Sep-15	No Aplica	No Aplica
RLG	Chela Cruz	Loa	539152	7591772	Ene-11	Feb-13	Ene-11	Feb-13
RL-12	Despues Bocatoma Quinchamales	Loa	540941	7575797	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica
RL-13	Los Encuentros	Loa	540223	7569841	Ene-11	Dic-15	No Aplica	No Aplica

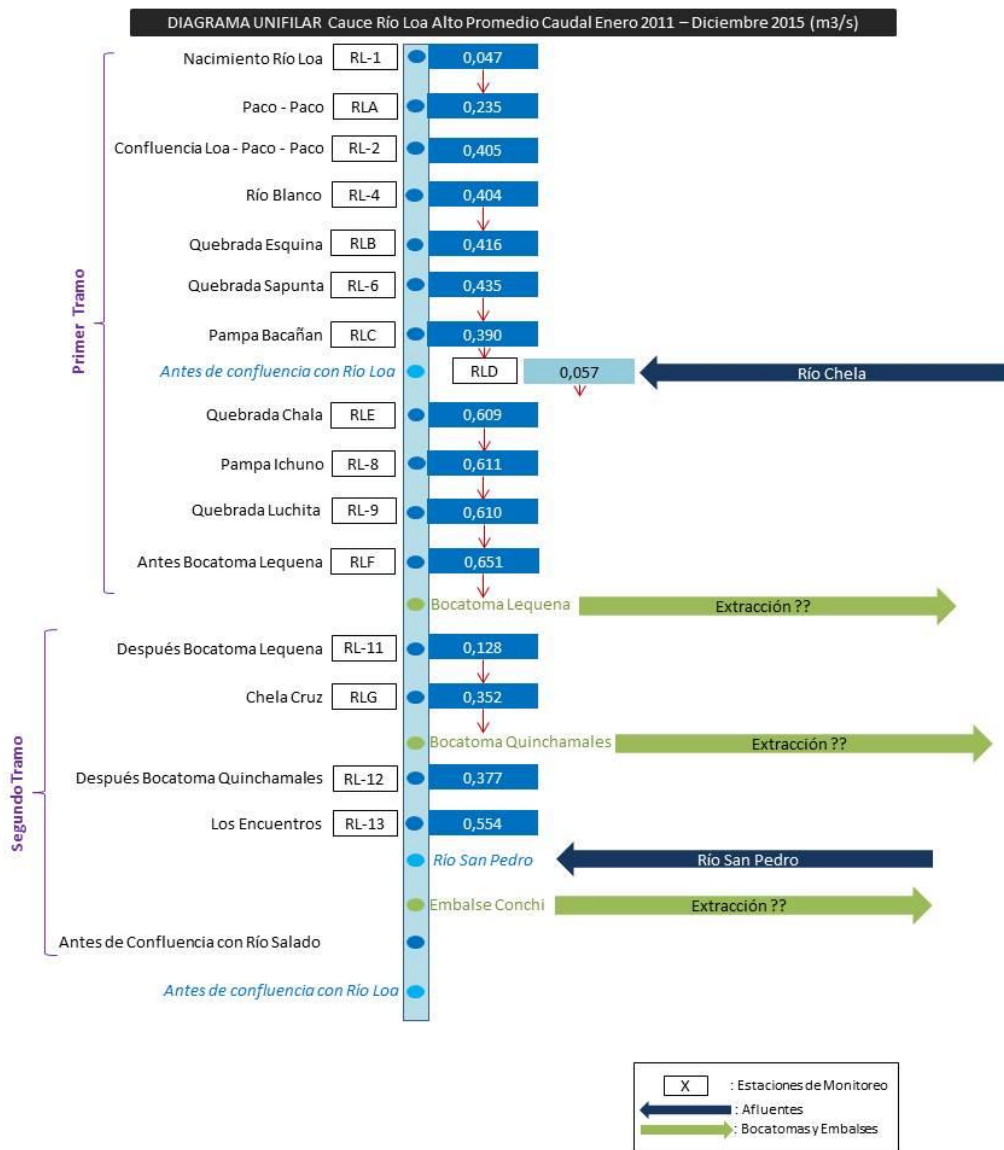
**DATUM WGS84 19S**

**No Aplica, significa que no se realiza la medición de esa variable en la estación (sin análisis físico-químico).**



**Figura 5-1 Ubicación de estaciones en río Loa Alto.**

## Diagrama Unifilar



## 5.2 Caudales

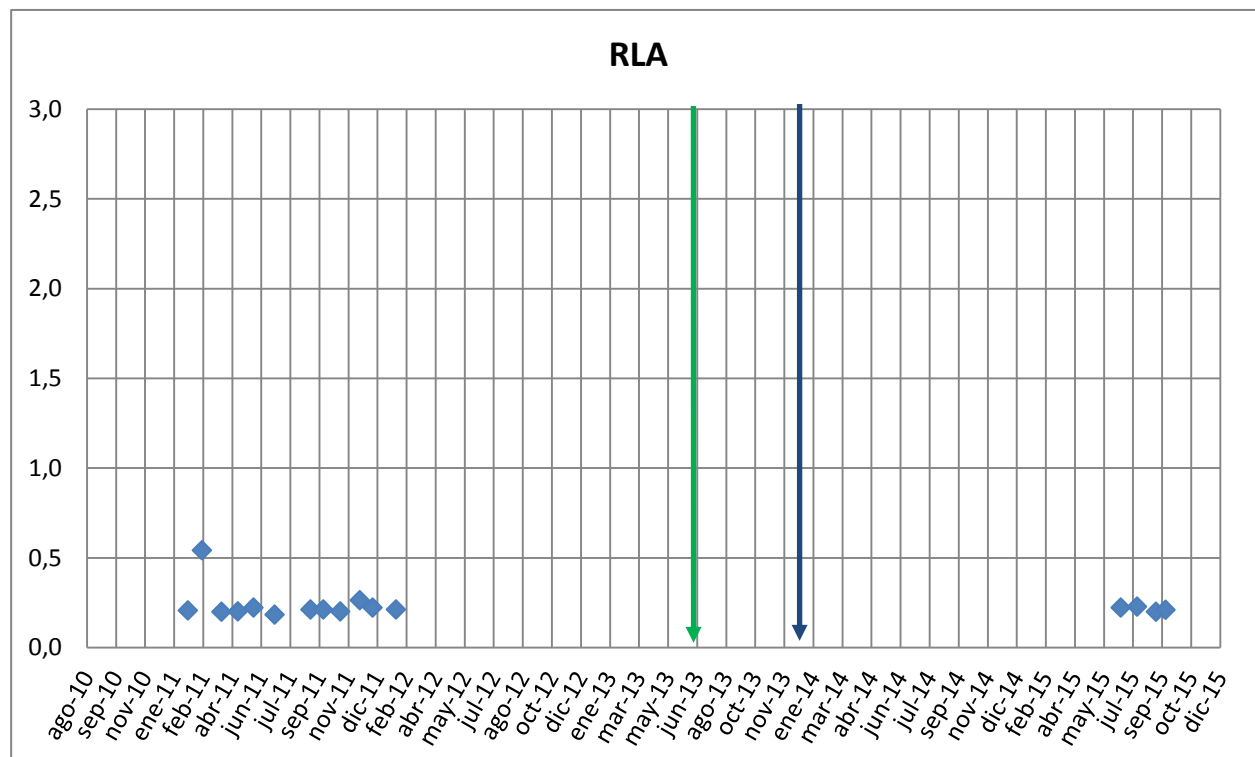
Para el análisis del comportamiento de caudales en el río Loa se han graficado la serie de aforos mensuales de todas las estaciones.

En el **ANEXO H** se adjunta la serie estadística del último período analizado de los caudales en las estaciones del río Loa.

### Estación RLA

La estación RLA sólo tiene disponible la serie de caudales mensuales medidos durante el período de enero 2011 y enero 2012, que corresponde al periodo presentado en los informes anteriores dado que no hay acceso al sector por mal estado del camino.

Por tanto los caudales de la estación **RLA** registrados durante el periodo de análisis, ya informado se muestran relativamente estables, con un promedio de 0,24 m<sup>3</sup>/s, cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado en el periodo es de 0,36 m<sup>3</sup>/s.



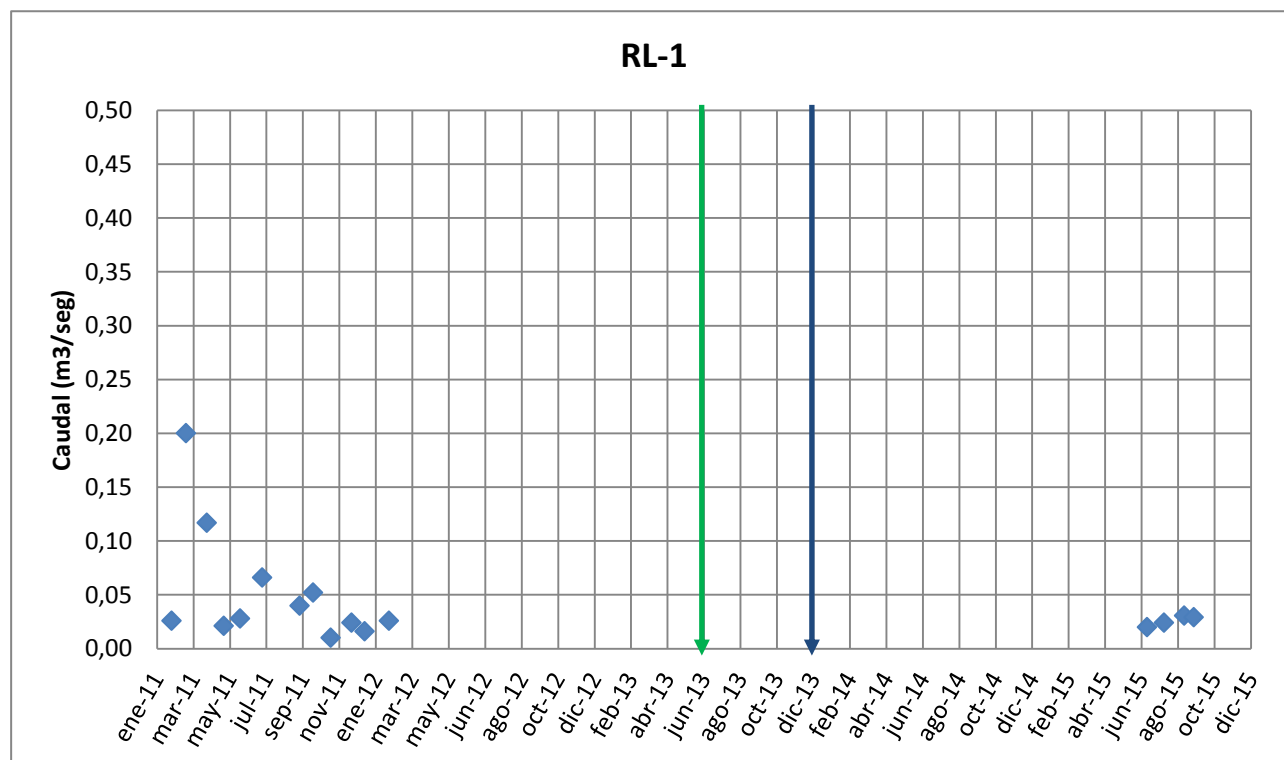
**Figura 5-2 Caudales mensuales registrados en RLA.**

## Estación RL-1

La estación RL-1 sólo tiene disponible la serie de caudales mensuales medidos durante el período de enero 2011 y enero 2012, que corresponde al periodo presentado en los informes anteriores dado que no hay acceso al sector por mal estado del camino.

Los caudales de la estación **RL-1** registrados durante el periodo se muestran relativamente estables, con un promedio de  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de  $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Cabe destacar que se presenta algunos datos para el año 2015 con un valor promedio de  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ .



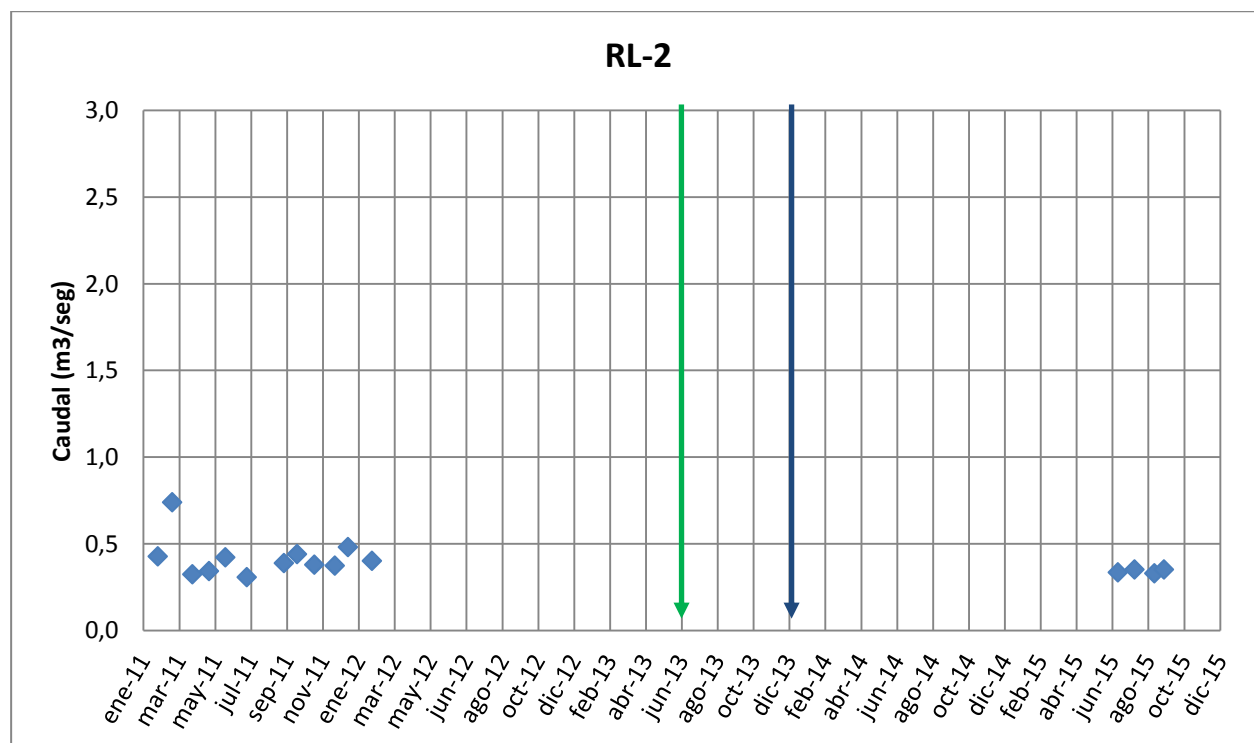
**Figura 5-3 Caudales mensuales registrados en RL-1.**

## Estación RL-2

La estación RL-2 sólo tiene disponible la serie de caudales mensuales medidos durante el período de enero 2011 y enero 2012, que corresponde al periodo presentado en los informes anteriores dado que no hay acceso al sector por mal estado del camino.

Los caudales de la estación **RL-2** registrados durante el periodo se muestran relativamente estables, con promedio de  $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de  $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Cabe destacar que se presenta algunos datos para el año 2015 con un valor promedio de  $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$ .

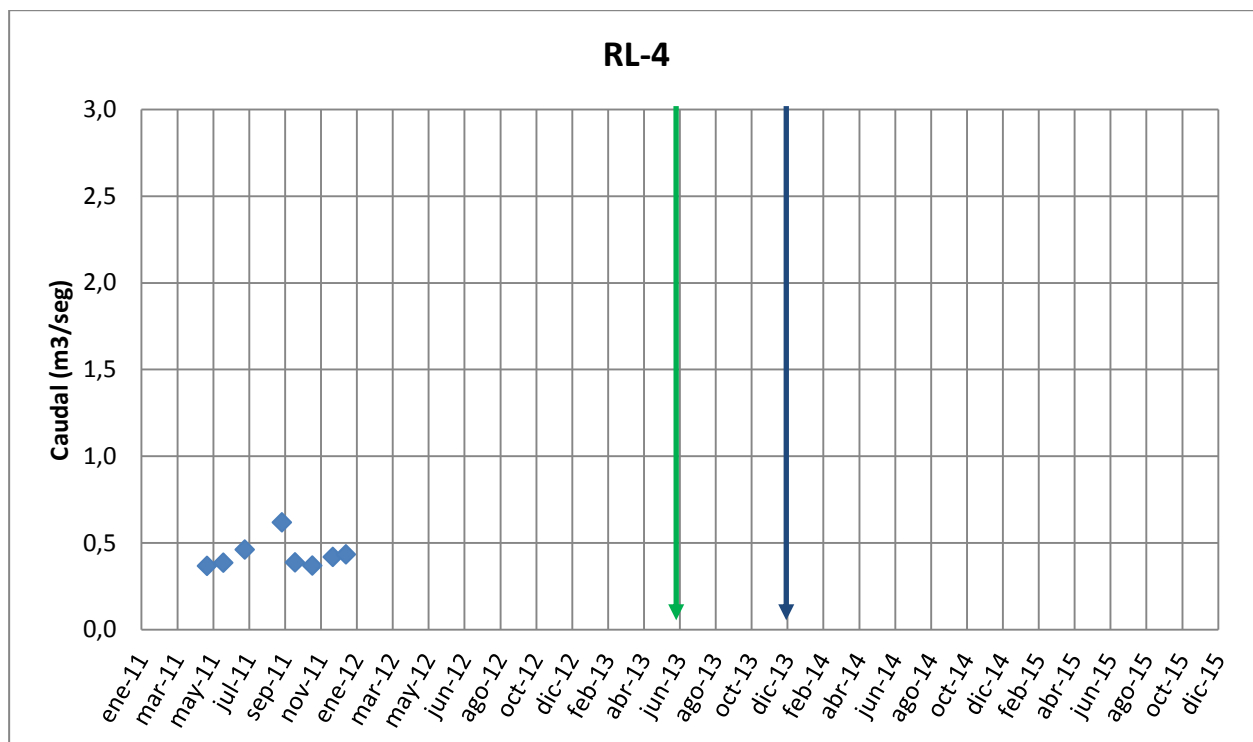


**Figura 5-4 Caudales mensuales registrados en RL-2.**

## Estación RL-4

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de abril 2011 a diciembre de 2011 en la estación del río Loa **RL-4**, que se encuentra en el sector de río Blanco, se presenta en la **Figura N° 5-5**.

Los caudales de la estación **RL-4** registrados durante el periodo se muestran relativamente estables, con promedio de  $0,429 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación es de  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

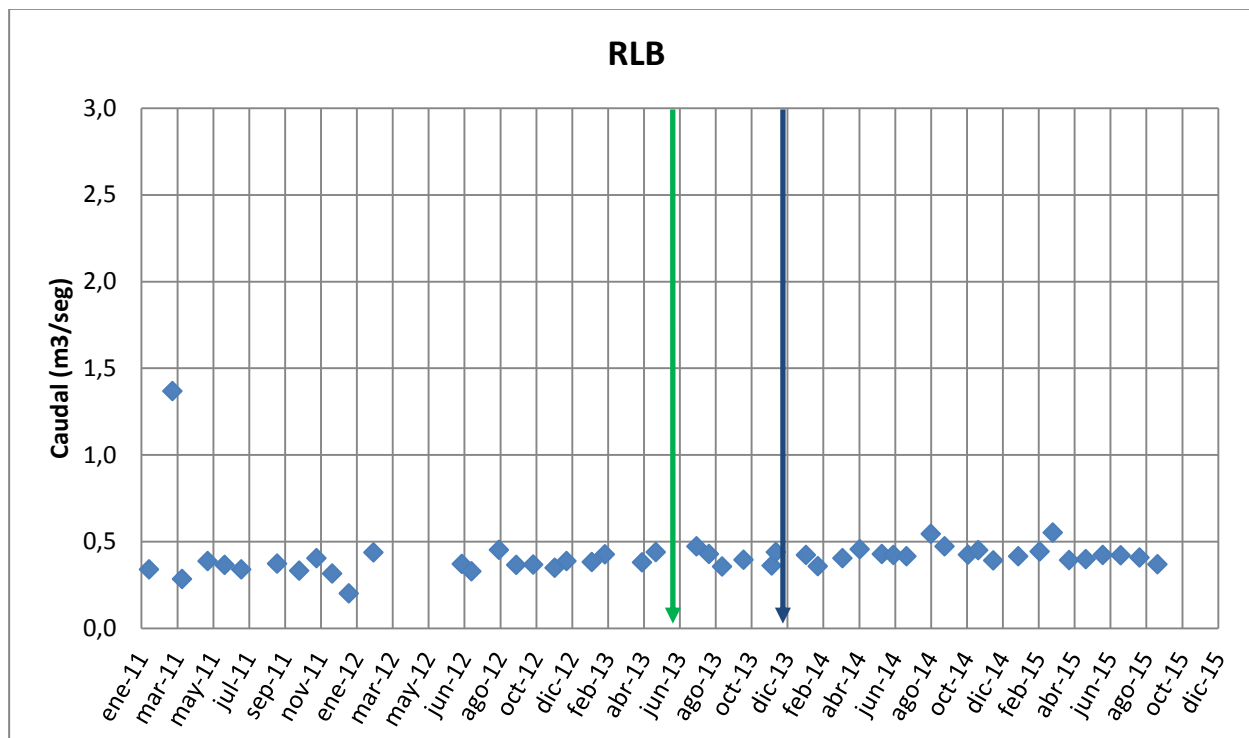


**Figura 5-5 Caudales mensuales registrados en RL-4.**

## Estación RLB

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 en la estación del río Loa **RLB**, que se encuentra en el sector Quebrada Esquina, se presenta en la **Figura N° 5-6**.

Los caudales de la estación **RLB** registrados durante el periodo presentan un promedio de  $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación es de  $1,17 \text{ m}^3/\text{s}$ .

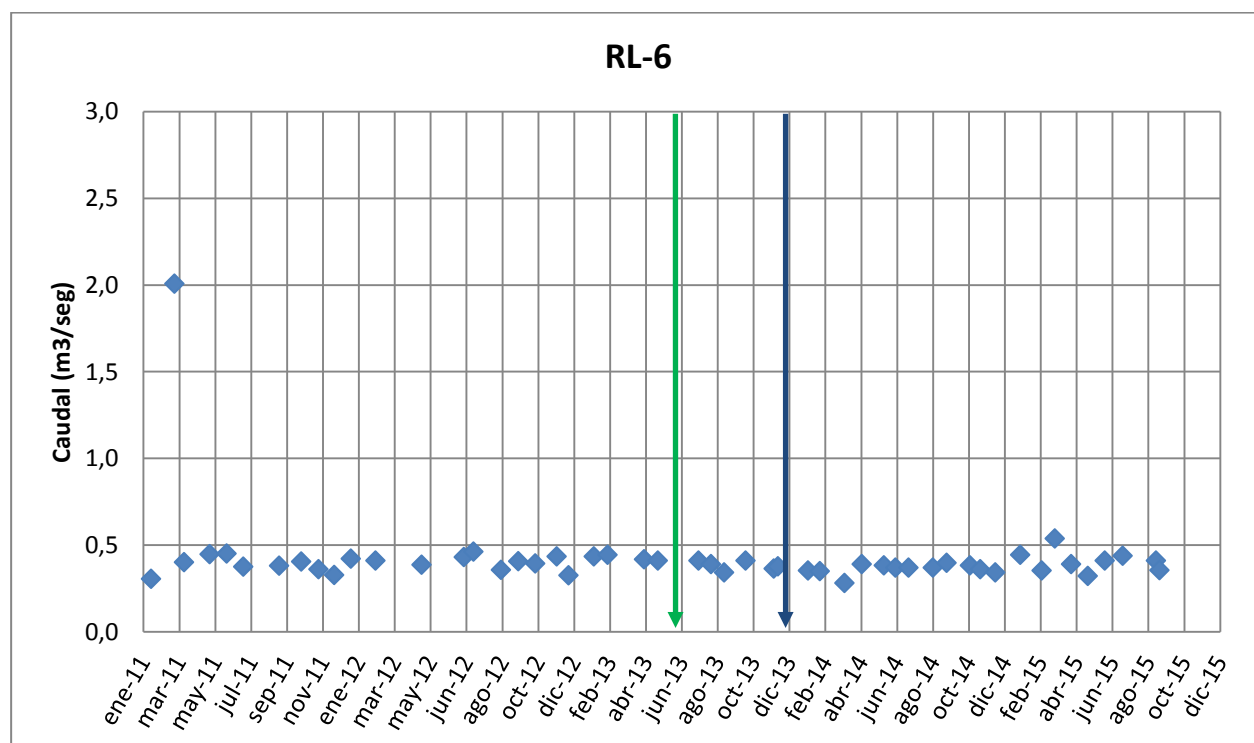


**Figura 5-6 Caudales mensuales registrados en RLB.**

## Estación RL-6

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 en la estación del río Loa **RL-6**, que se encuentra inmediatamente antes de la confluencia con Quebrada Sapunta de Norte a sur, se presenta en la **Figura N° 5-7**. Esta estación es de especial importancia pues corresponde a la salida del escurrimiento superficial del sector de Pampa Puno.

Los caudales de la estación **RL-6** registrados durante el periodo, se muestran relativamente estables, con un promedio de  $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de  $1,73 \text{ m}^3/\text{s}$ .

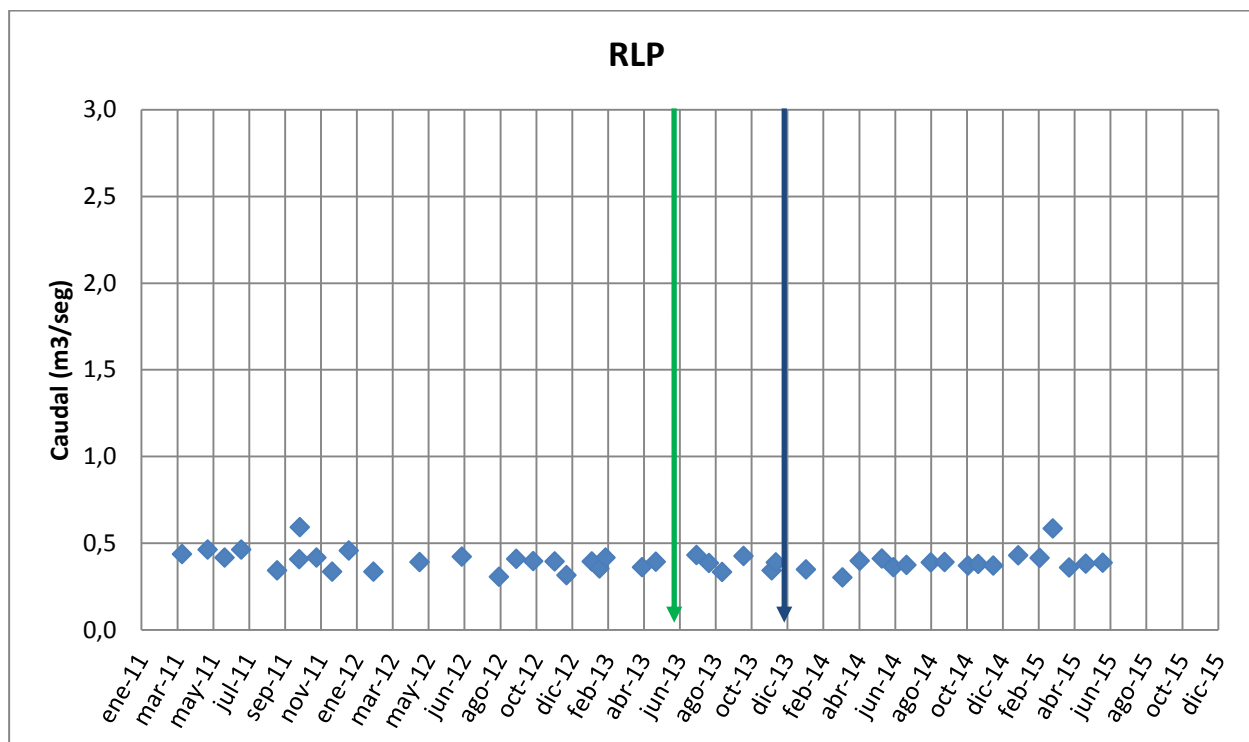


**Figura 5-7 Caudales mensuales registrados en RL-6.**

## Estación RLP

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de marzo 2011 a diciembre de 2015 en la estación del río Loa **RLP**, que se encuentra inmediatamente después de la confluencia con Quebrada Sapunta de Norte a Sur, se presenta en la **Figura N° 5-8**.

Los caudales de la estación **RLP** durante el periodo analizado tienen un promedio de  $0,39 \text{ m}^3/\text{s}$ .

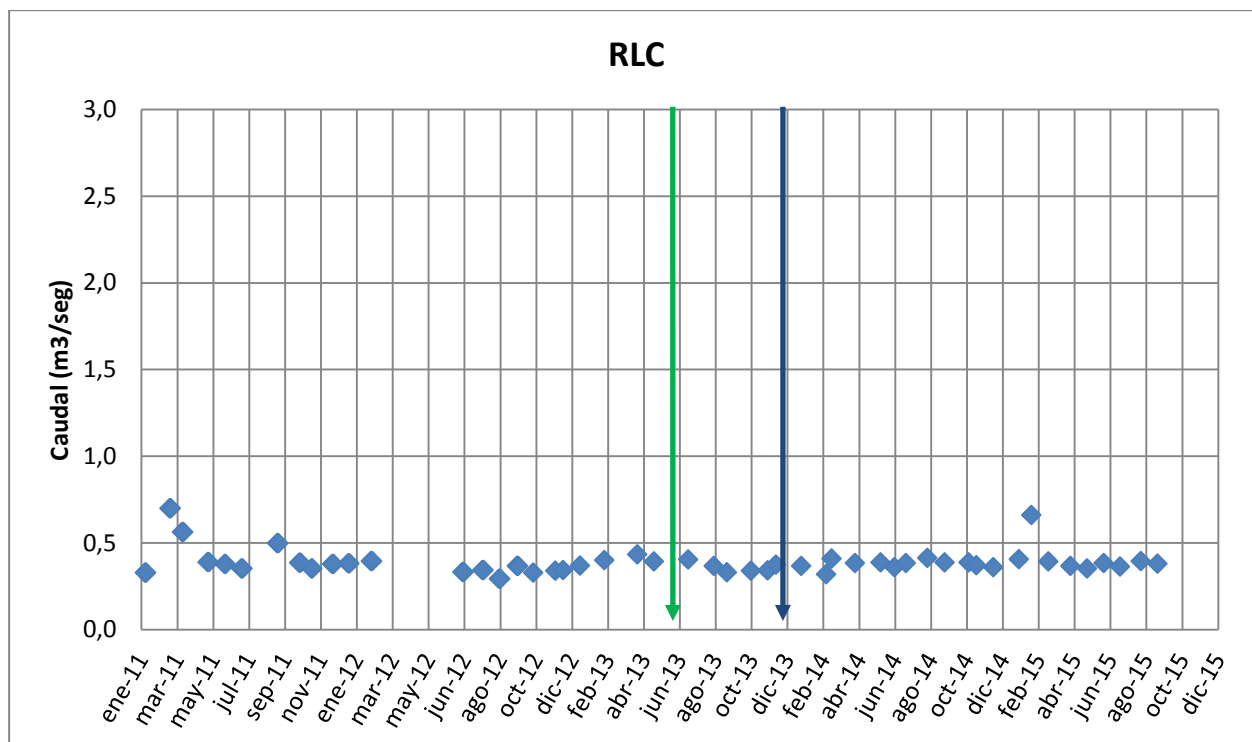


**Figura 5-8 Caudales mensuales registrados en RLP.**

## Estación RLC

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre de 2015 en la estación del río Loa **RLC**, que se encuentra en el sector Pampa Bacañán, se presenta en la **Figura N° 5-9**.

Los caudales de la estación **RLC** registrados durante el periodo se muestran relativamente estables, con un promedio de  $0,39 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de  $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$ .

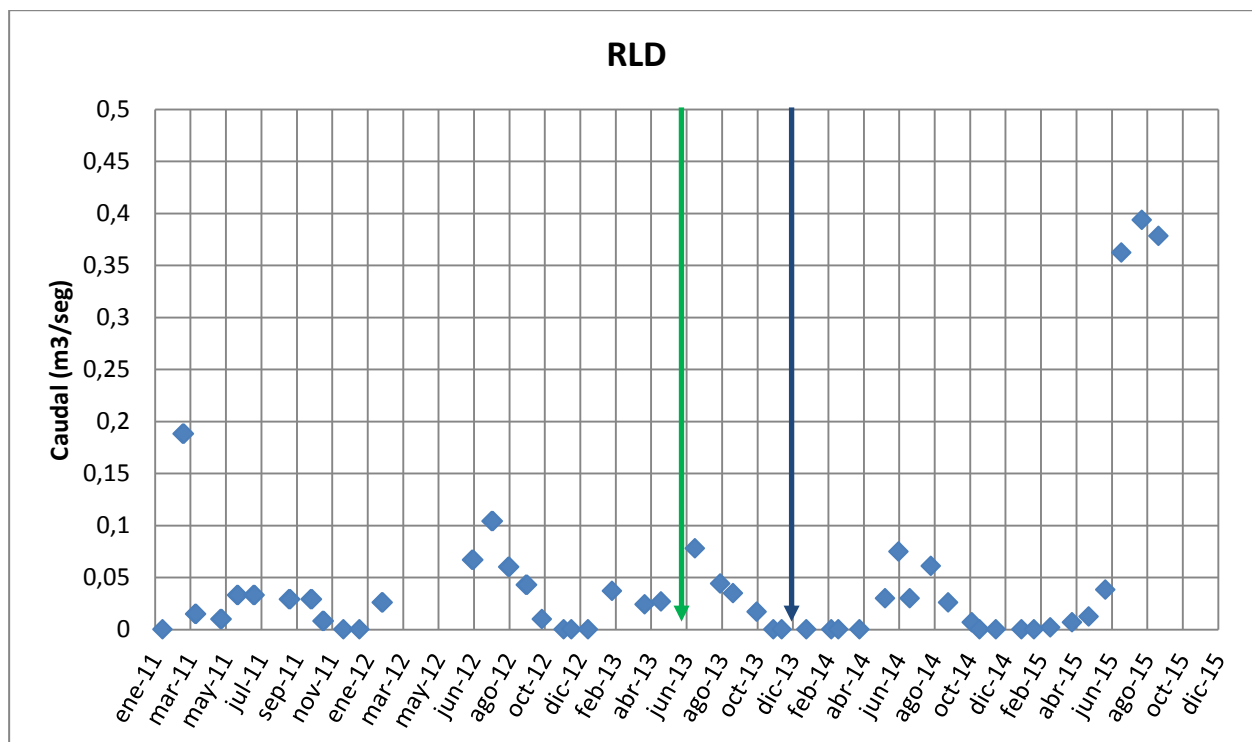


**Figura 5-9 Caudales mensuales registrados en RLC.**

## Estación RLD

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 en la estación del río Chela **RLD**, que se encuentra antes de su confluencia con el río Loa, se presenta en la **Figura N° 5-10**.

Los caudales de la estación **RLD** registrados durante el periodo tienen un promedio de  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de  $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ .

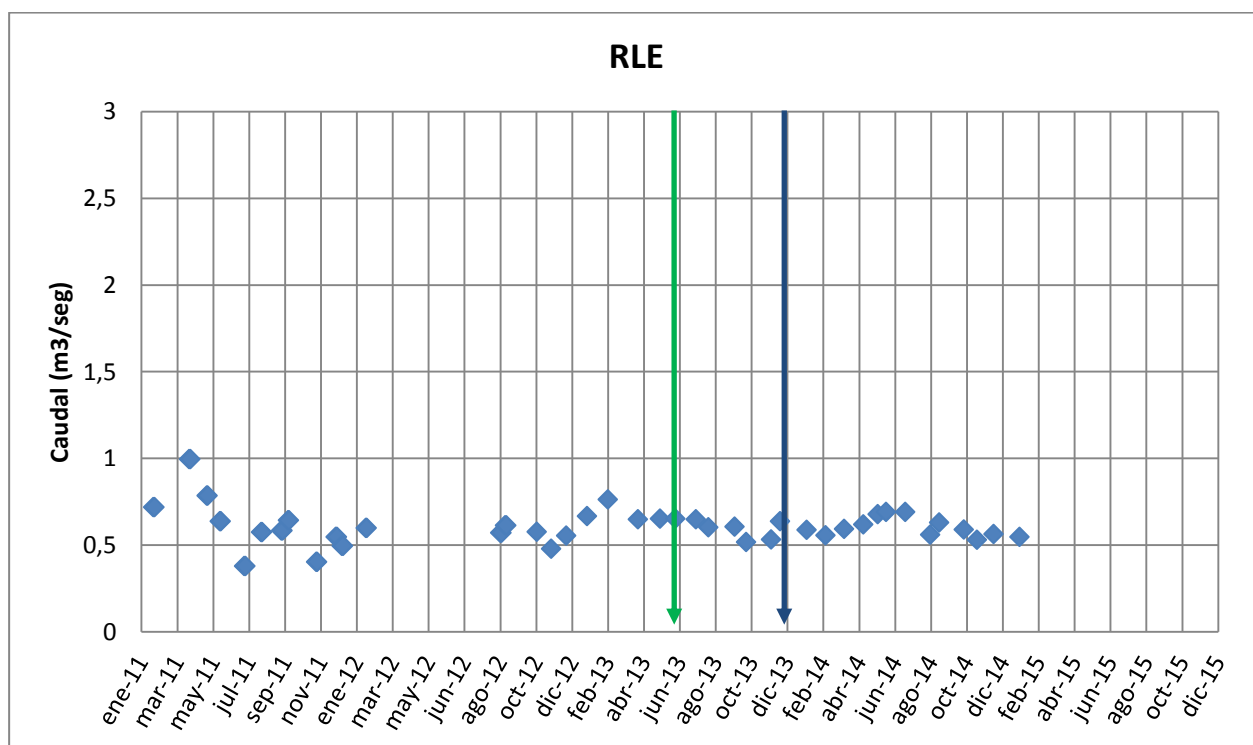


**Figura 5-10 Caudales mensuales registrados en RLD.**

## Estación RLE

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a enero de 2015 en la estación del río Loa **RLE**, que se encuentra en el sector Quebrada Chala, se presenta en la **Figura N° 5-11**. Cabe mencionar que desde febrero 2015 la estación se encuentra sin acceso

Los caudales de la estación **RLE** registrados durante el periodo tienen un promedio de  $0,61 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de  $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ .

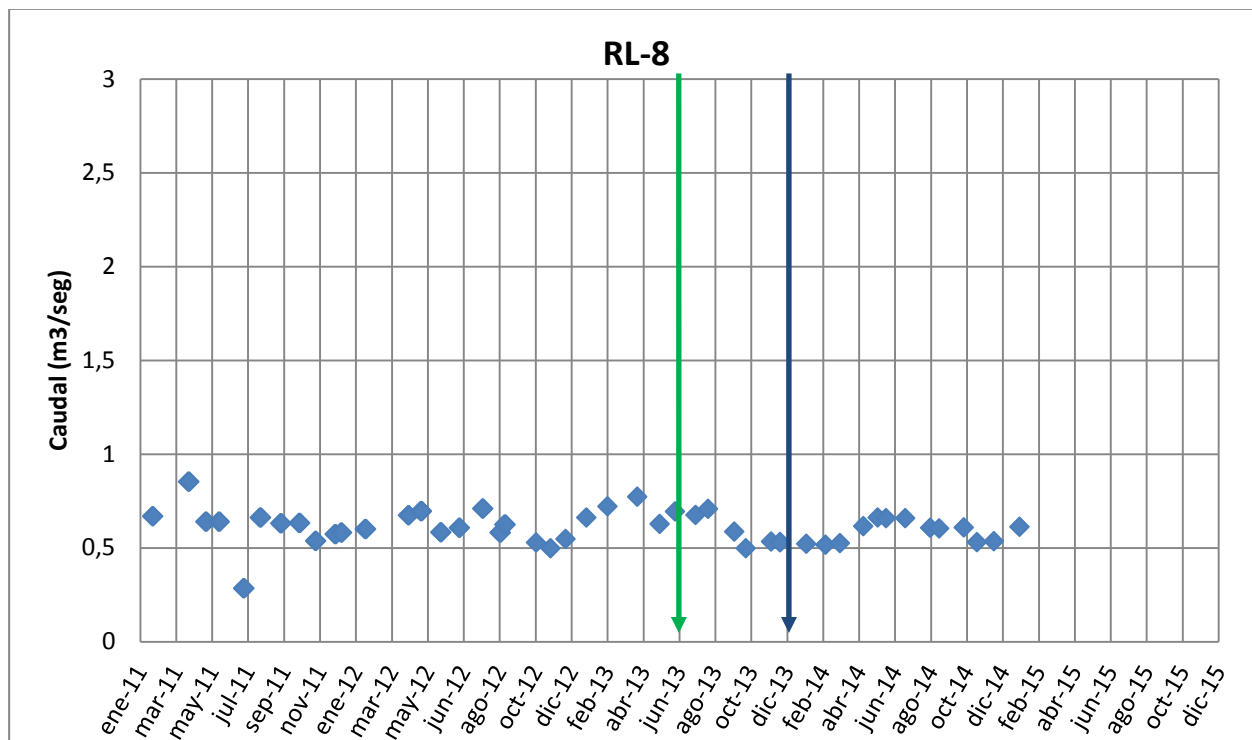


**Figura 5-11 Caudales mensuales registrados en RLE.**

## Estación RL-8

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a enero 2015 en la estación del río Loa **RL-8**, que se encuentra en el sector Ichuno, se presenta en la **Figura N° 5-12**. Cabe mencionar que desde febrero 2015 la estación se encuentra sin acceso

Los caudales de la estación **RL-8** registrados durante el periodo analizado tienen un promedio de 0,61 m<sup>3</sup>/s, cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de 0,57 m<sup>3</sup>/s.

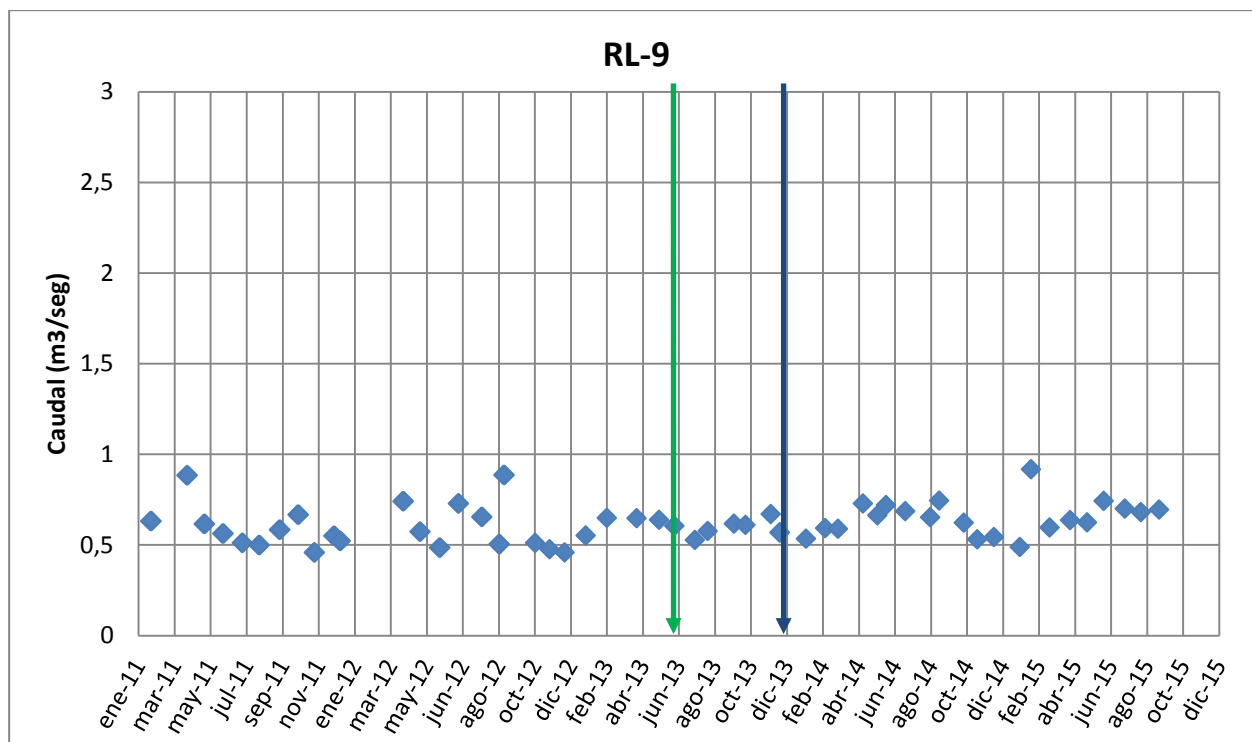


**Figura 5-12 Caudales mensuales registrados en RL-8.**

## Estación RL-9

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 en la estación del río Loa **RL-9**, que se encuentra en el sector Quebrada Luchita, se presenta en la **Figura N° 5-13**.

Los caudales de la estación **RL-9** registrados durante el periodo analizado tienen un promedio de 0,61 m<sup>3</sup>/s, cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de 0,43 m<sup>3</sup>/s.

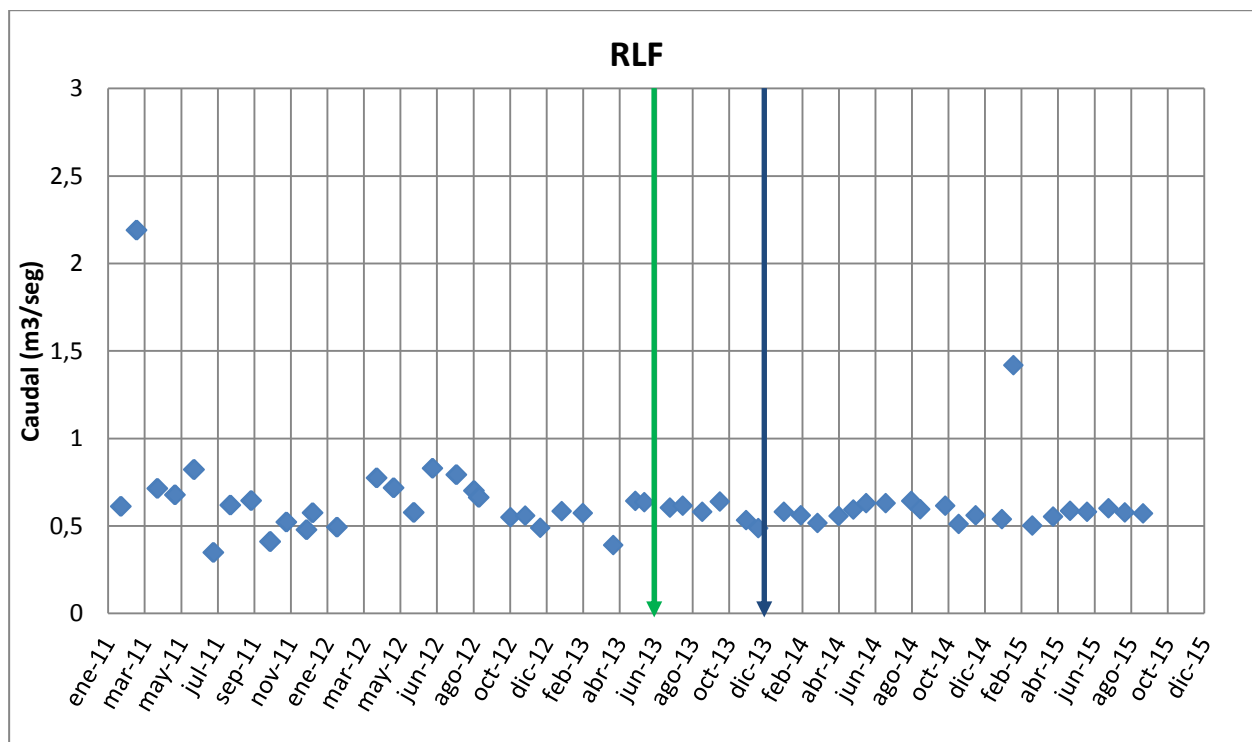


**Figura 5-13 Caudales mensuales registrados en RL-9.**

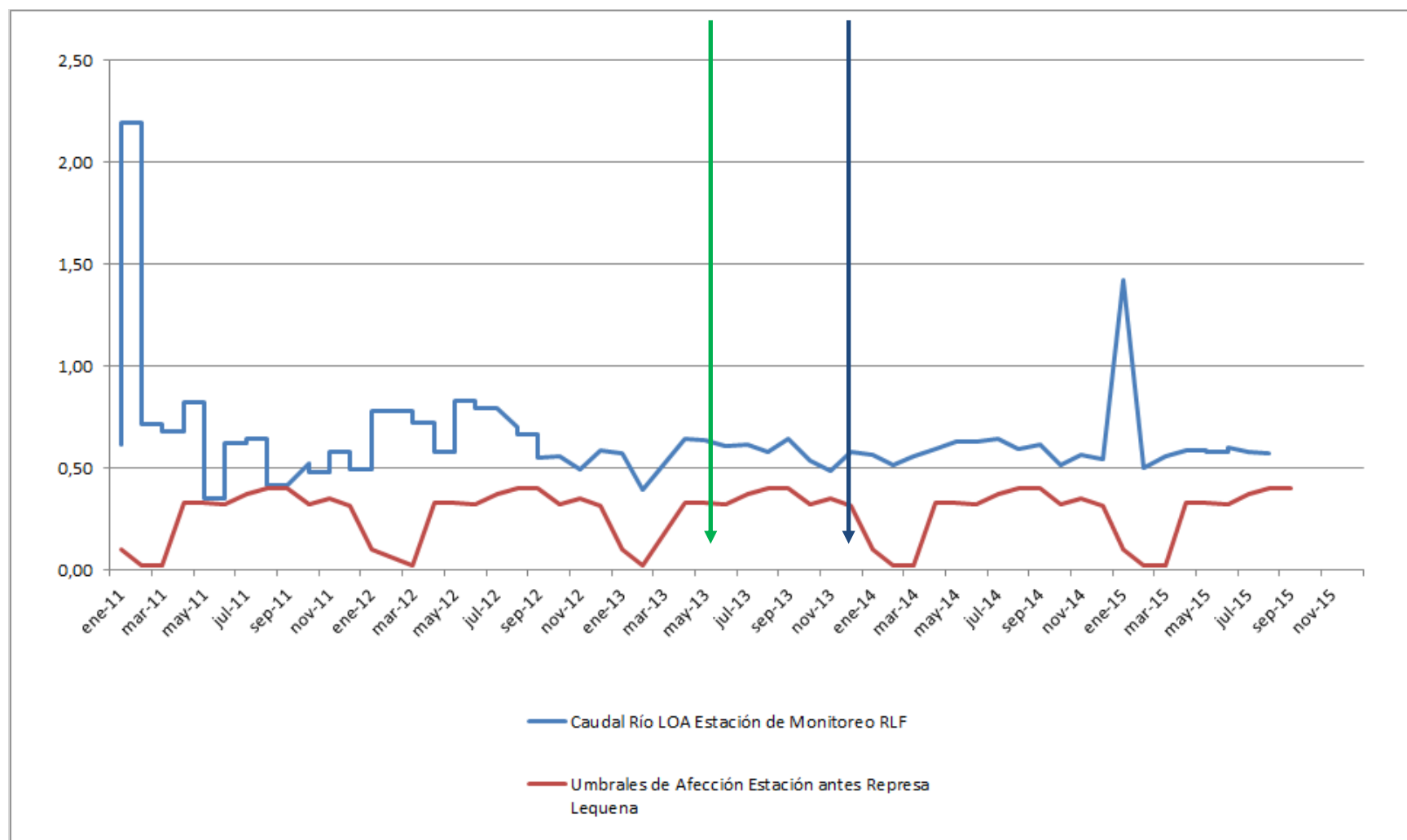
## Estación RLF

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 en la estación del río Loa **RLF**, que se encuentra antes de Represa Lequena, se presenta en la **Figura N° 5-14**.

Los caudales de la estación **RLF** registrados durante el periodo analizado tienen un promedio de 0,66 m<sup>3</sup>/s, cuya variación respecto del máximo y mínimo valor registrado es de 1,84 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 5-14 Caudales mensuales registrados en RLF**

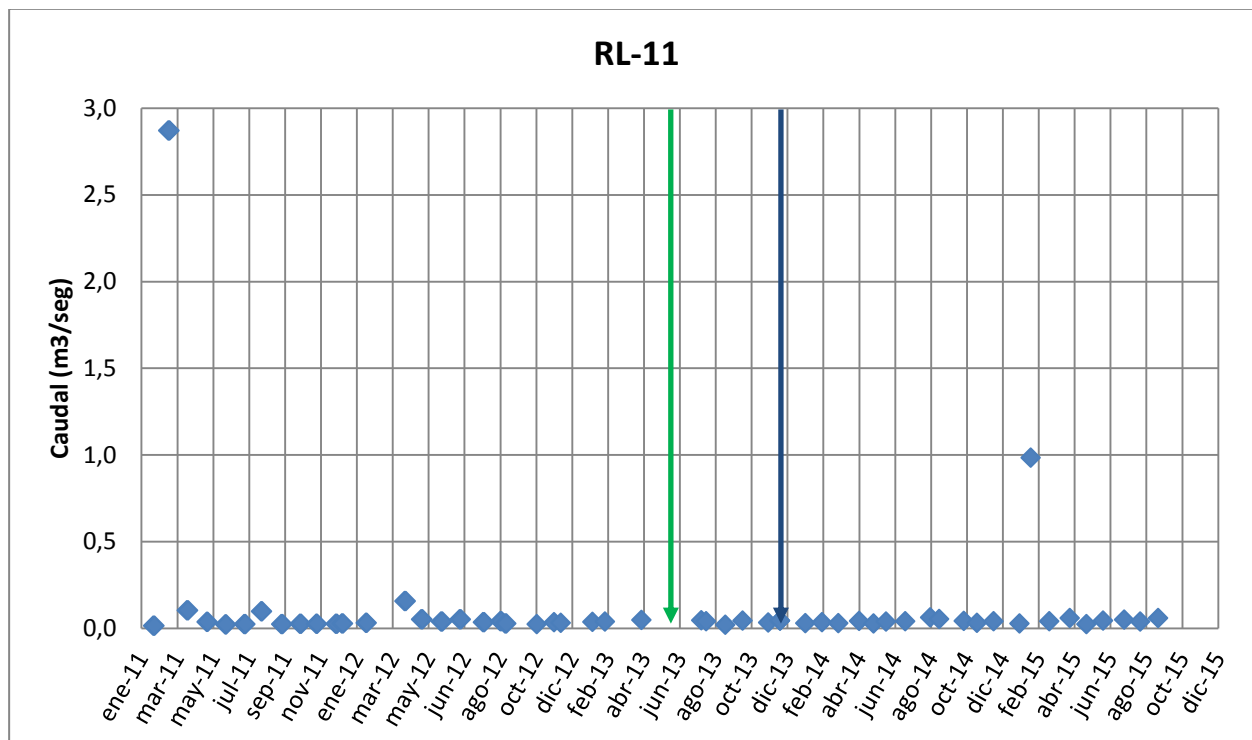


**Figura 5-14 (b) Caudales mensuales registrados en RLF con Umbral.**

## Estación RL-11

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 en la estación del río Loa **RL-11**, que se encuentra después de bocatoma Lequena, se presenta en la **Figura N° 5-15**.

Los caudales de la estación **RL-11** registrados durante el periodo analizado tienen un promedio de 0,13 m<sup>3</sup>/s, cuya variación es de 2,86 m<sup>3</sup>/s.

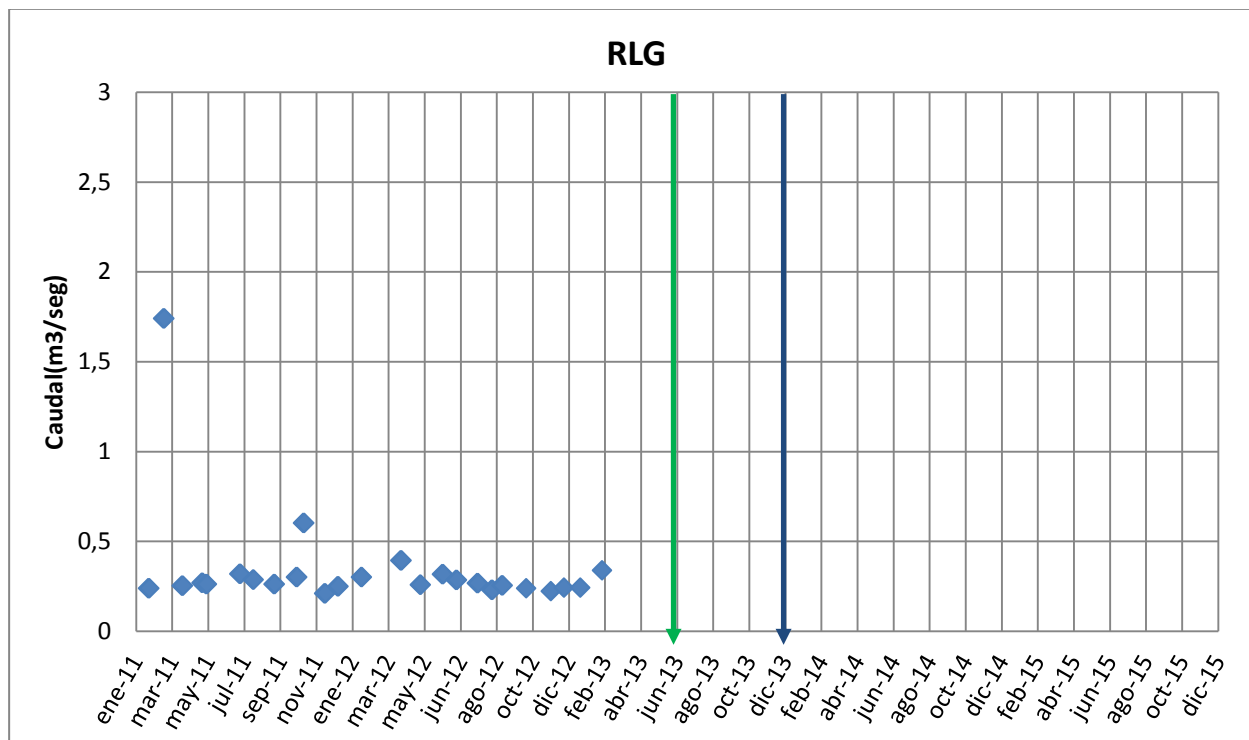


**Figura 5-15 Caudales mensuales registrados en RL-11.**

## Estación RLG

Esta estación sólo tiene disponible la serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 y febrero 2013, que corresponde al periodo presentado en informes anteriores, dado que no hay acceso al sector por mal estado del camino.

**Por tanto la** serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a febrero 2013 en la estación del río Loa **RLG**, que se encuentra en el sector Chela Cruz, se presenta en la **Figura Nº 5-16**.

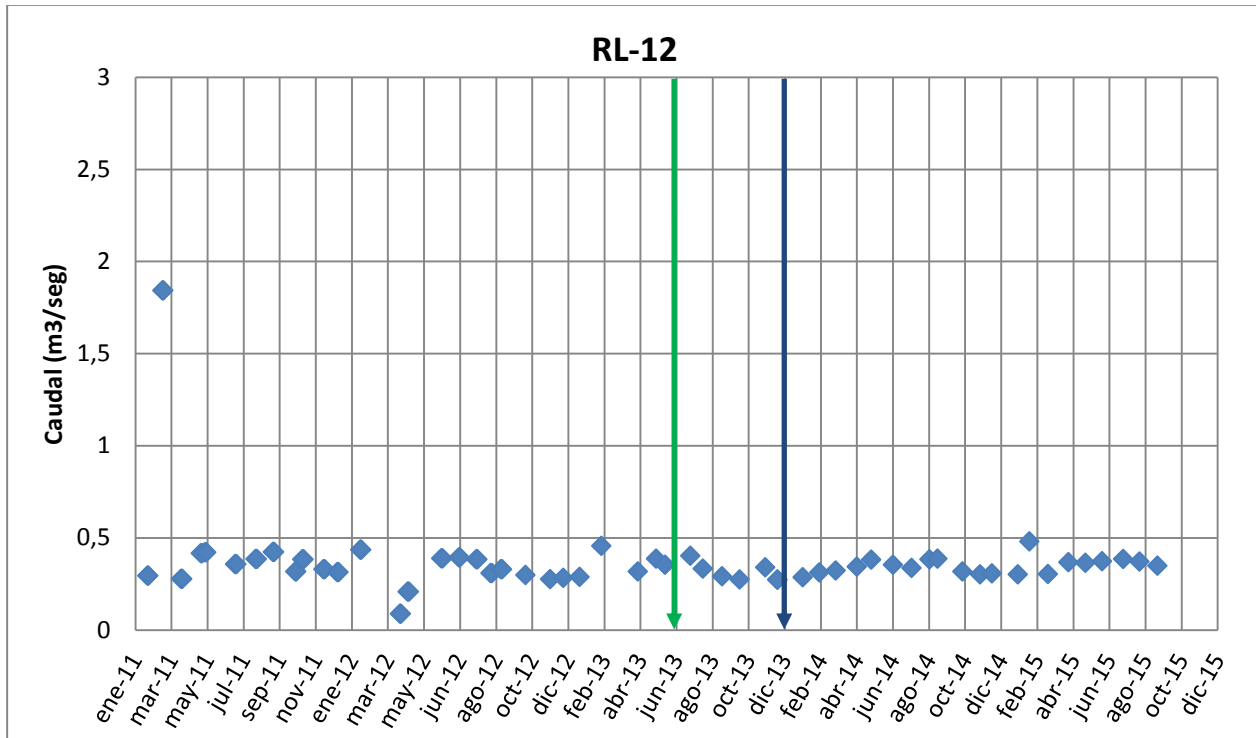


**Figura 5-16 Caudales mensuales registrados en RLG.**

## Estación RL-12

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2014 en la estación del río Loa **RL-12**, que se encuentra después de bocatoma Quinchamale, se presenta en la **Figura N° 5-17**.

Los caudales de la estación **RL-12** durante el periodo analizado tienen un promedio de  $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación es de  $1,76 \text{ m}^3/\text{s}$ .

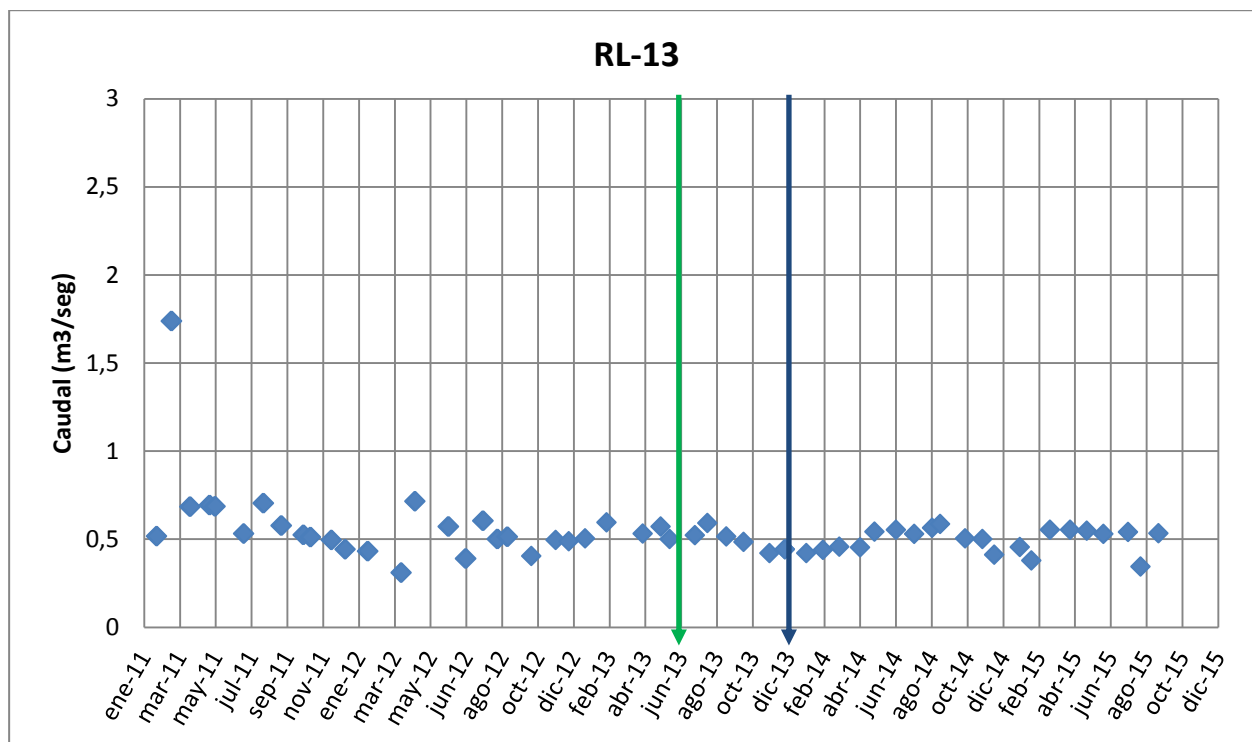


**Figura 5-17 Caudales mensuales registrados en RL-12.**

## Estación RL-13

La serie de caudales mensuales medidos durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 en la estación del río Loa **RL-13**, que se encuentra en sector Los Encuentros, se presenta en la **Figura N° 5-18**.

Los caudales de la estación **RL-13** durante el periodo analizado tienen un promedio de  $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya variación es de  $1,43 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 5-18 Caudales mensuales registrados en RL-13.**

### 5.3 Calidad del Agua Superficial

Las características físico química de las aguas superficiales del río Loa son monitoreadas mensualmente, en términos de los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Al, As, Aceites y Grasas, B, Br, Ca, Cd, Cl, CO<sub>3</sub>, Coliformes Fecales, Cr, Cu, DBO<sub>5</sub>, Detergentes, DQO, F, Fe, HCO<sub>3</sub>, HTC, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Pb, PO<sub>4</sub>, STD, Si, SO<sub>4</sub>, SS, ST, S, Turbiedad, y Zn. Cabe señalar que todos los metales corresponden a la fracción total.

A objeto de analizar el comportamiento de las características físico químicas de las aguas del río Loa, en la etapa de pre-bombeo y bombeo del campo de pozos de Pampa Puno, se han graficado los parámetros indicadores **Conductividad, pH y Sulfatos**.

Los gráficos presentes en este capítulo, presentan una línea vertical de color verde (junio 2013) que indica el inicio del bombeo preliminar o de pruebas hidráulicas y la de color azul el inicio del bombeo productivo (diciembre 2013).

Asimismo, con el fin de identificar los tipos de aguas, los registros anuales han sido graficados en un diagramas de Piper, así como también se han confeccionados diagramas de Stiff, utilizándose como fecha de referencia el mes de noviembre para los años de monitoreo en 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015.

En el ANEXO I se encuentra la estadística del período analizado de las características físico químicas medida en las estaciones del Río Loa, pertenecientes PAT de Pampa Puno.

En el ANEXO J se presentan los gráficos de todos los parámetros actualmente medidos.

## Estación RLA

La estación RLA se ubica en el sector de Paco-Paco, cercana a las nacientes del río Loa, y si bien no se encuentra en el río Loa mismo, es un importante afluente en este sector.

En las **Figuras 5-19, 5-20 y 5-21** se presenta el comportamiento de la Conductividad, el pH y los sulfatos medidos en la estación RLA. Cabe destacar que por problemas de acceso no se ha podido llegar a esta estación desde enero del 2012 es por esto, que no se tienen registros desde esa fecha en adelante.

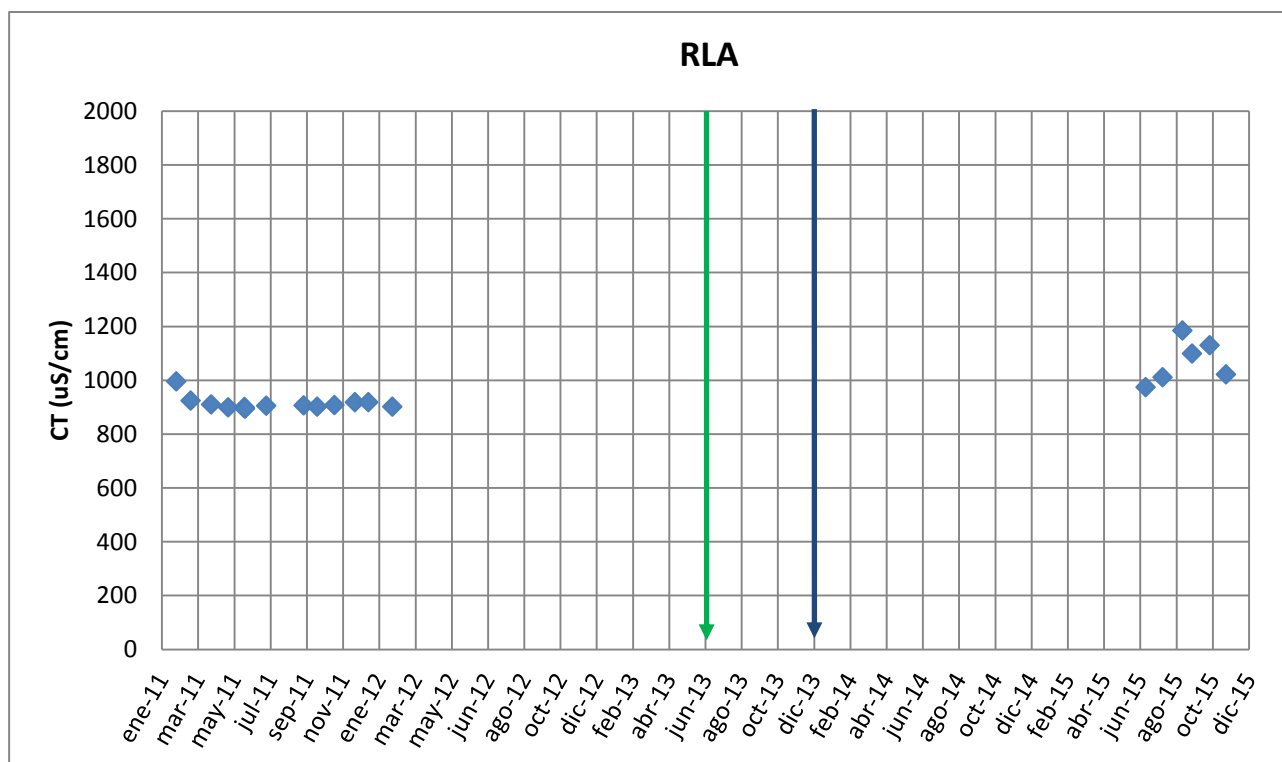
Dado que no existe nueva data desde enero de 2012, no se han realizado nuevos análisis desde el informe anterior. Por tanto a modo de continuidad se presentan los últimos resultados reportados. Todo esto por la imposibilidad de acceder al sector.

La **Conductividad** se presenta estable durante el periodo con valores en un rango entre 894 y 1184,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y un promedio de 957,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

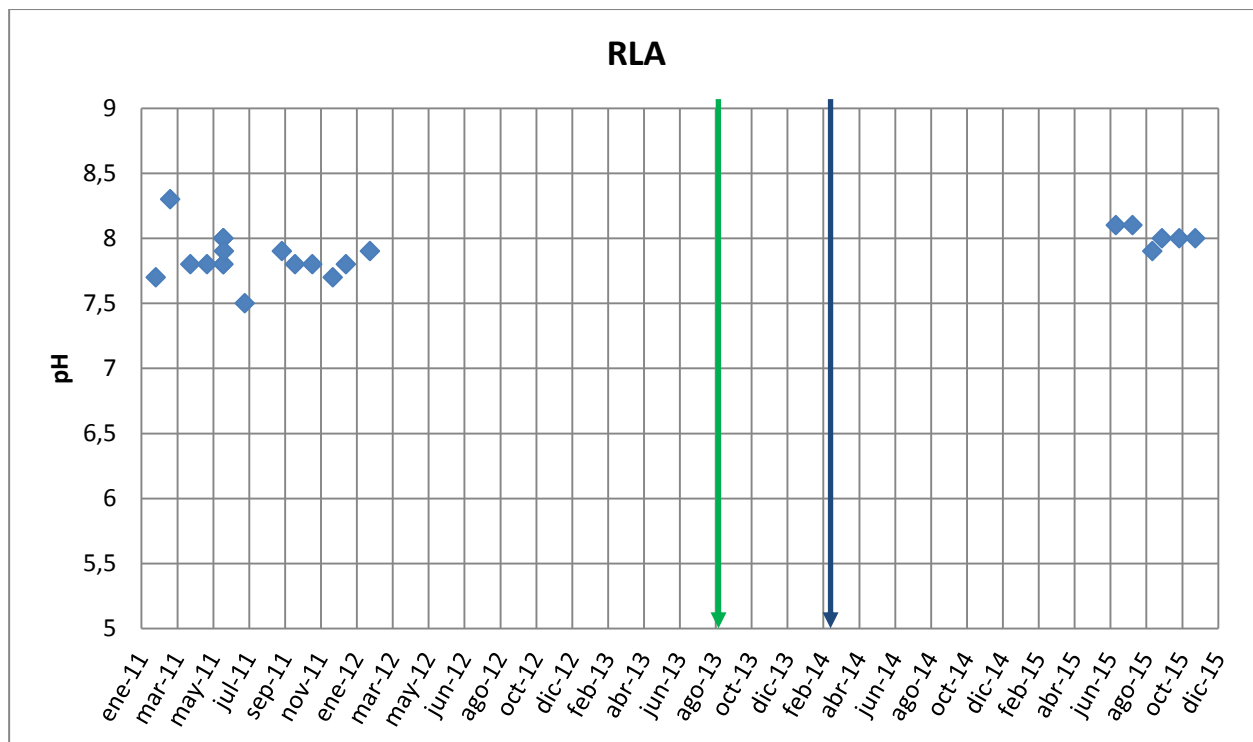
El **pH** se muestra estable en un rango de entre 7,5 y 8,3.

Por su parte, los contenidos de **Sulfatos** presentan valores entre 183 y 221 mg/L y un promedio de 195,5 mg/L.

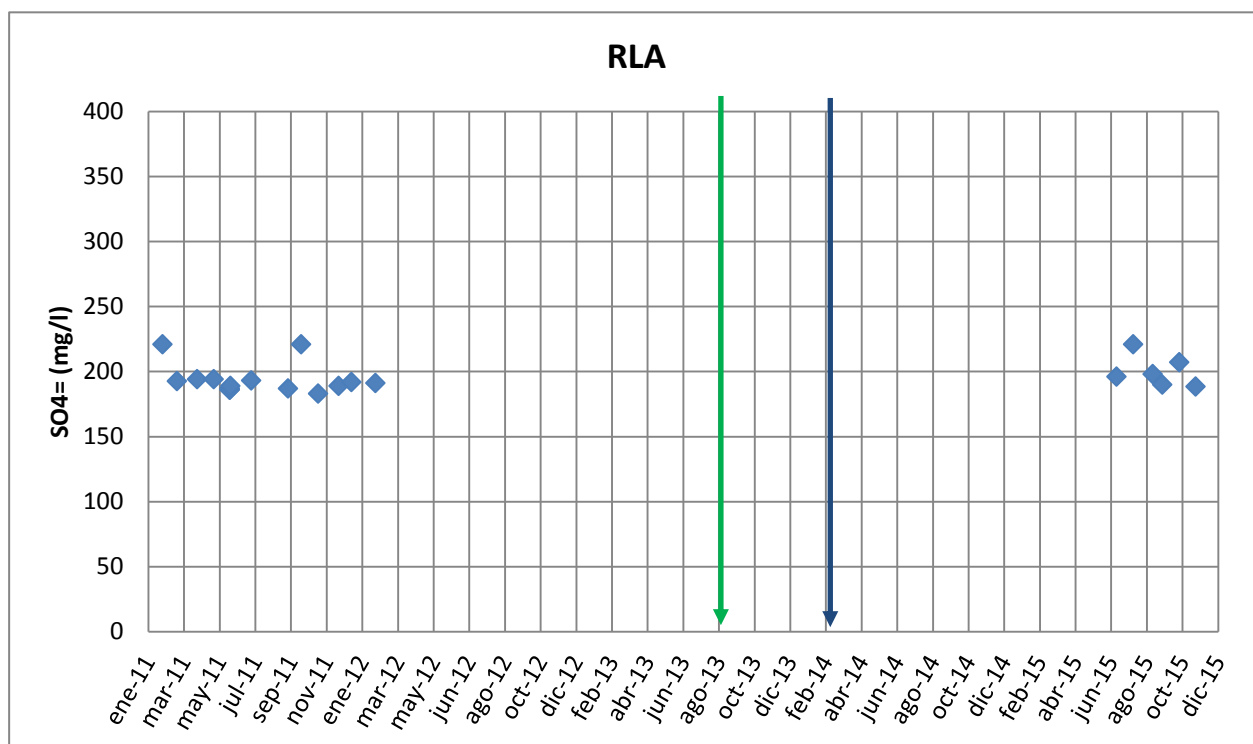
Las aguas en RLA son caracterizadas principalmente por aguas **Sulfatadas-Cloruradas/Sódicas-Cálcicas**, como se observa en el diagrama de Piper. De igual manera en el diagrama de Stiff. Lo que explica su conductividad relativamente alta.



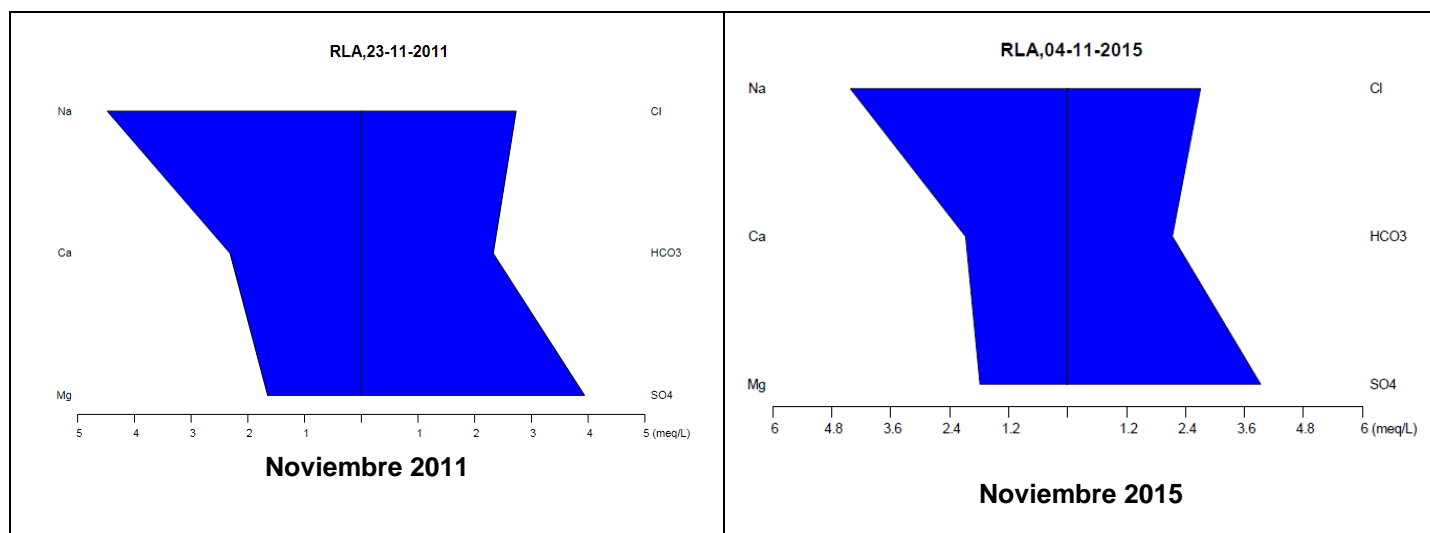
**Figura 5-19 Comportamiento de la Conductividad de aguas en RLA.**



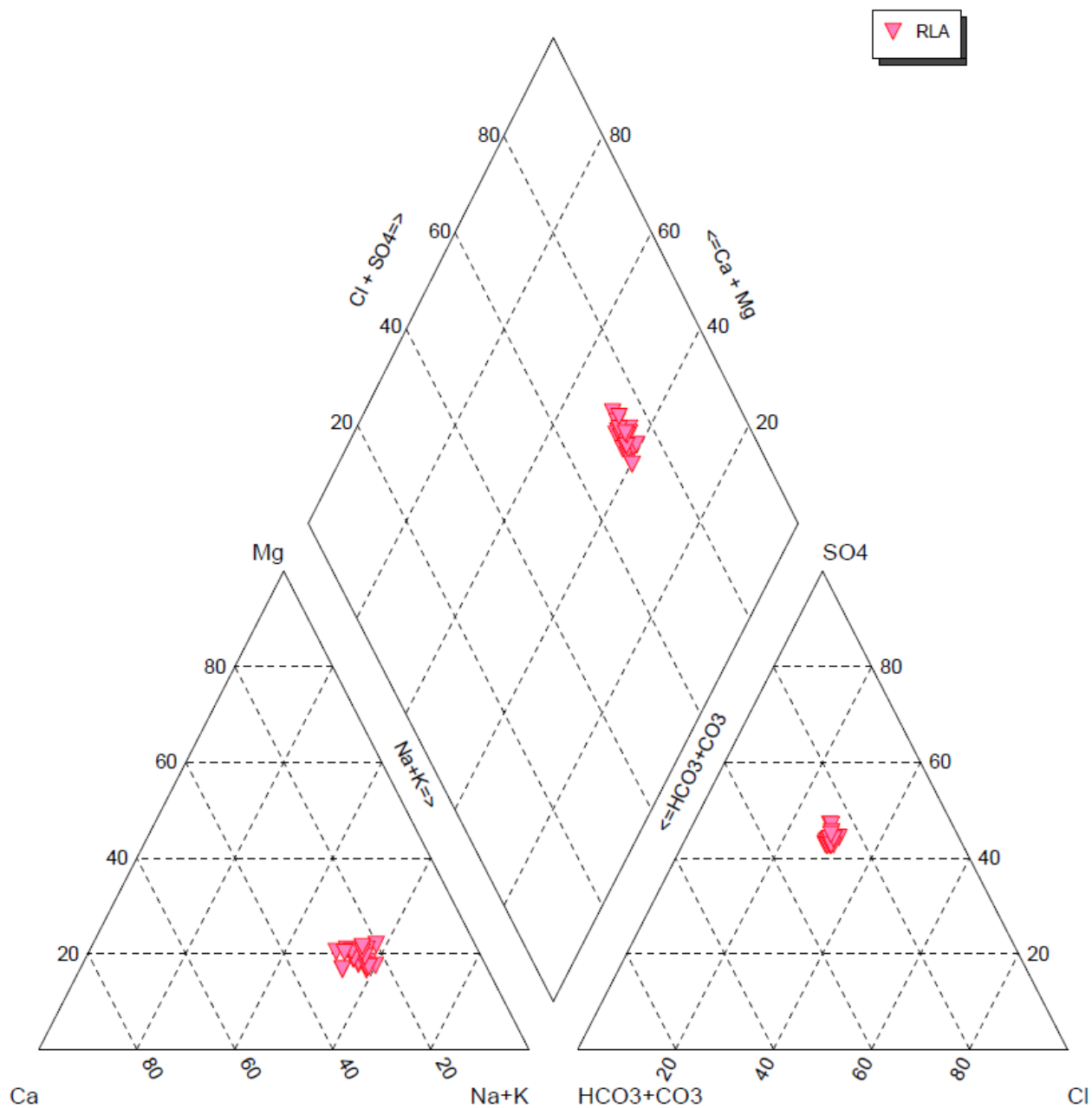
**Figura 5-20 Comportamiento del pH de aguas en RLA**



**Figura 5-21 Comportamiento de los Sulfatos de aguas en RLA**



**Figura 5-22 Diagrama de Stiff RLA.**



**Figura 5-23 Diagrama de Piper del pozo RLA.**

## Estación RLB

La estación RLB se ubica en el sector de Quebrada Esquina, en la primera sección del río Loa, por lo que su calidad representa la calidad natural del río Loa. Cabe mencionar que no se presentan datos para el mes de mayo de 2015.

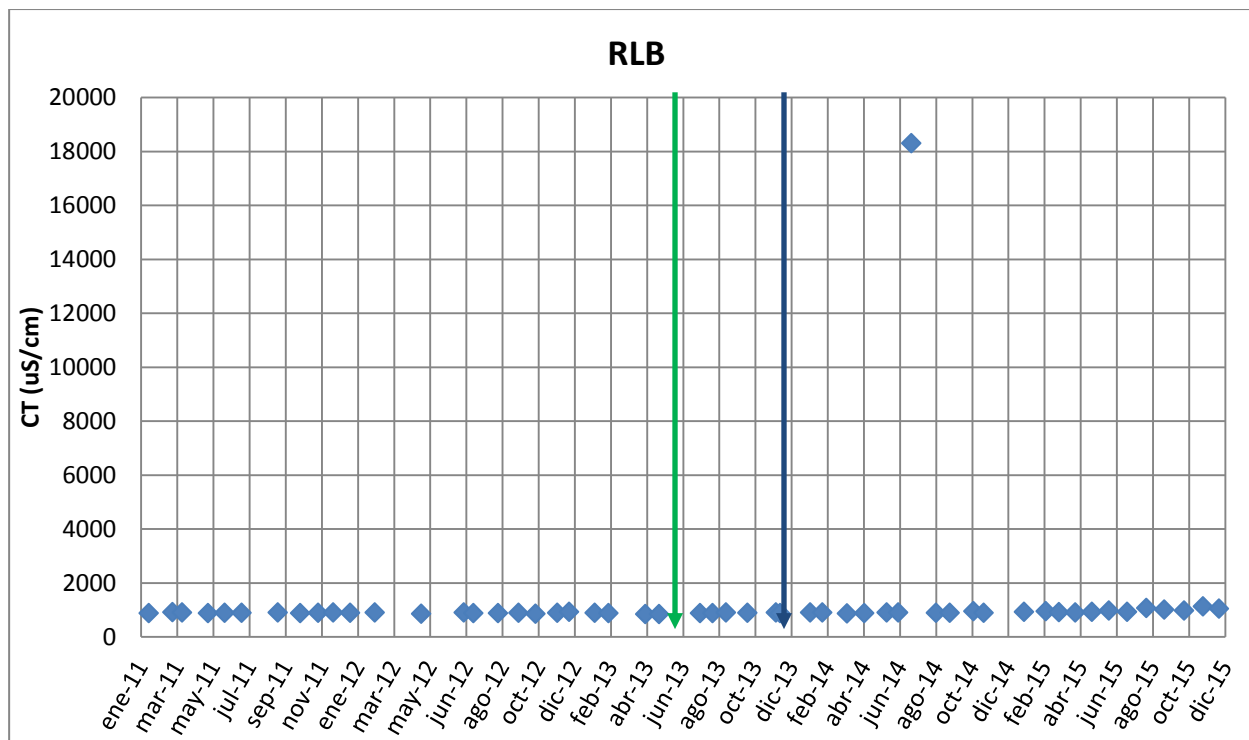
En las **Figuras 5-24, 5-25 y 5-26** se presenta el comportamiento de la Conductividad, sulfatos y el pH, medido en la estación RLB.

Para la **Conductividad** se observa un comportamiento estable con valores en un rango entre los 836  $\mu\text{S/cm}$  y 1119,1  $\mu\text{S/cm}$ , con un promedio de 903,4  $\mu\text{S/cm}$ .

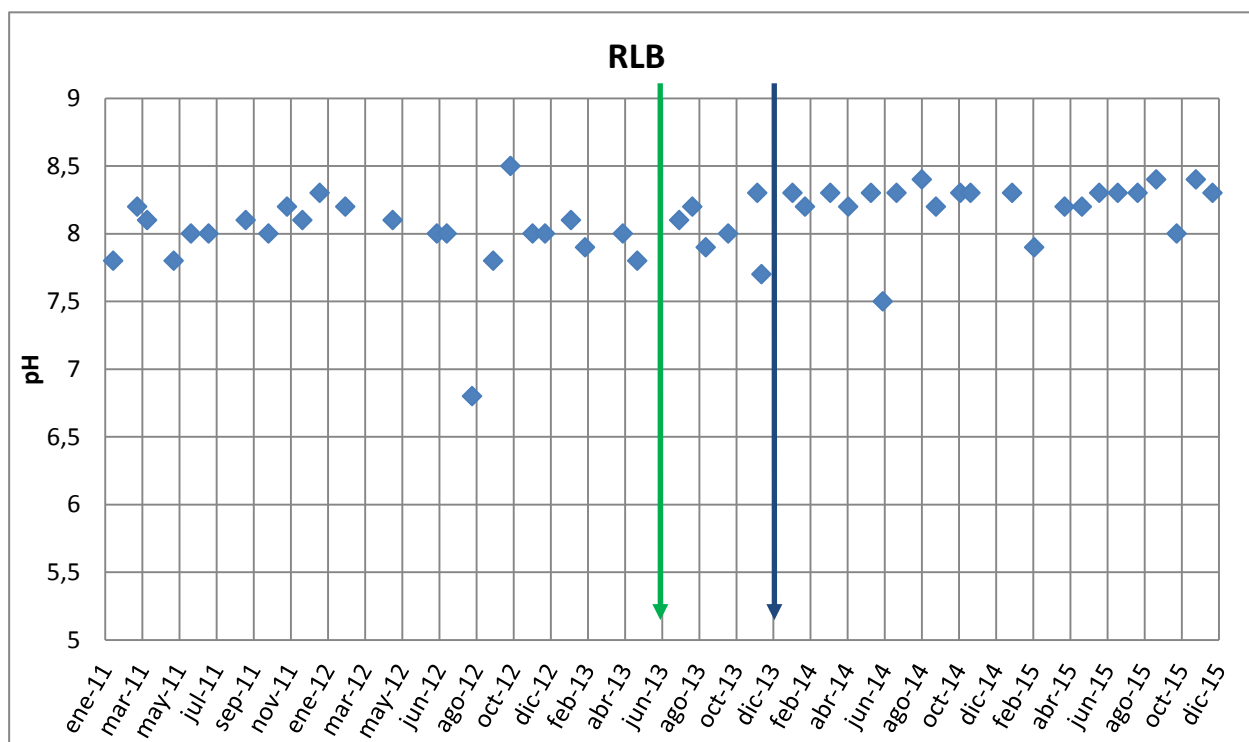
El **pH** se muestra estable, con valores cercanos a 8, dentro del rango 4,8 y 8,5.

Por su parte los contenidos de **Sulfatos** durante el periodo de enero 2011 a diciembre 2015 presentan un comportamiento similar al de la Conductividad con valores entre los 158 mg/L y 224,3 mg/L, con un promedio de 195,2 mg/L.

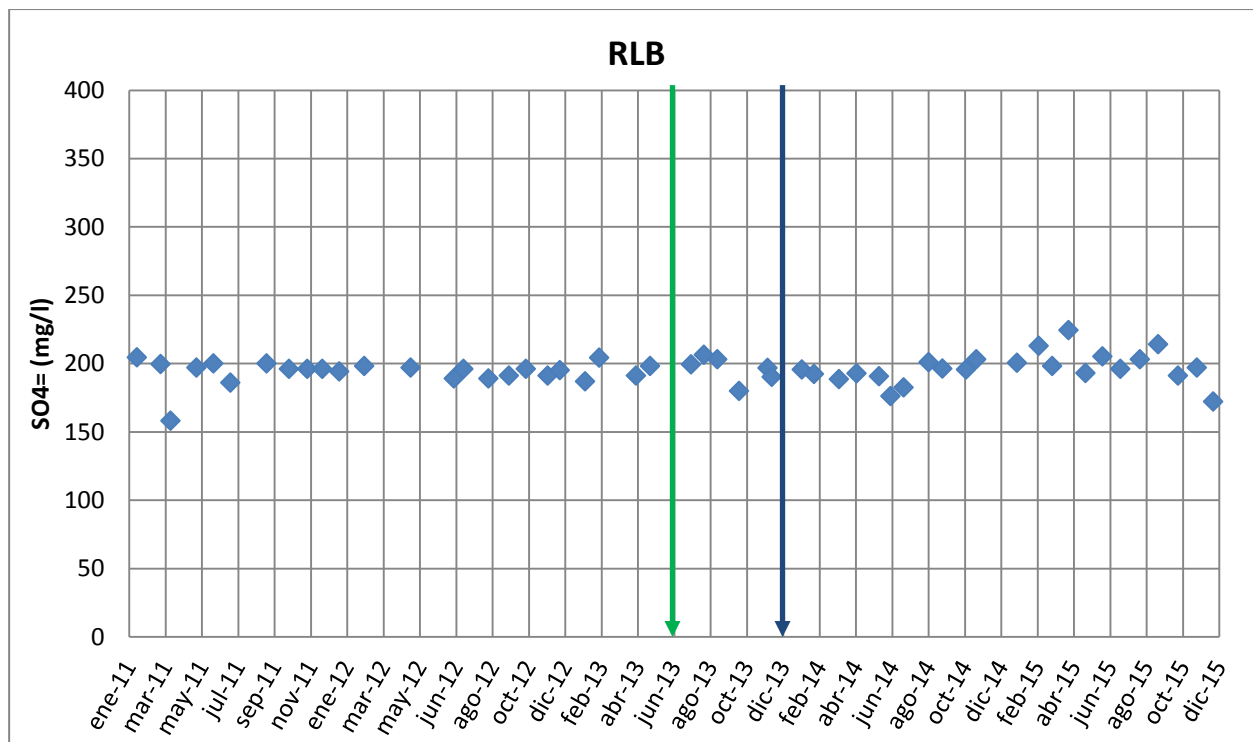
Las aguas en RLB son caracterizadas principalmente por aguas **Sulfatadas /Sódicas- Cloruradas**, como se observa en el diagrama de Piper.



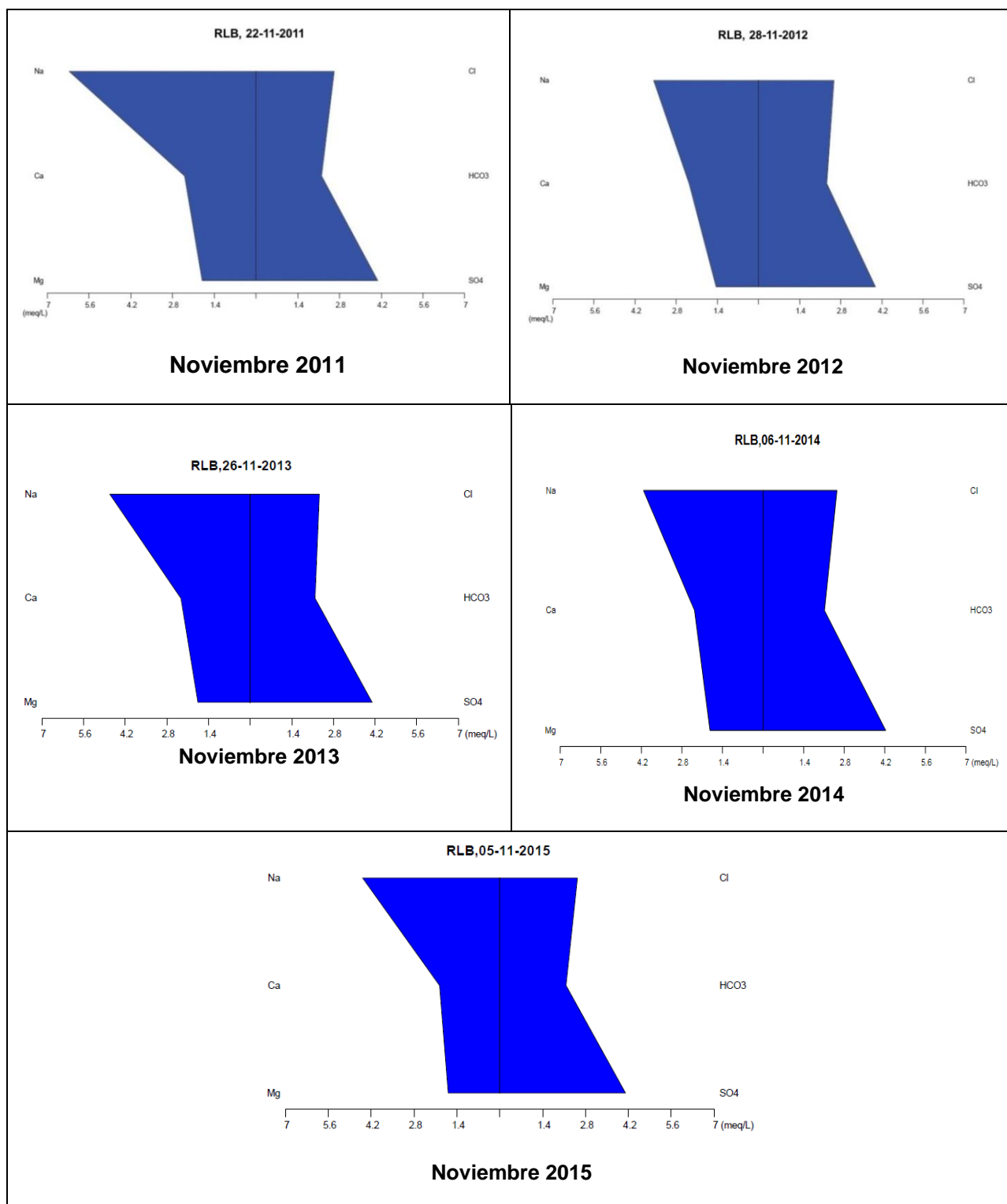
**Figura 5-24 Comportamiento de la Conductividad de aguas en RLB**



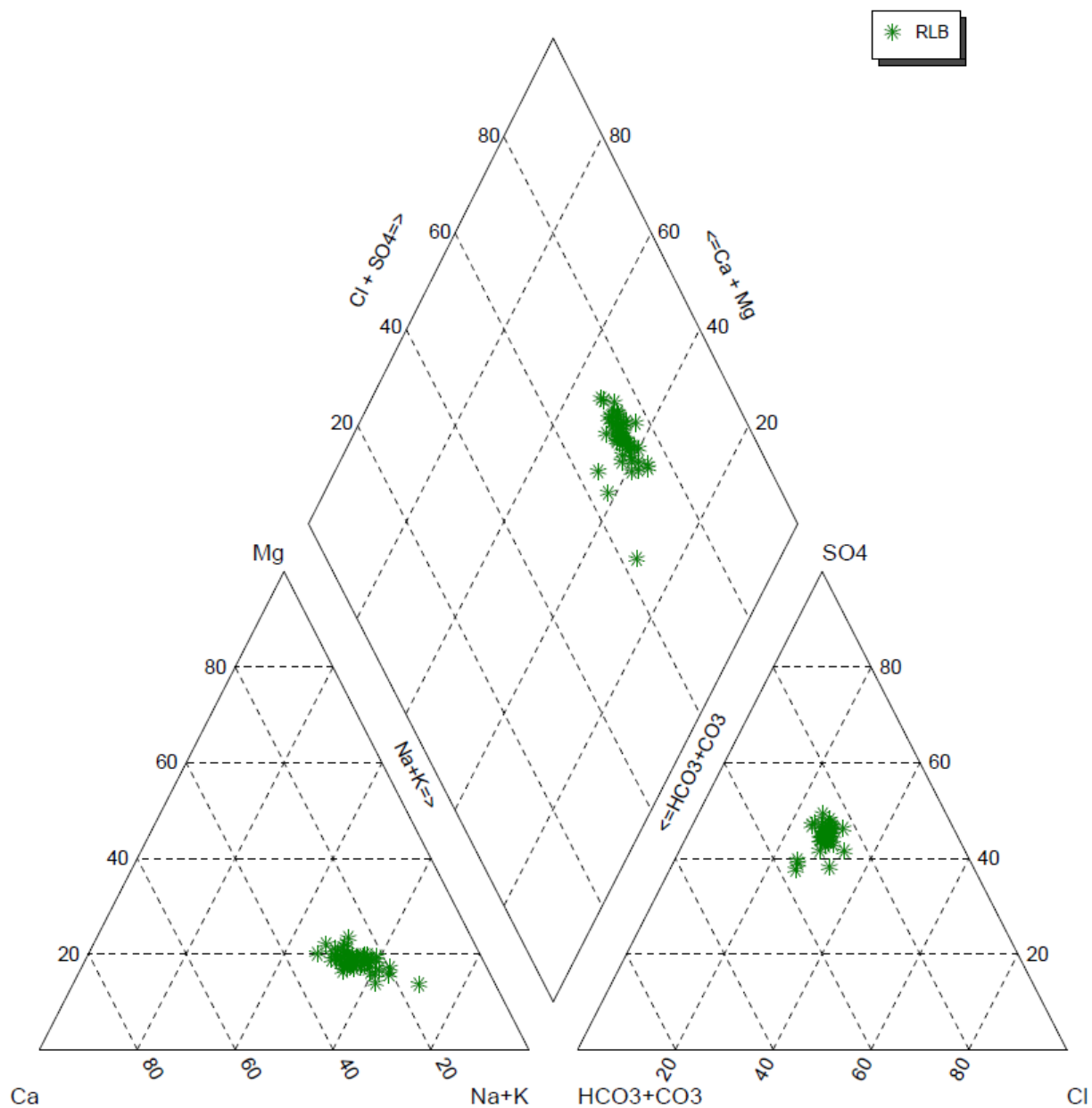
**Figura 5-25 Comportamiento del pH de aguas en RLB**



**Figura 5-26 Comportamiento de los Sulfatos de aguas en RLB**



**Figura 5-27 Diagrama de Stiff RLB.**



**Figura 5-28 Diagrama de Piper de la Estación RLB.**

## Estación RLC

La estación RLC se ubica en el sector de Pampa Bacañán, en la primera sección del río Loa, por lo que su calidad representa la calidad natural del río Loa. La calidad medida en RLC mantiene las mismas características que las observadas desde las nacientes del río Loa.

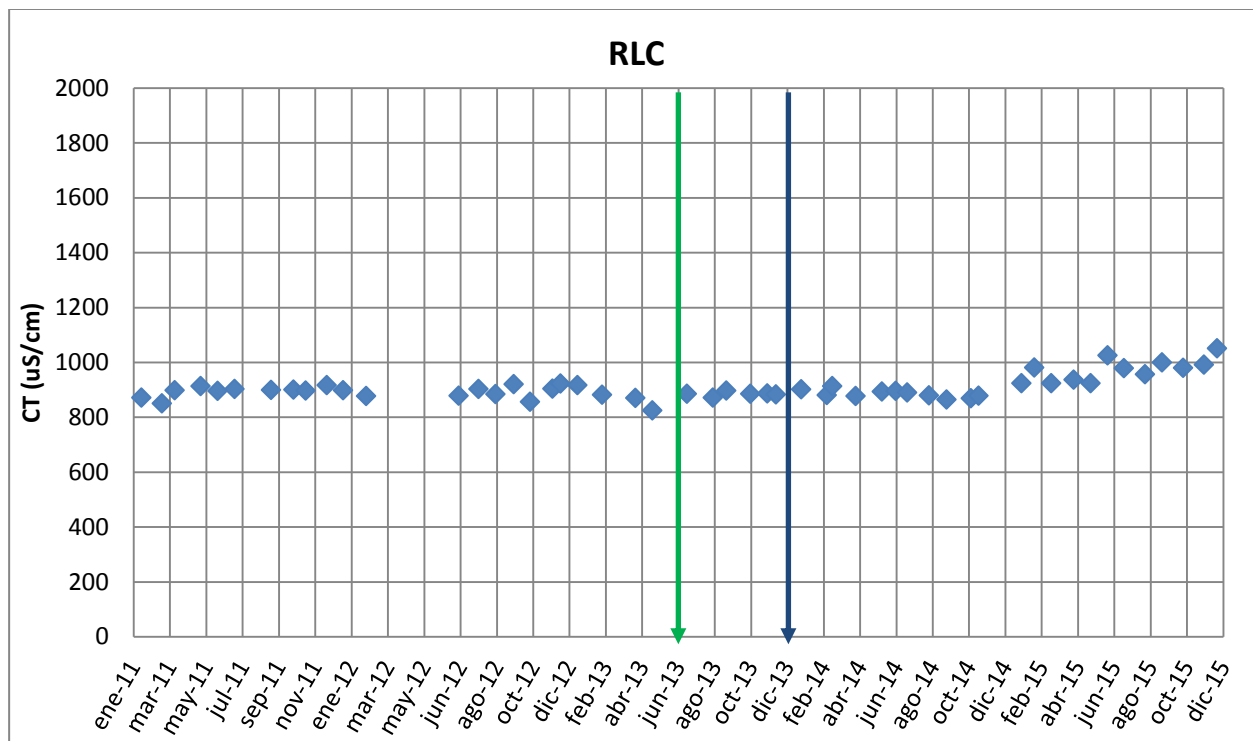
En las **Figuras 5-29, 5-30 y 5-31** se presenta el comportamiento de la Conductividad, sulfatos y el pH medido en la estación RLC.

La **Conductividad** se presenta estable considerando el periodo completo de análisis, con un promedio de 896,53  $\mu\text{S/cm}$ , con valores en un rango entre los 824  $\mu\text{S/cm}$  y 1.050,5  $\mu\text{S/cm}$ .

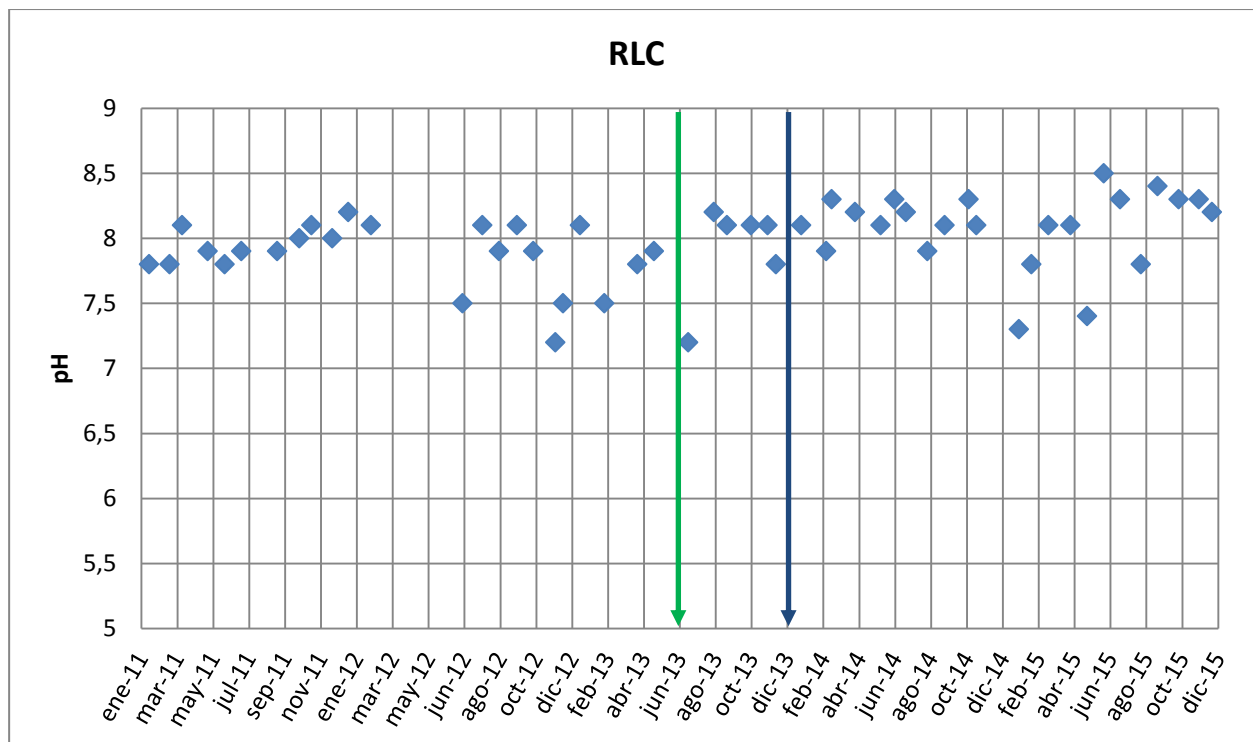
El **pH** se muestra con ascensos y descensos continuos durante el periodo de medición, en un rango de entre 7,2 pH y 8,5 pH.

Por su parte, los contenidos de **Sulfatos** presentan un comportamiento similar al de la conductividad con valores entre 164 mg/L y 225 mg/L, con un promedio de 198,5 mg/L.

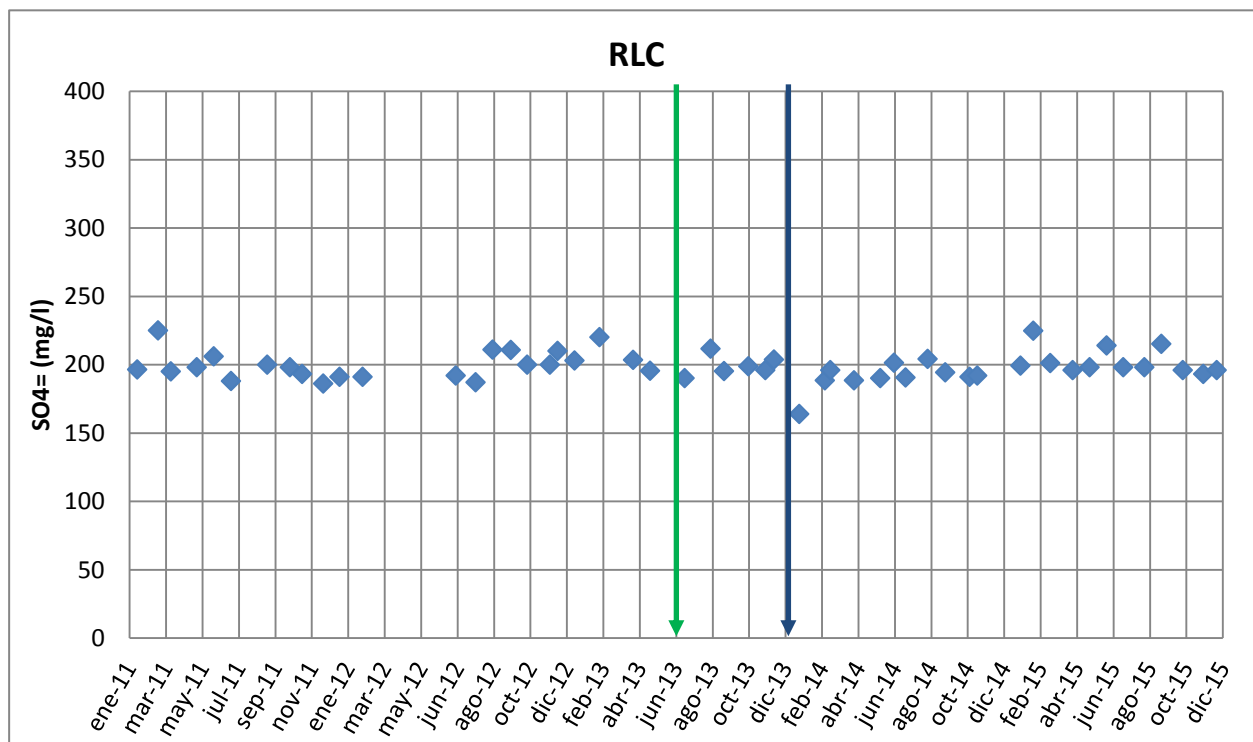
Las aguas en RLC son caracterizadas principalmente por aguas **Sulfatadas /Sódicas** como se observa en el diagrama de Piper. De igual manera en los diagramas de Stiff.



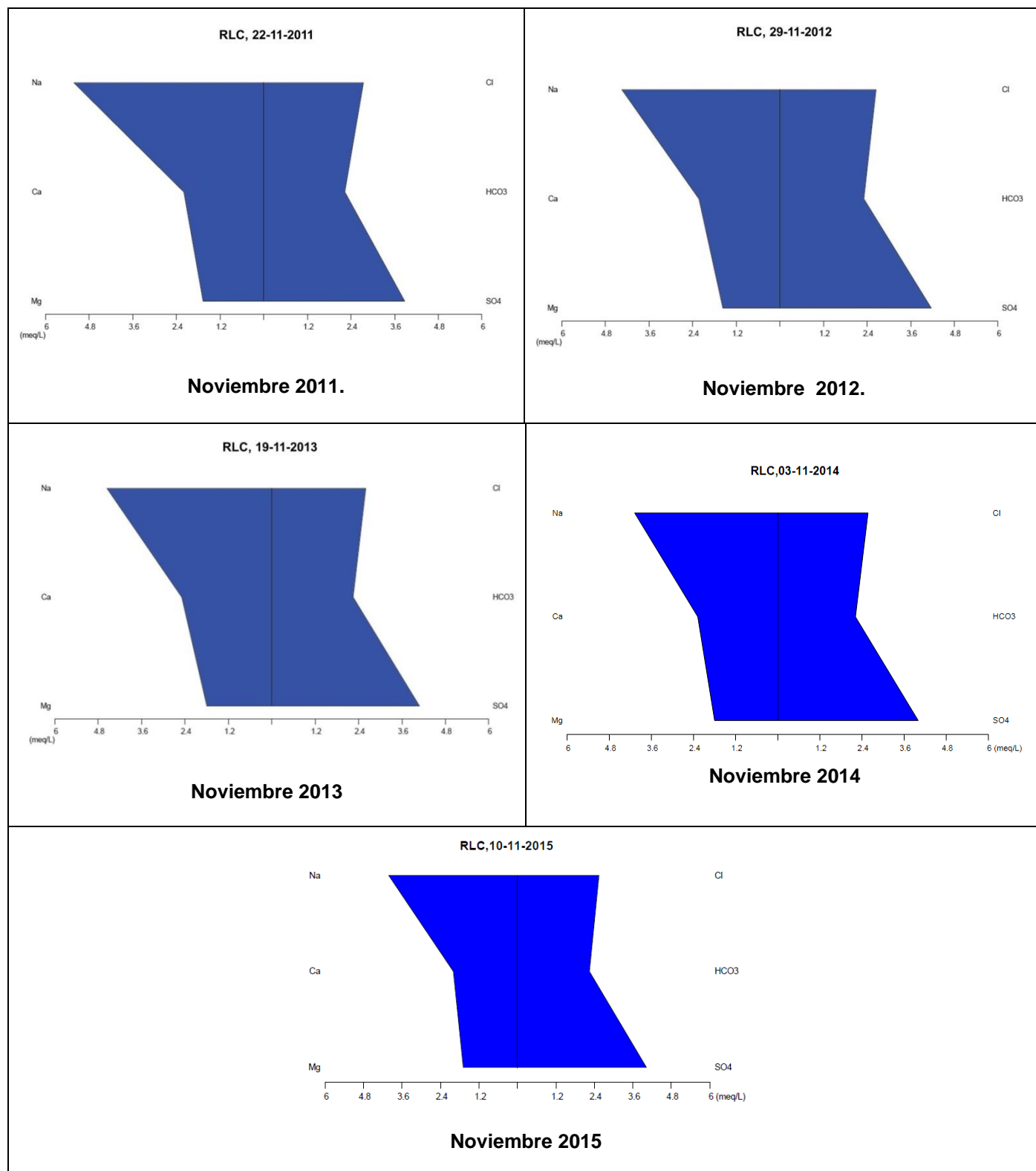
**Figura 5-29 Comportamiento de la Conductividad de aguas en RLC**



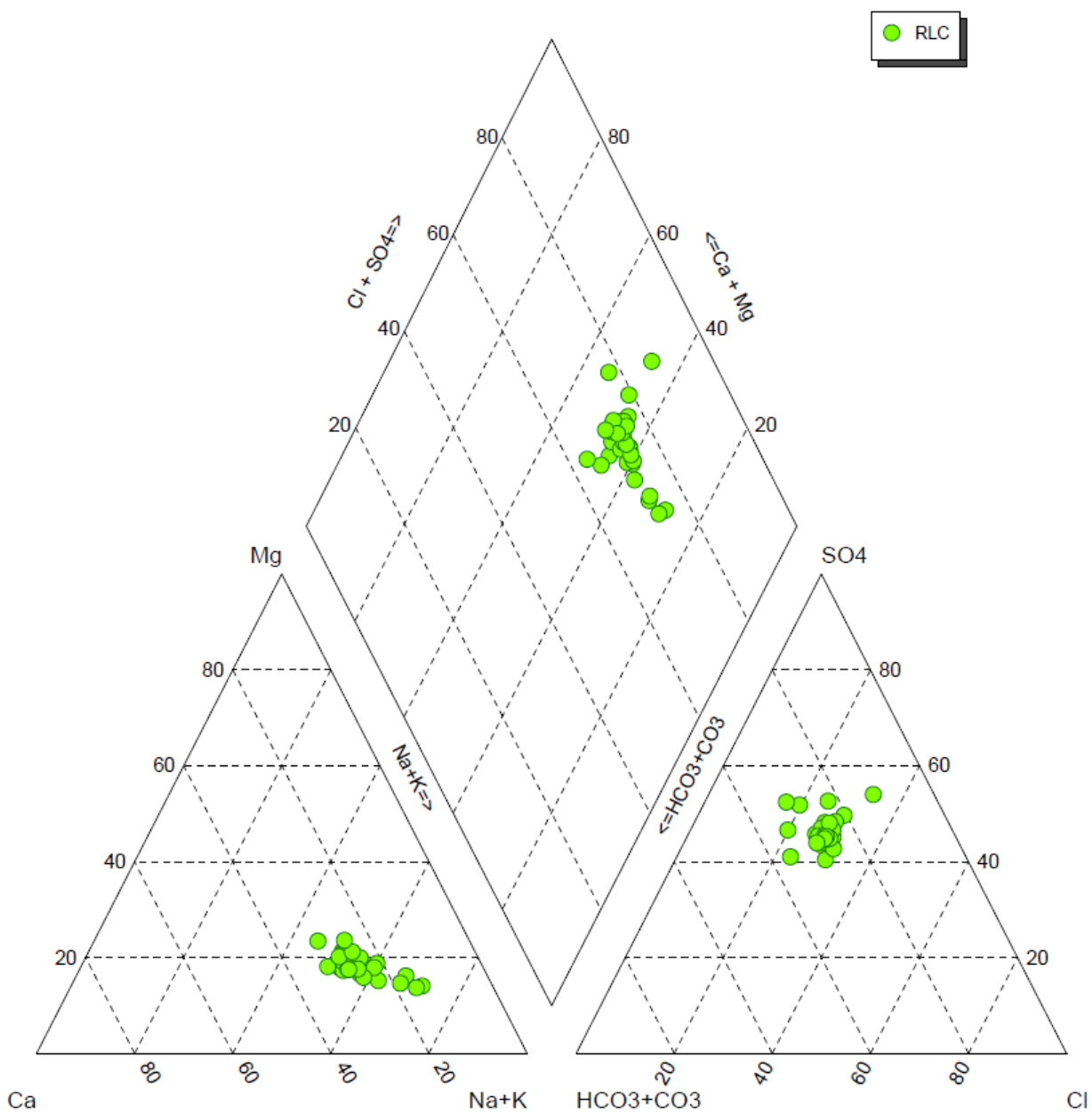
**Figura 5-30 Comportamiento del pH de aguas en RLC**



**Figura 5-31 Comportamiento de los Sulfatos de aguas en RLC**



**Figura 5-32 Diagrama de Stiff RLC.**



**Figura 5-33 Diagrama de Piper de la Estación RLC.**

## Estación RLD

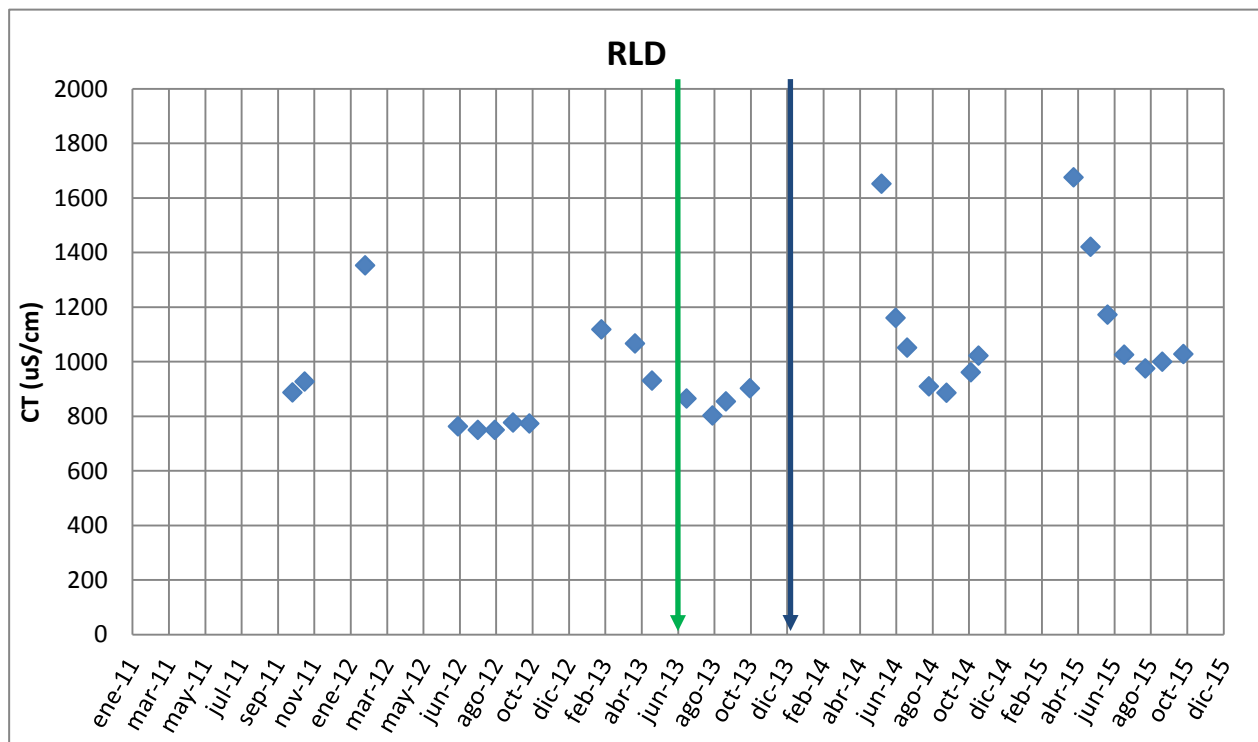
La estación RLD se ubica en el río Chela, afluente a la primera sección del río Loa. En las **Figuras 5-34, 5-35 y 5-36** se presenta el comportamiento de la Conductividad, sulfatos y el pH medido en la estación RLD. Cabe indicar que para este pozo se presentan algunos meses sin medición durante el periodo, existiendo para 2015 solo la medición entre marzo y diciembre.

La **Conductividad** tiene un valor promedio de 1.062,71  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

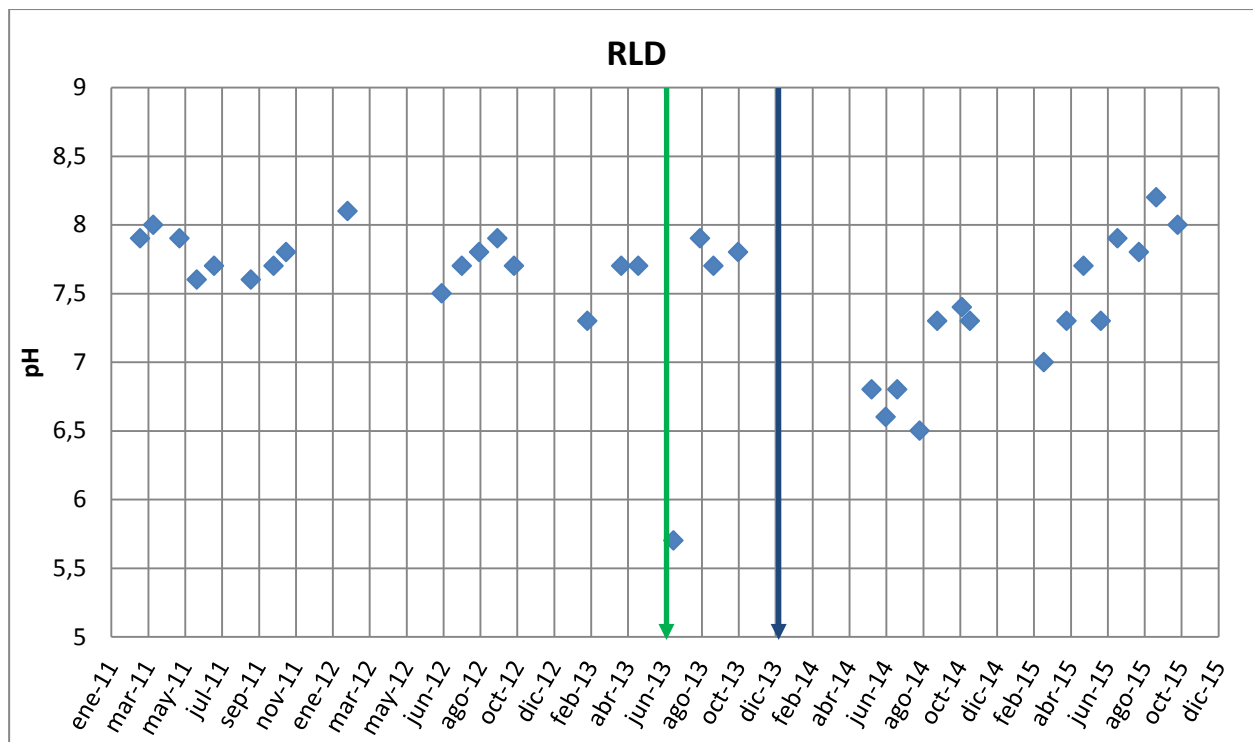
El **pH** se muestra estable en un rango entre los 5,7 y 8,2.

Por su parte, los contenidos de **Sulfatos** presentan un promedio de 237 mg/l, cuyos valores registrados comprenden entre los 121 mg/l y 755 mg/l.

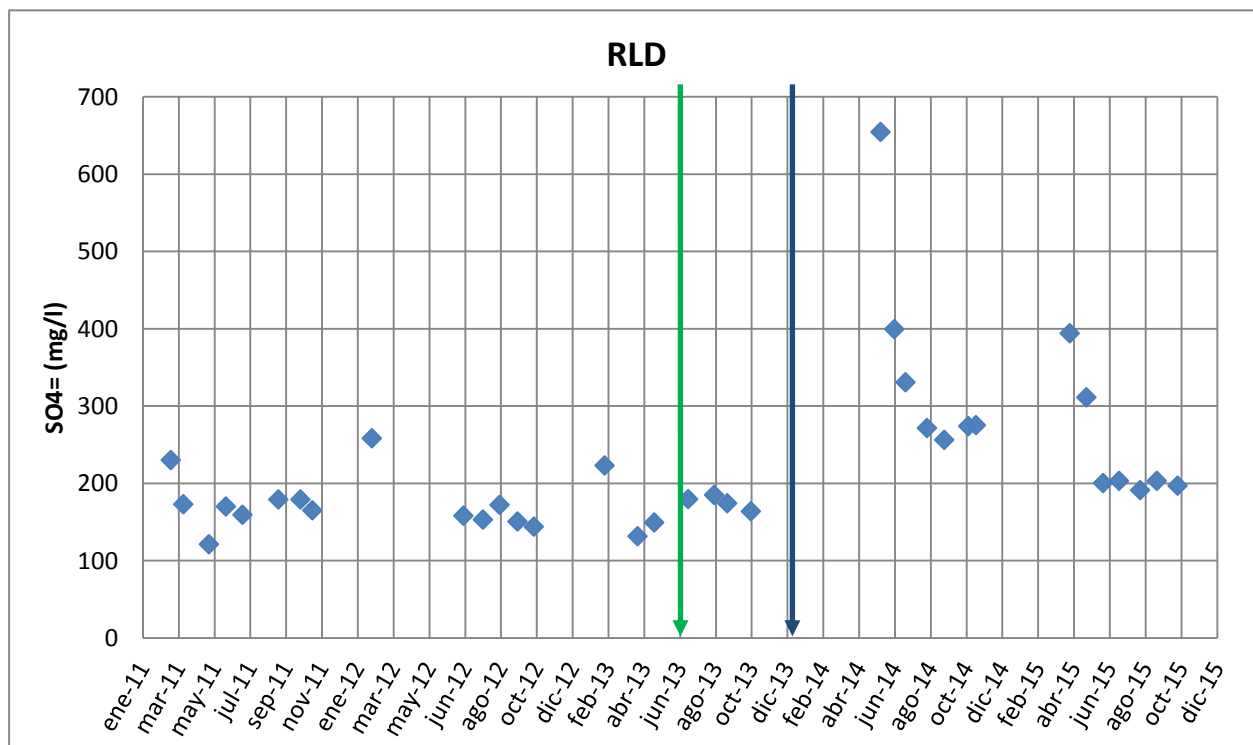
Las aguas en RLD son caracterizadas principalmente por aguas **Sulfatadas-Cloruradas/Sódicas-Cálcicas**, como se observa en el diagrama de Piper. De manera similar en el diagrama de Stiff del mes de Noviembre.



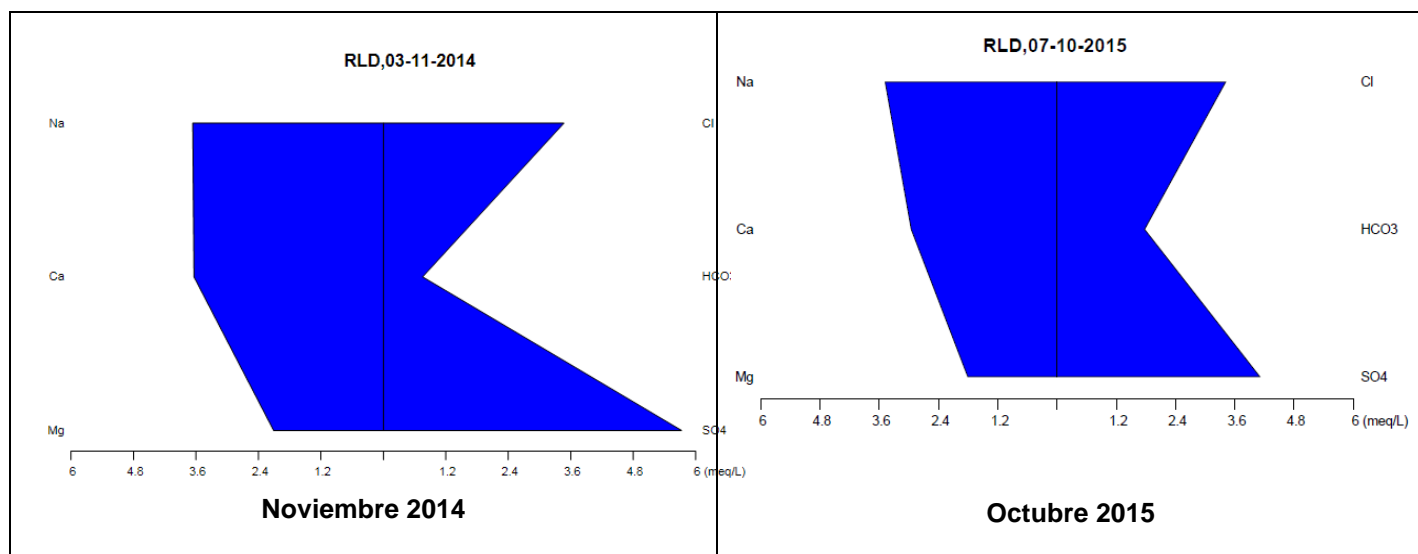
**Figura 5-34 Comportamiento de la Conductividad de aguas en RLD**



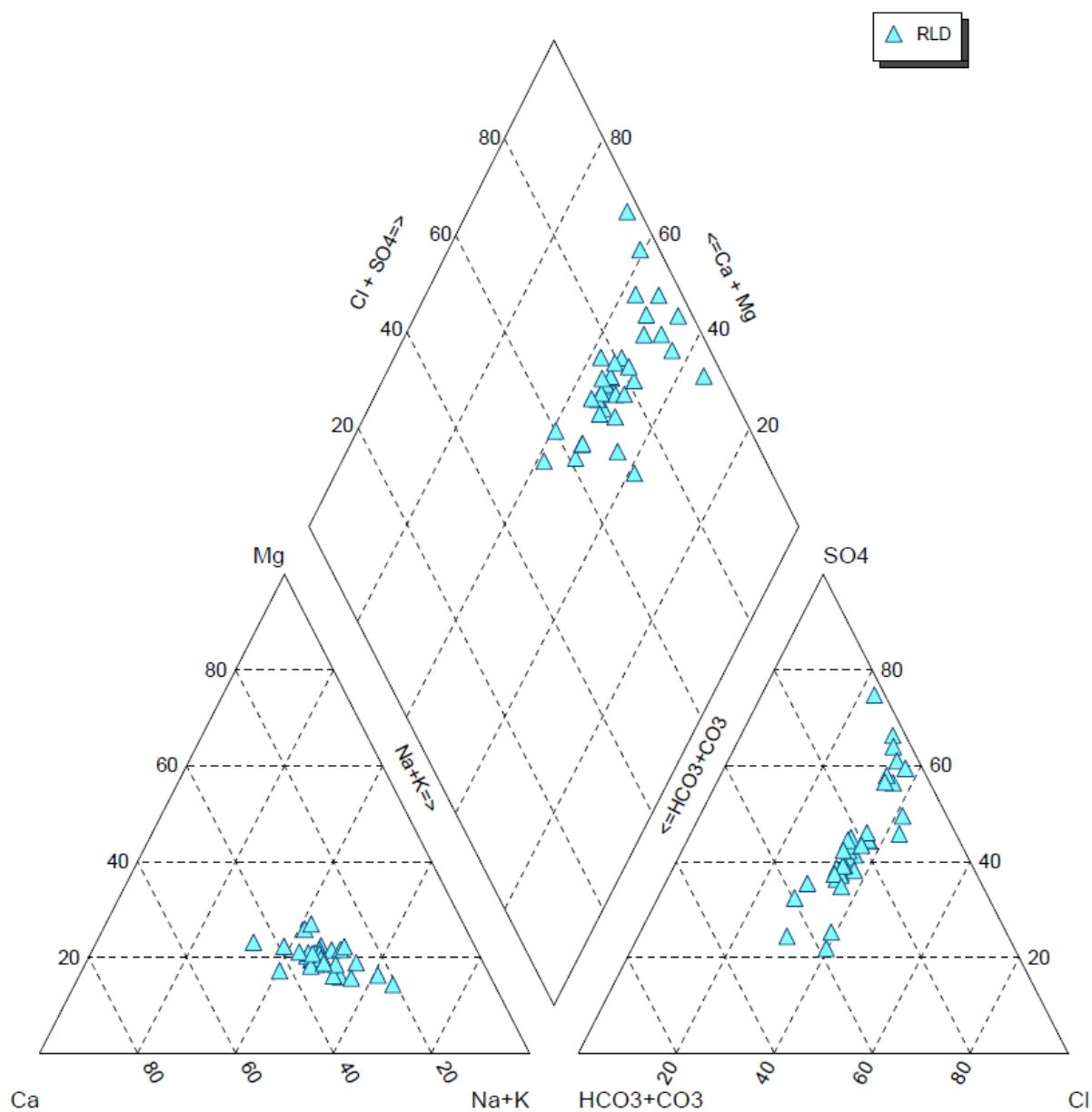
**Figura 5-35 Comportamiento del pH de aguas en RLD**



**Figura 5-36 Comportamiento de los Sulfatos de aguas en RLD**



**Figura 5-37 Diagramas Stiff Estación RLD.**



**Figura 5-38 Diagrama de Piper de la Estación RLD.**

## Estación RLE

La estación RLE se ubica en el sector de Quebrada Chala, en la primera sección del río Loa, por lo que su calidad representa la calidad natural del río Loa. Sin embargo, esta estación se encuentra sin acceso desde diciembre 2014.

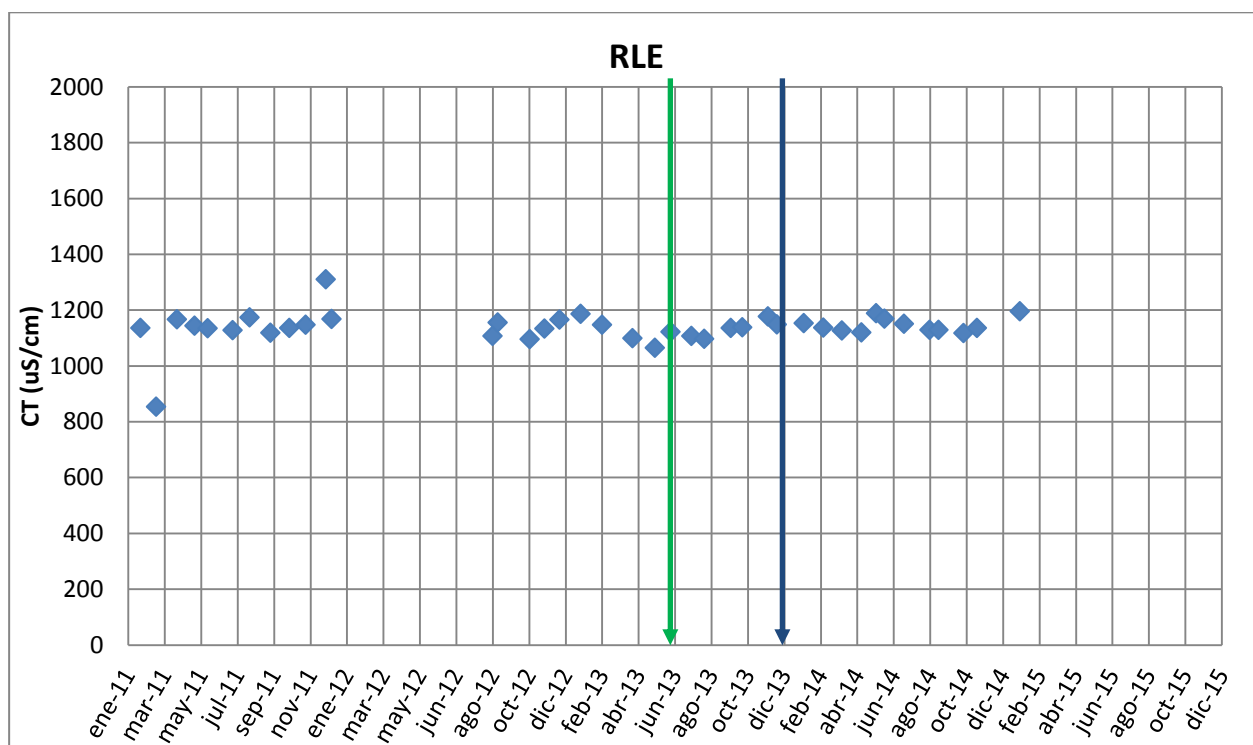
En las **Figuras 5-39, 5-40 y 5-41** se presenta el comportamiento de la Conductividad, sulfatos y pH, medidos en la estación RLE. Cabe indicar que para este pozo faltan las mediciones entre enero y julio 2012.

La **Conductividad** se presenta entre enero de 2011 y noviembre de 2014 con un valor promedio de 1.134  $\mu\text{S/cm}$ , y un rango entre 853  $\mu\text{S/cm}$  y 1.310  $\mu\text{S/cm}$ .

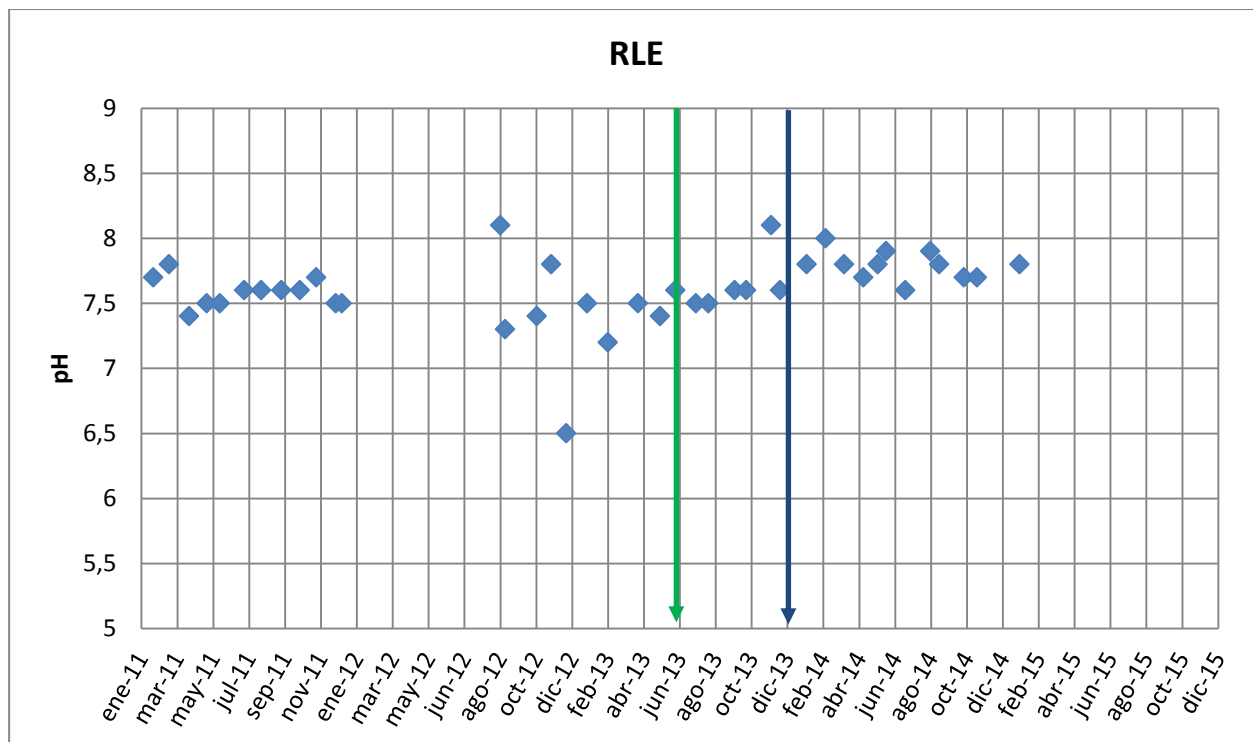
El **pH** se muestra estable, con valores entre los 6,5 y 8,1.

Por su parte, los contenidos de **Sulfatos** presentan un comportamiento similar al de la Conductividad con valores entre 203 mg/L y 266 mg/L, con un promedio de 224 mg/L.

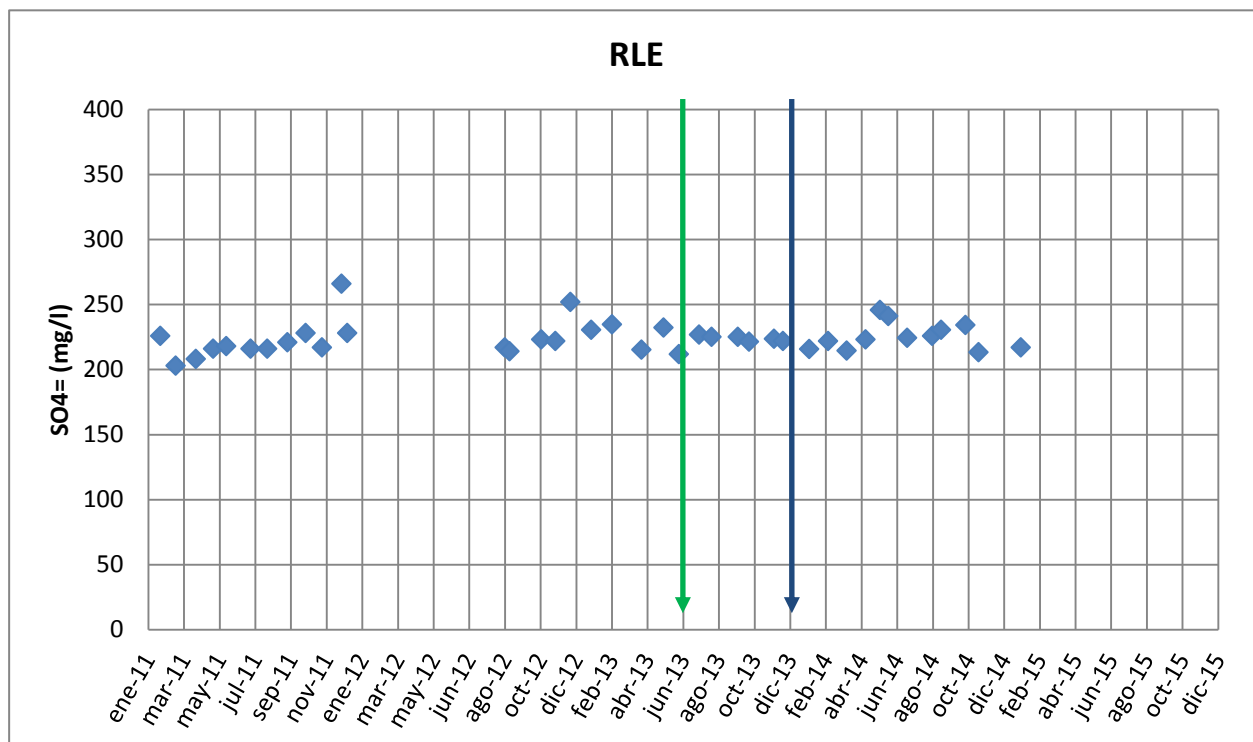
Las aguas en RLE son caracterizadas principalmente por aguas **Sulfatadas-Cloruradas/Sódicas**, como se observa en el diagrama de Piper. De igual manera en los diagramas de Stiff.



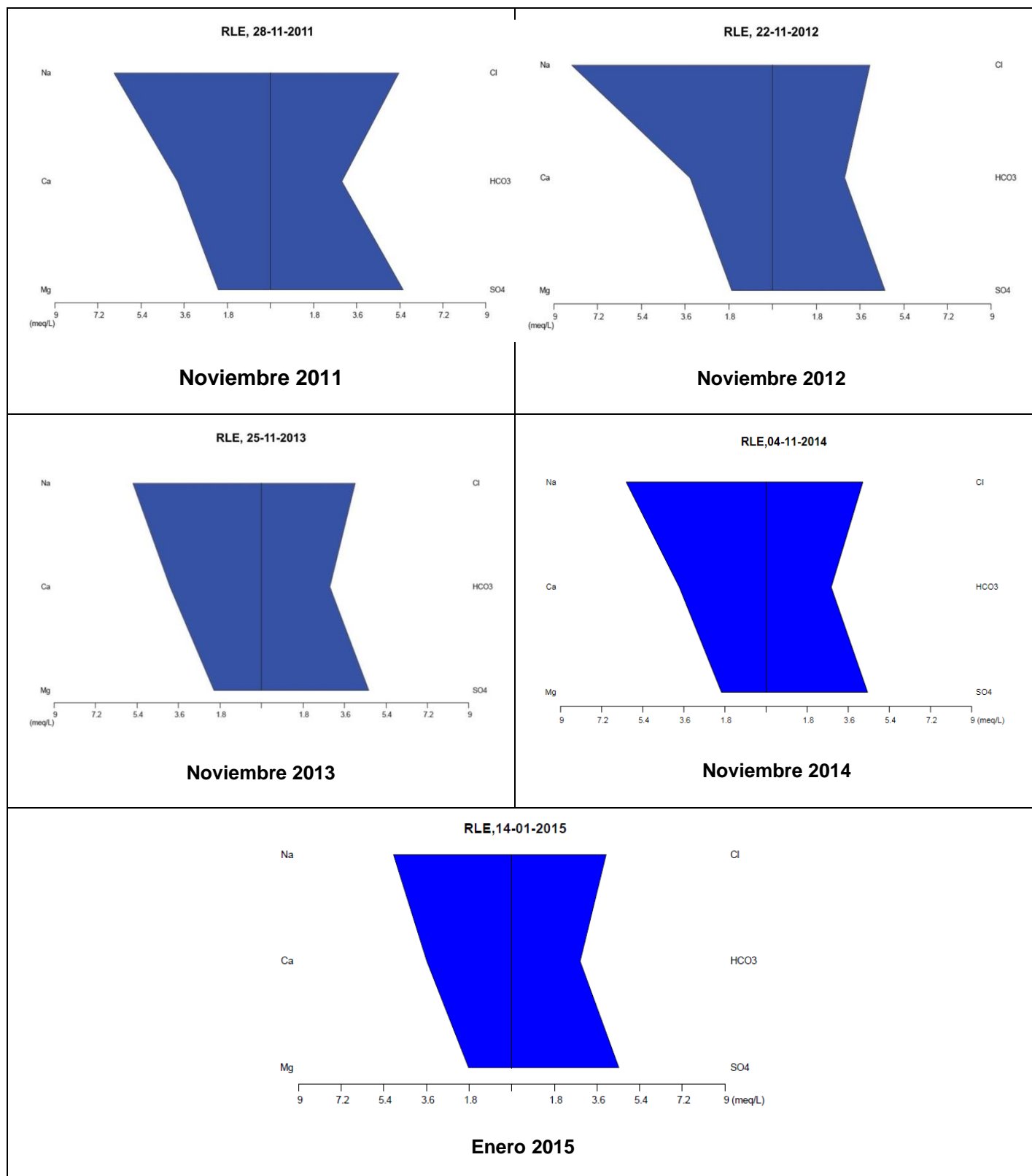
**Figura 5-39 Comportamiento de la Conductividad de aguas en RLE**



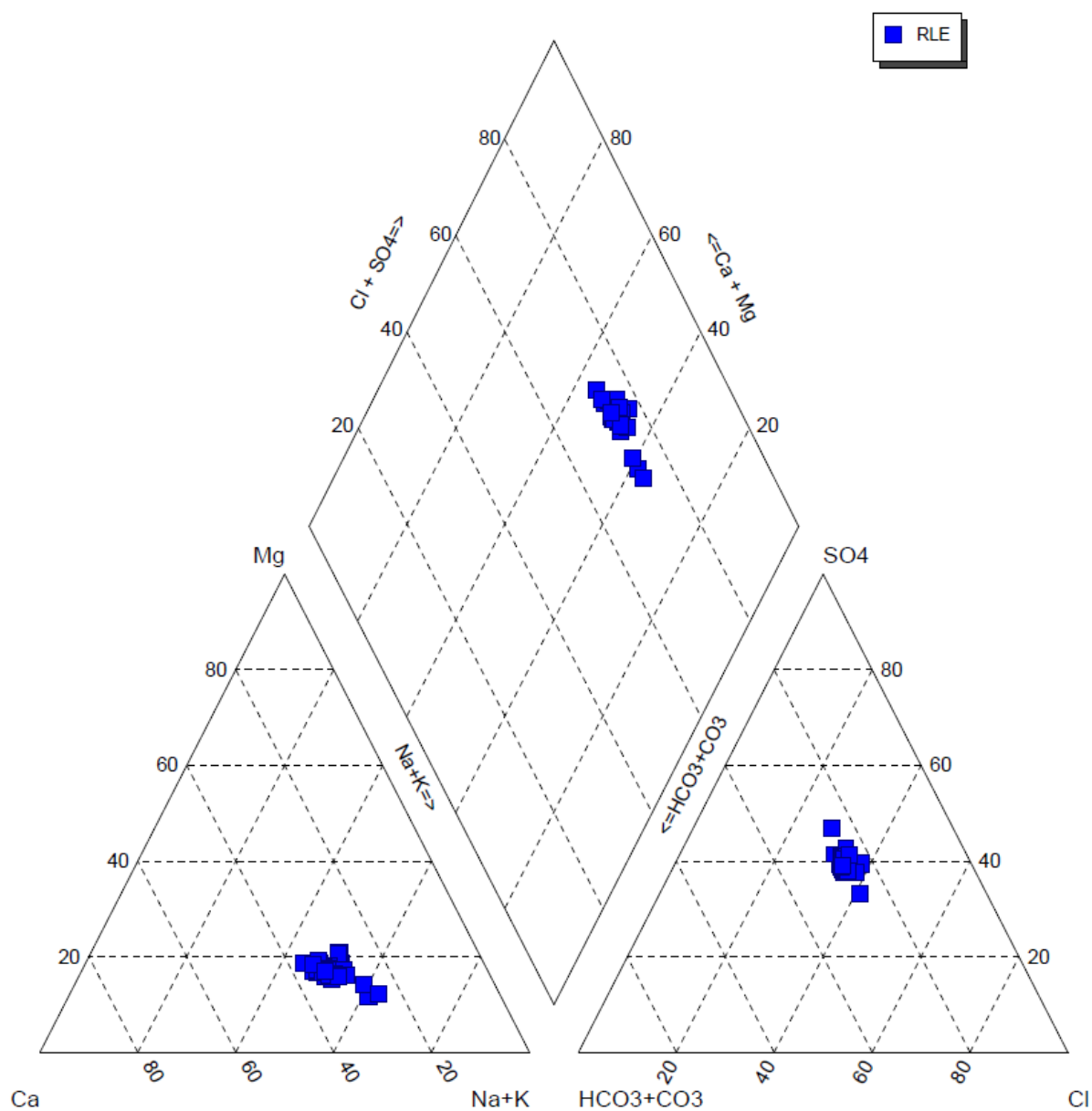
**Figura 5-40 Comportamiento del pH de aguas en RLE**



**Figura 5-41 Comportamiento de los Sulfatos de aguas en RLE**



**Figura 5-42 Diagrama de Stiff RLE.**



**Figura 5-43 Diagrama de Piper de la Estación RLE.**

## Estación RLF

La estación RLF se ubica antes de la bocatoma Lequena, correspondiendo a la última estación que caracteriza la primera sección del río Loa, por lo que su calidad representa la calidad natural del río Loa.

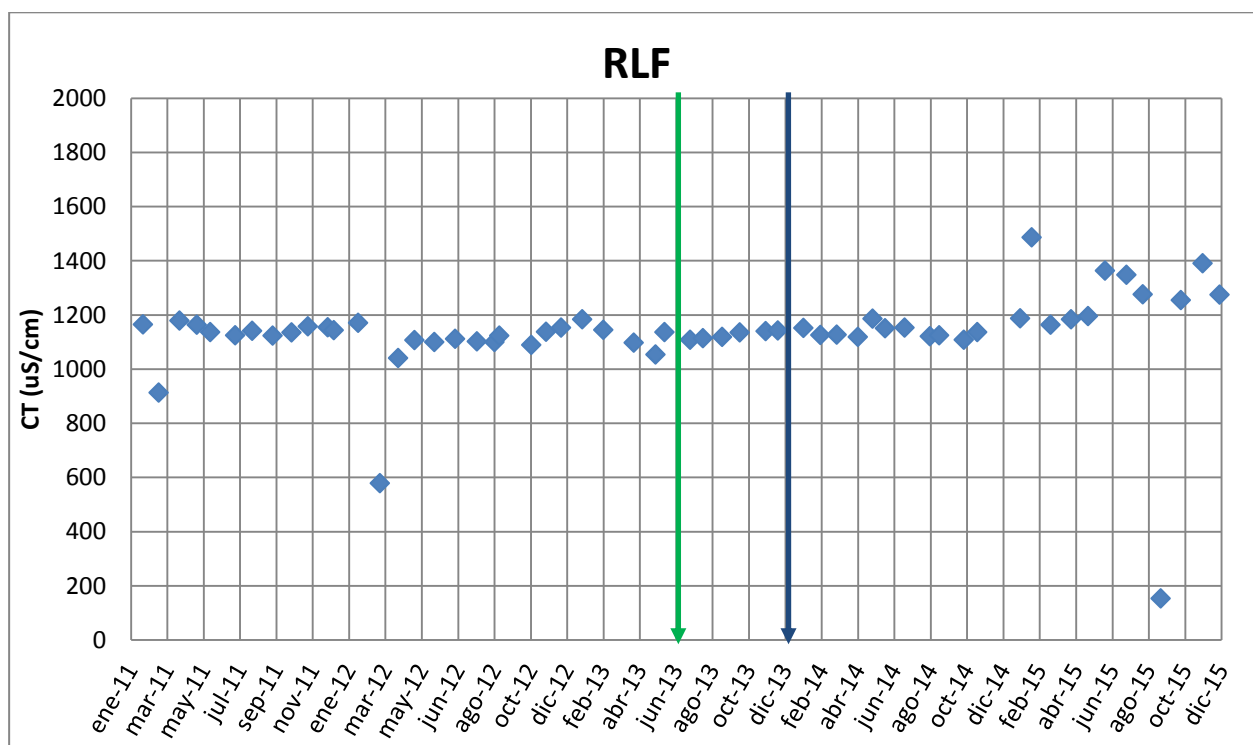
En las **Figuras 5-44, 5-45 y 5-46** se presenta el comportamiento de la Conductividad, sulfatos y el pH medido en la estación RLF.

La **conductividad** en esta estación se presenta estable, con un valor promedio de 1.125,6  $\mu\text{S/cm}$ , con valores que van entre los 1.041  $\mu\text{S/cm}$  y 1.486  $\mu\text{S/cm}$ .

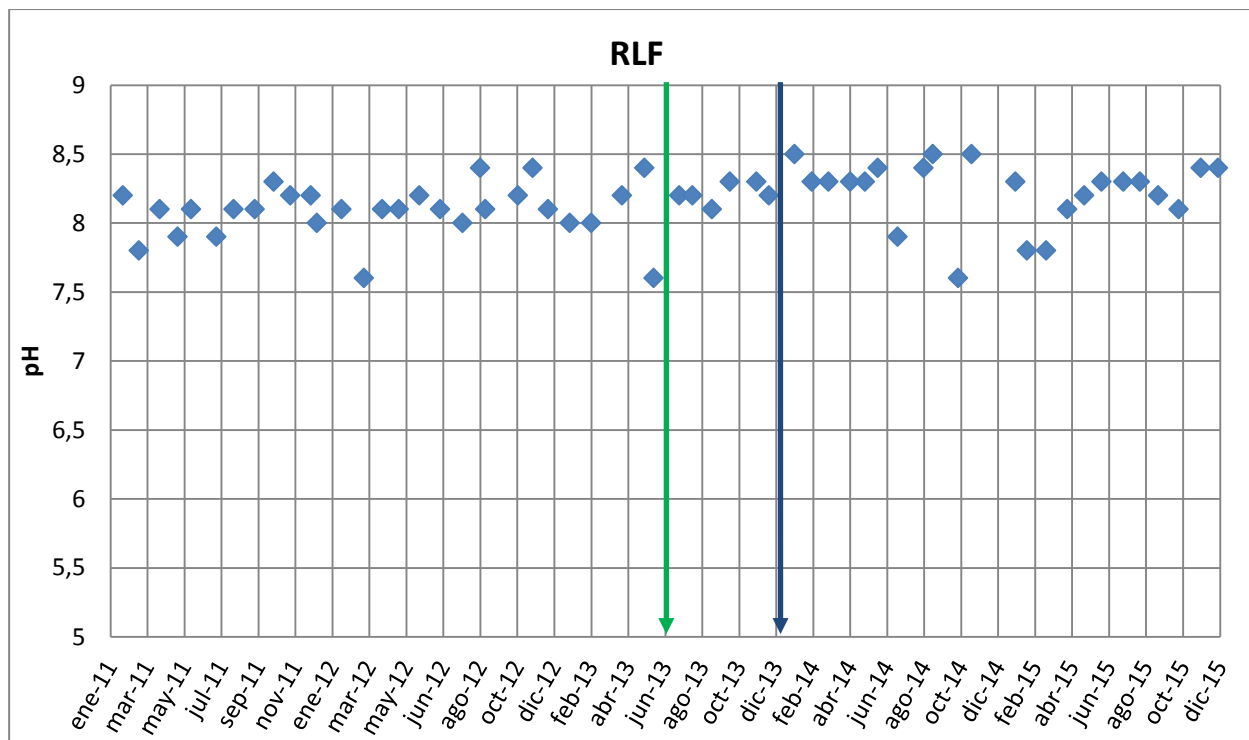
El **pH** se muestra estable, en un rango de entre 7,6 y 8,6.

Por su parte, los contenidos de **Sulfatos** presentan un valor promedio de 221,3 mg/l, con valores entre los 137 mg/L y 333 mg/L.

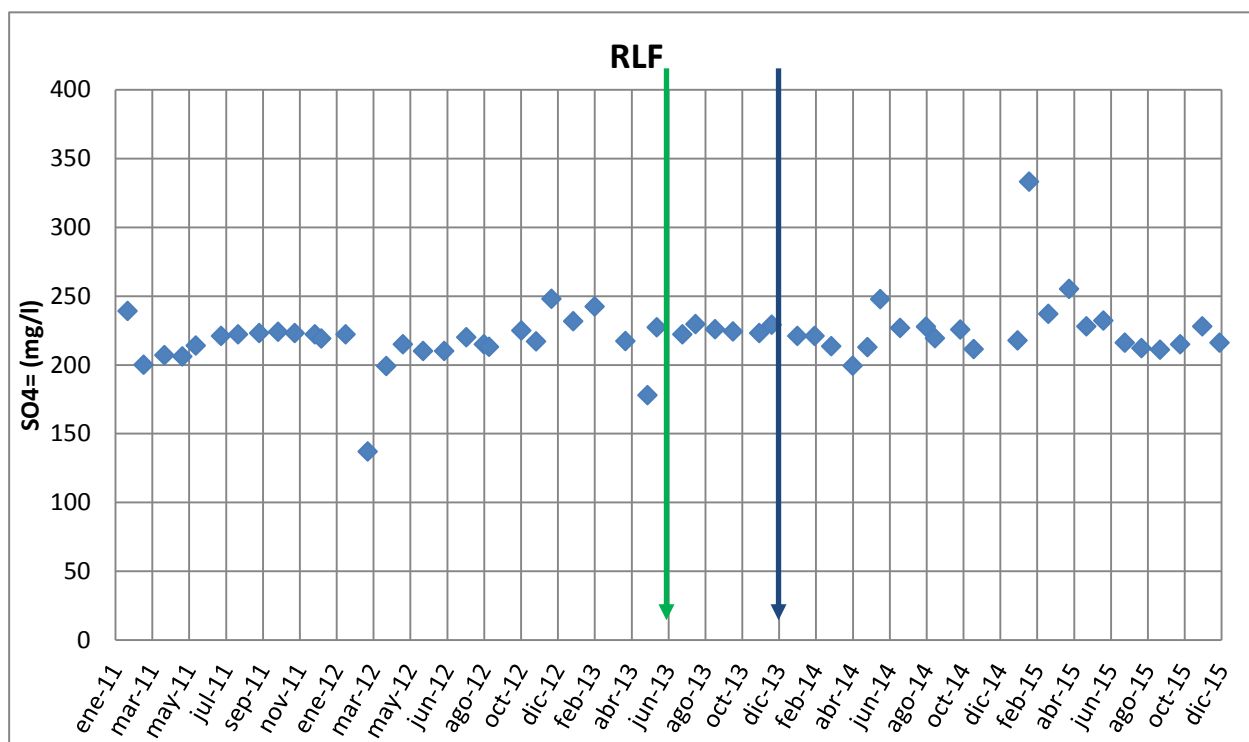
Las aguas en RLF son caracterizadas principalmente por aguas **Sulfatadas-Cloruradas/Sódicas**, como se observa en el diagrama de Piper. De igual manera en los diagramas de Stiff con mayor presencia de calcio en abril del 2015.



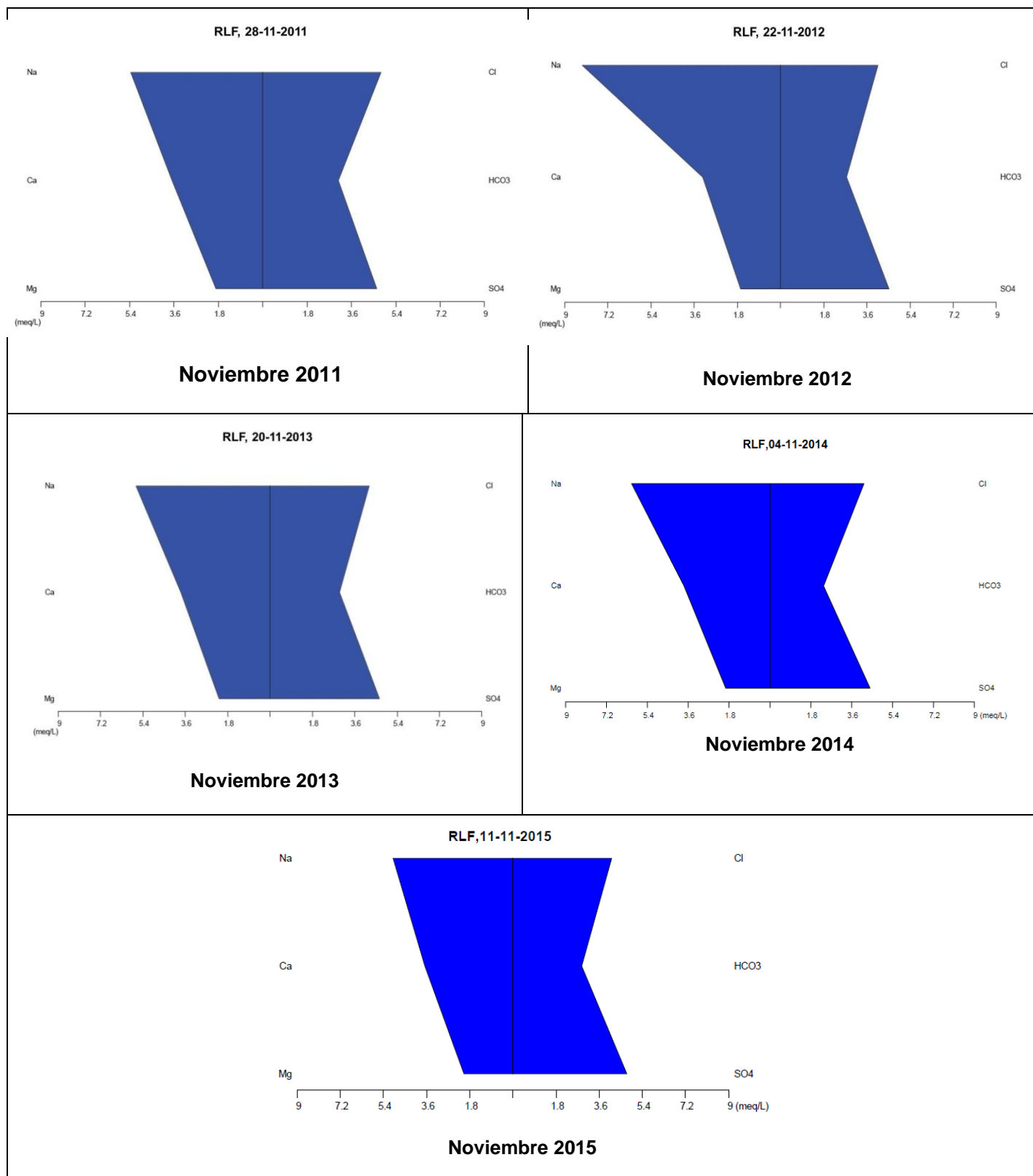
**Figura 5-44 Comportamiento de la Conductividad de aguas en RLF**



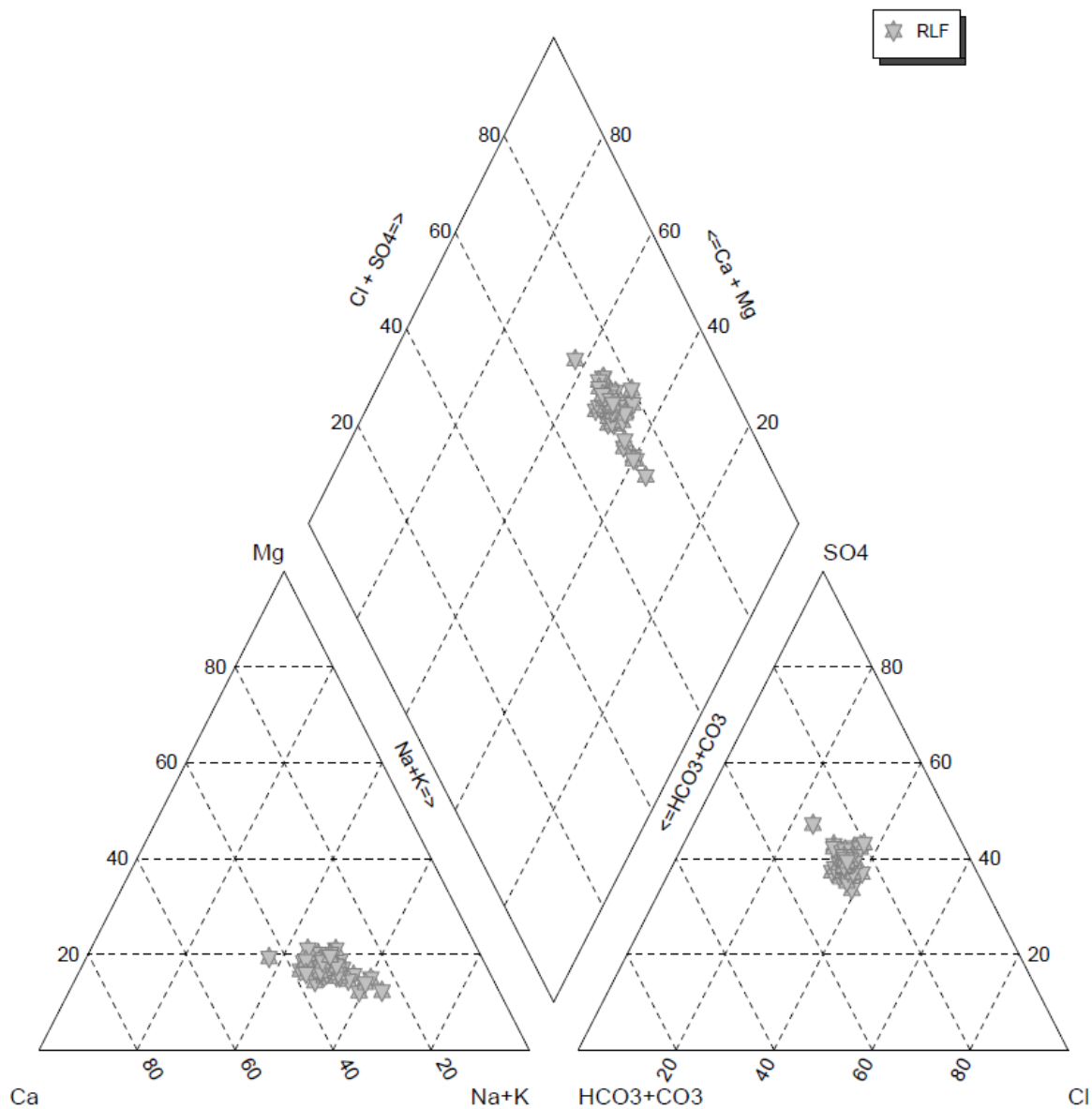
**Figura 5-45 Comportamiento del pH de aguas en RLF**



**Figura 5-46 Comportamiento de los Sulfatos de aguas en RLF**



**Figura 5-47 Diagramas Stiff RLF.**



**Figura 5-48 Diagrama de Piper de la Estación RLF.**

## Estación RLG

La estación RLG se ubica en el sector Chela Cruz, después de la Bocatoma Lequena. Sin embargo, se ha decidido dejar de monitorear desde marzo de 2013, ya que se encuentra sin acceso desde entonces.

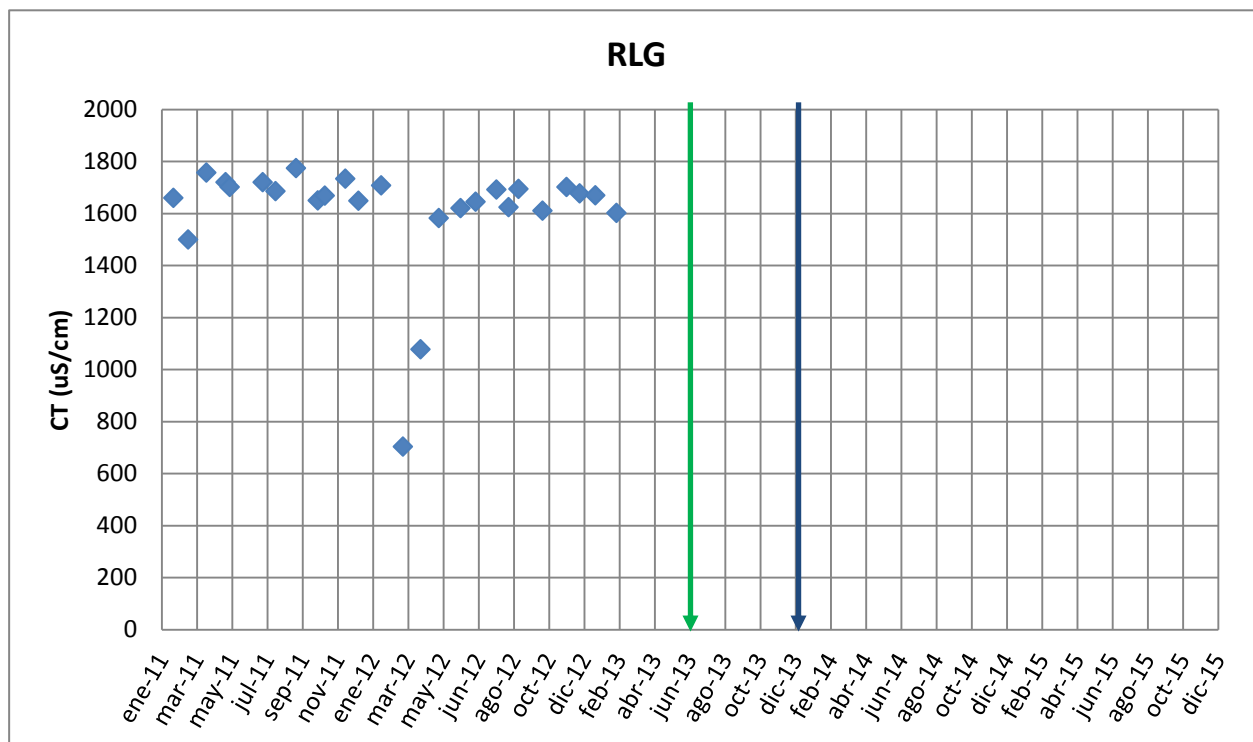
En las **Figuras 5-49, 5-50 y 5-51** se presenta el comportamiento de la Conductividad, sulfatos y el pH medido en la estación RLG. Esta estación presenta datos sólo hasta febrero de 2013.

La **Conductividad** se presenta estable, con un promedio de 1608  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en un rango entre los 703  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1774  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

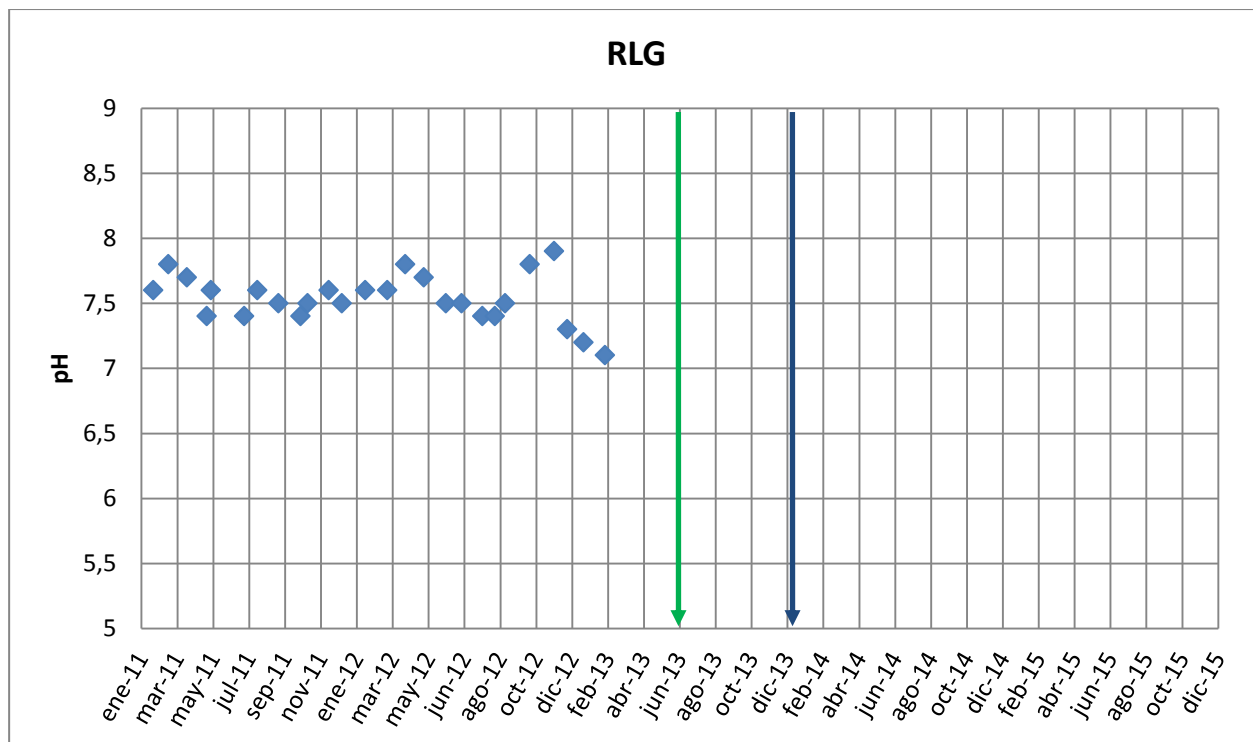
El **pH** se muestra estable en un rango de entre los 7,1 y 7,9.

Por su parte los contenidos de **Sulfatos** presentan valores entre los 82 mg/L y 196 mg/L, con un promedio de 103 mg/L.

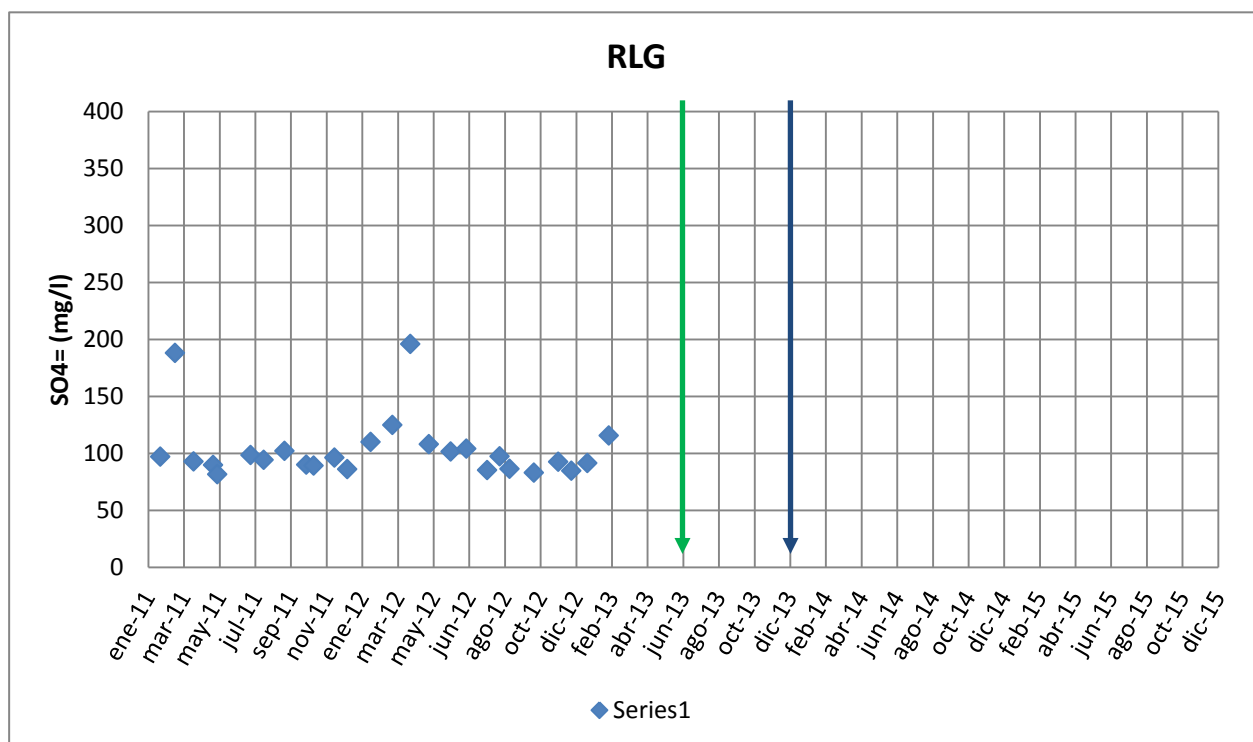
Las aguas en RLG son caracterizadas principalmente por aguas **Cloruradas/Sódicas**, como se observan en el diagrama de Piper. De forma similar en los diagramas de Stiff.



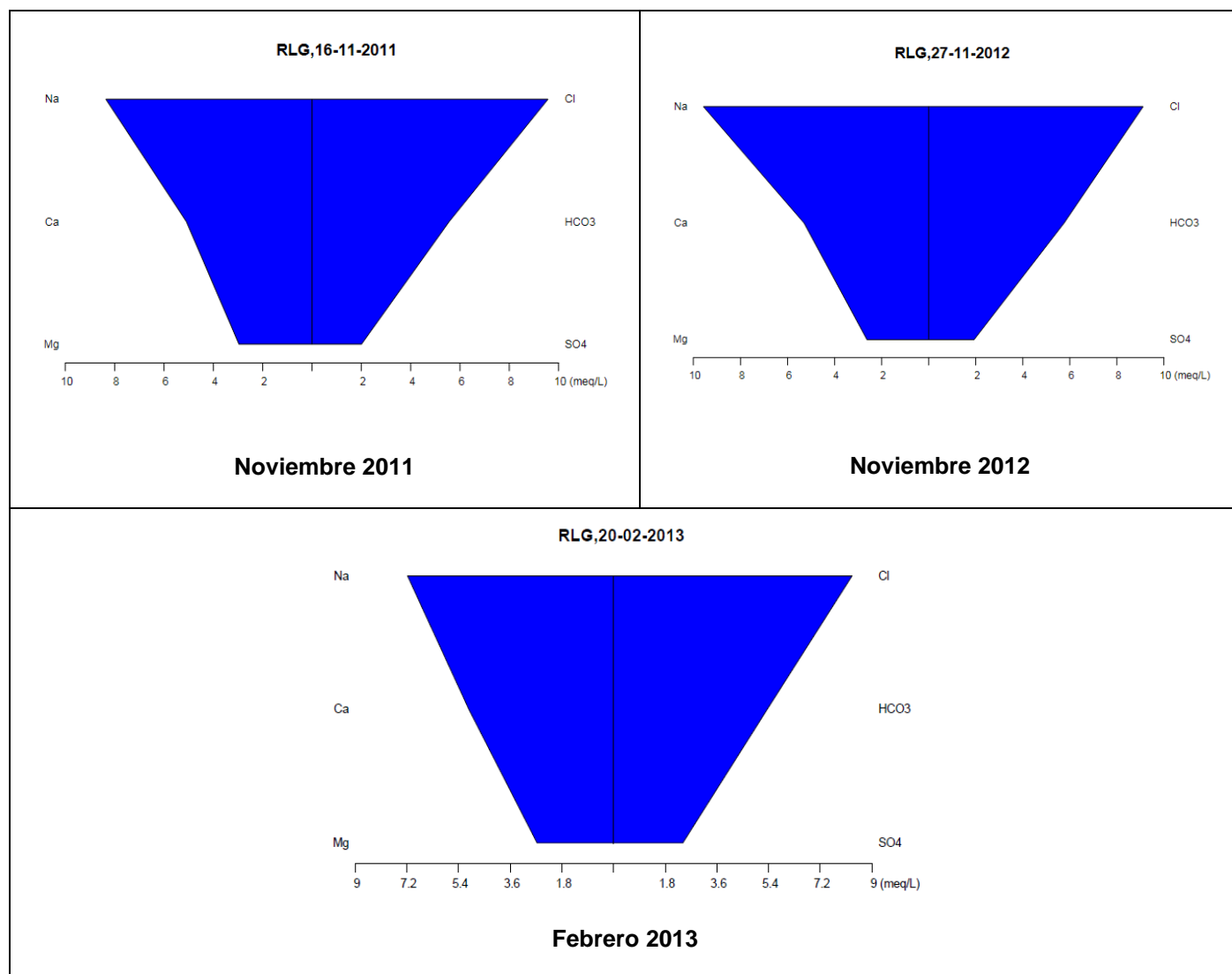
**Figura 5-49 Comportamiento de la Conductividad de aguas en RLG**



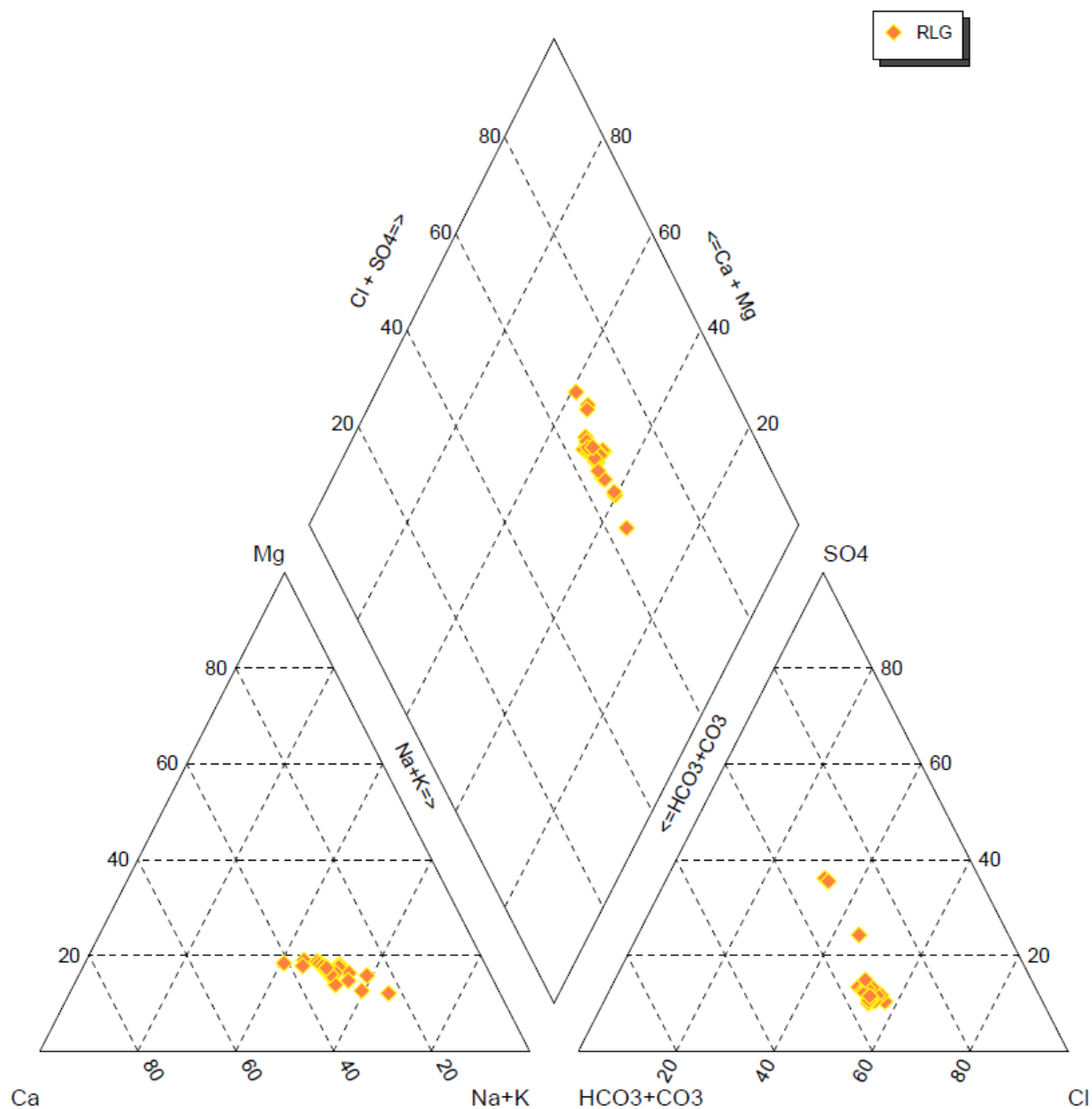
**Figura 5-50 Comportamiento del pH de aguas en RLG**



**Figura 5-51 Comportamiento de los Sulfatos de aguas en RLG**



**Figura 5-52 Diagrama Stiff RLG:**



**Figura 5-53 Diagrama de Piper de la Estación RLG.**

## Diagrama de Piper Estaciones del Río Loa Alto

En la siguiente Figura se observa el diagrama de Piper, con todas las estaciones analizadas en el presente informe. A través de los datos comprendidos dentro del periodo de monitoreo (enero 2011 a diciembre de 2015).

Se puede destacar la similitud de la mayoría de las estaciones del sector Alto del Loa que muestran aguas de tipo Sulfatadas-Cloruradas/Sódicas, a excepción de la estación ubicada aguas abajo, RLG, que presenta una composición diferente (Cloruradas/Sódicas), debido a la mayor participación de los cloruros en esta zona.

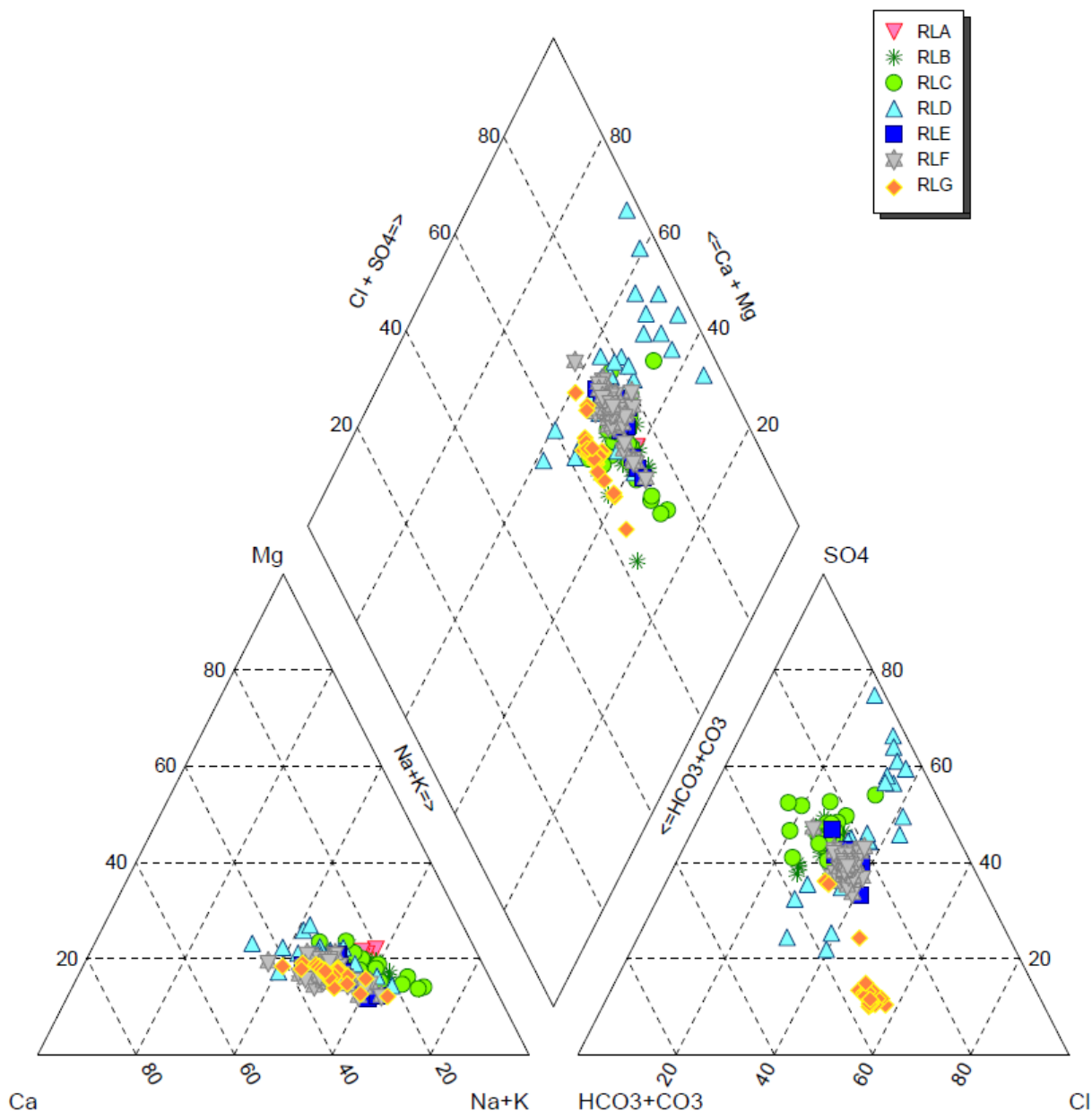


Figura 5-54 Diagrama de Piper integrado con las estaciones del Río Loa.

## 6. DISCUSIONES

---

### Acuíferos Pampa Puno y Yocas

La línea base generada en el EIA del Proyecto “Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno” aprobado mediante RCA N° 2603/2005, indica que las aguas del Acuífero del Sector Pampa Puno, Yocas y Quebrada Sapunta mantienen variaciones de niveles en el tiempo que son mínimas, lo que implica una condición de equilibrio.

En cuanto a los datos registrados en el presente informe (periodo enero 2011- diciembre 2015), en general se mantienen las condiciones de estabilidad, y las variaciones más significativas se deben esencialmente a efectos del bombeo, cuyas pruebas iniciales comenzaron en junio de 2013 y desde diciembre 2013 comenzó el bombeo productivo.

Por otra parte, respecto a lo indicado en la línea base, la descarga del acuífero se produce hacia el norponiente de la cuenca de Pampa Puno, hacia Pampa Yocas. Esta condición especial, donde el flujo subterráneo diverge del sentido de escurrimiento y descarga superficial de la cuenca, la que se realiza por la Quebrada Sapunta hacia el oriente, se debe a que el acuífero presenta un estrechamiento bajo esta quebrada después que toma un sentido hacia el oriente, en donde la potencia del acuífero es inferior a los 30 m, y la elevación del basamento está por sobre la cota del basamento hacia el sector de Pampa Yocas. Esta situación determina que la descarga del acuífero se realice por Pampa Yocas hacia el norponiente.

Los datos actualizados al presente informe considerando el periodo de Pre-bombeo Técnico (enero 2011- mayo 2013), muestran que los menores valores promedio de nivel se presentan en los pozos YOCA-03 3.794,51 m.s.n.m.; PIB-1 3.932,56 m.s.n.m.; y YOCA-09 3.955,53 m.s.n.m., es decir, en el sector de Pampa Yocas, correspondiendo al sector de descarga del acuífero en concordancia con lo indicado en la línea base.

Cabe indicar que los datos físico químicos analizados en el presente informe (periodo enero 2011 y diciembre 2015) muestran una calidad de agua que varía respecto al sector del acuífero, presentando aguas tipo Cloruradas/Sódicas en el sector Norte; aguas de tipo Sódicas/Sulfatadas en el Sector Central; y aguas de tipo Cálcicas/Cloruradas/Sulfatadas al Sur Oeste del acuífero.

### Vega Sapunta

Respecto al comportamiento observado en el sector de Vega Sapunta, según información de la línea base, en zonas de nivel freático alto, por capilaridad el agua llega a la superficie del suelo. La evaporación y transpiración en estas áreas aumenta notablemente la salinidad. Es así como en dos muestras de agua se observó concentraciones de B, F, Fe, Mn, SO<sub>4</sub> y Sólidos Disueltos.

A modo de comparar las condiciones con los datos analizados en el presente informe (periodo de enero 2011 y diciembre 2015), se consideran los valores del Sulfato, ya que corresponde a uno de los parámetros cuyo comportamiento fue descrito. Ante ello, se mantiene la condición del comportamiento de los Sulfatos respecto a lo observado en la línea base.

### Río Loa Alto

Respecto a la línea base de las aguas del Río Loa se puede indicar que se presenta una notable disminución de la calidad de las aguas a lo largo de su curso de escurrimiento. Este río se caracteriza porque presenta altos índices de salinidad, a consecuencia del paso por sectores de materiales salinos; por lo escurrimientos de aguas subterráneas; y también por el aporte de aguas superficiales de elevada salinidad.

Los principales factores que influyen en la calidad química del agua corresponden al origen volcánico de las rocas, ya que las aguas subterráneas cerca de la roca volcánica ígnea, en la zona de recarga, presenta altos niveles de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SiO}_2$ , arsénico y boro. Los dos últimos aumentan fuertemente de acuerdo con el incremento geotérmico. También influye la presencia de depósito de evaporita, ya que el agua subterránea que se escurre a través de depósitos de evaporita incrementa su salinidad.

Otro factor de gran importancia que influye en la salinidad de las aguas es el régimen de extracción de agua para fines urbanos e industriales. Las captaciones son realizadas en las partes altas, en los ríos o en quebradas que traen aguas de buena calidad. En consecuencia, se cambia la relación de mezcla, afectando negativamente la calidad de las aguas en las partes más bajas de los diferentes cursos los resultados de las Captaciones Lequena y Quinchamale.

Se cuenta con información de línea base respecto a calidad de agua superficial en Río Loa de la captación Lequena y captación Quinchamale, estableciéndose que las aguas tienden a ser salinas. Mientras que la captación Quinchamale muestra concentraciones mayores de cloruros y sólidos disueltos, lo que indicaría que aumenta la salinidad.

A modo de comparar las condiciones con los datos analizados en el presente informe (periodo de enero 2011 y diciembre 2015), se cuenta con la calidad de agua en la estación RLG ubicada justo antes de la captación Quinchamale que se caracteriza por presentar una composición de agua diferente al resto de las estaciones y que corresponde a Cloruradas/Sódicas debido a la mayor participación de los cloruros en esta zona, lo que concuerda con lo registrado en la línea base. El resto de las estaciones de Río Loa presentan aguas principalmente de tipo Sulfatadas-Cloruradas/Sódicas.

## 7. REFERENCIAS

---

- Resolución DGA N° 859/2002
- Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 2603/2005
- Resolución DGA N° 682 /2013.
- Resolución DGA N° 322/2011
- Documento DMH-GG-170/2013
- Documento DMH-GG-203/2013
- Hidrogeología y Modelo Simulación Pampa Puno". CODELCO Chile División Chuquicamata. Noviembre 2001. INGEOREC Ltda. Anexo 6.1. Informe Modelo Hidrogeológico Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Suministro Construcción y operación aducción de agua Pampa Puno.

## 8. ANEXOS

---

**Anexo A:** HABILITACIÓN Y ESTRATIGRAFÍA DE LOS POZOS.

**Anexo B:** ESTADÍSTICA NIVELES DE LOS POZOS DE PAMPA PUNO.

**Anexo C:** ESTADÍSTICA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LOS POZOS DE PAMPA PUNO.

**Anexo D:** GRÁFICOS CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LOS POZOS DE PAMPA PUNO.

**Anexo E:** ESTADÍSTICA NIVELES DE POZAS Y PIEZOMETROS DEL SECTOR VEGA SAPUNTA.

**Anexo F:** ESTADÍSTICA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL SECTOR VEGA SAPUNTA.

**Anexo G:** GRÁFICOS CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL SECTOR VEGA SAPUNTA.

**Anexo H:** ESTADÍSTICA CAUDALES DEL RÍO LOA ALTO.

**Anexo I:** ESTADÍSTICA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE ESTACIONES DEL RÍO LOA ALTO.

**Anexo J:** GRÁFICOS CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE ESTACIONES DEL RÍO LOA ALTO.

**Anexo K:** COMUNICACIÓN INICIO DE PRUEBAS DE BOMBEO SECTOR PAMPA PUNO.

**Anexo L:** CERTIFICACIONES.

**Anexo M:** PROCEDIMIENTOS DE MONITOREO.