



# **ESTUDIO TÉCNICO PARA RECUPERACIÓN DE LA CONDICIÓN HÍDRICA NATURAL DE LA VEGA SAPUNTA**

---

**INFORME Rev0**

Preparado para



**Mayo de 2016**

Preparado por  
HIDROMAS LTDA



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos del Documento.....	1
1.2. Propuesta de Sistema de Inyección Pampa Puno – Vega Sapunta .....	1
<b>2. ANTECEDENTES RELEVANTES.....</b>	<b>2</b>
2.1. Aspectos Generales.....	2
2.2. Análisis Información Disponible .....	2
<b>3. ACTIVIDADES A SER DESARROLLAS PARA DISEÑAR PLAN DE RECUPERACIÓN .....</b>	<b>10</b>
3.1. Aspectos Generales.....	10
3.2. Actividades Claves Estudio Propuesto .....	10
3.2.1. <i>Instalar y/o Complementar Sistema de Monitoreo</i> .....	10
3.2.2. <i>Definir Secuencia de Apagado de Pozos de Bombeo</i> .....	10
3.2.3. <i>Analizar Información Generada en Periodo</i> .....	11
3.2.4. <i>Actualizar Modelo Numérico, Definir y Analizar Escenarios</i> .....	11
3.2.5. <i>Preparar Programa de Recuperación Alimentación Natural Vega Sapunta</i> .....	12
3.2.6. <i>Presentación del Plan a las autoridades competentes</i> .....	12
3.2.7. <i>Implementación del Plan una vez autorizado</i> .....	12

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Objetivos del Documento**

Se presenta este documento cuyo objetivo es mostrar mayores detalles sobre el estudio técnico que permitirá recoger información para preparar un adecuado diseño de un sistema de reinyección de aguas en el sistema acuífero de Pampa Puno, que pueda ser posteriormente presentado a evaluación ambiental.

Con base en la información recopilada en el primer año de detención parcial o completa del bombeo autorizado desde el acuífero de Pampa Puno, se elaborará un Plan de Recuperación de la Condición Hídrica Natural del Acuífero de Pampa Puno para estimar el tiempo de recuperación de la alimentación natural de la vega Sapunta, así como las actividades necesarias para reducir dicho tiempo de recuperación.

Este estudio se apoyará en la información disponible para el período pre bombeo, junto con la información recopilada a la fecha de los efectos sobre los niveles de agua en el acuífero de Pampa Puno y la vega Sapunta.

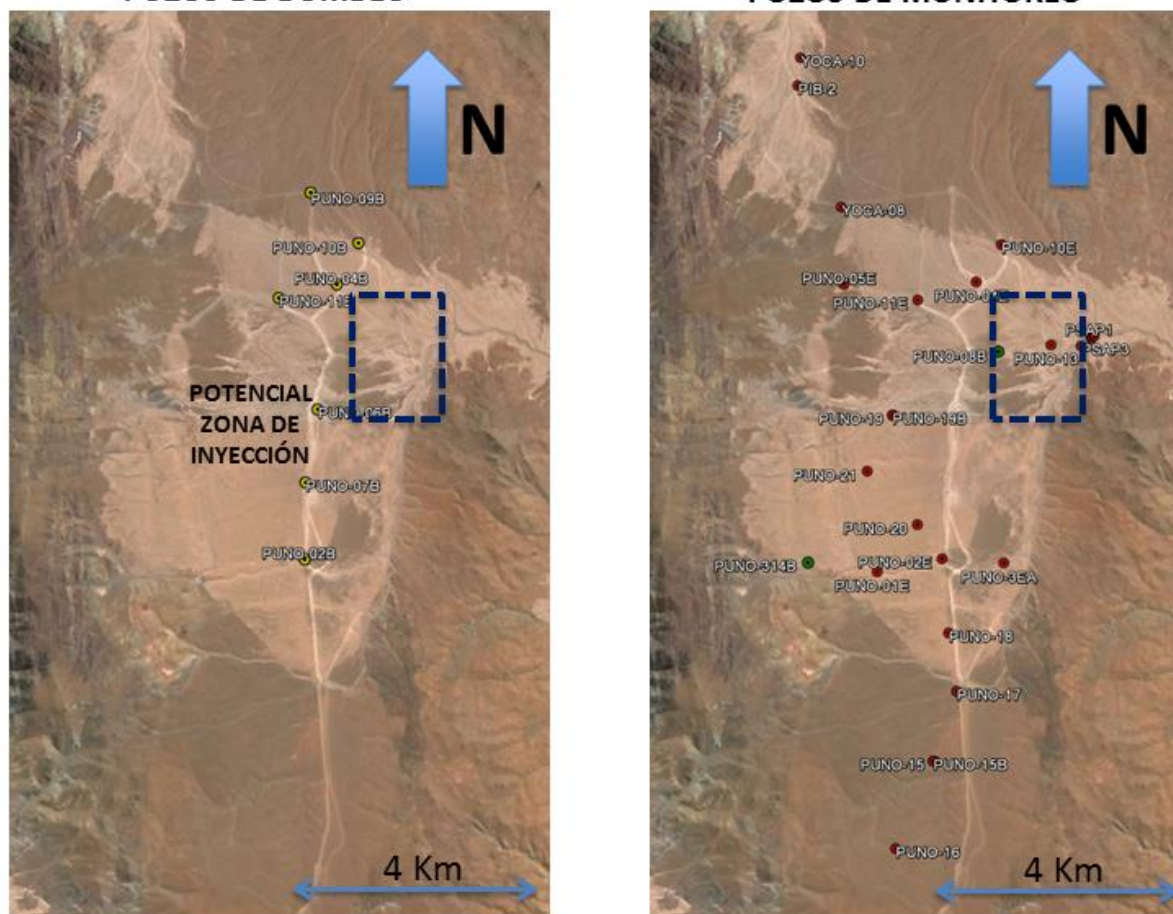
El objetivo de este plan será identificar mecanismos que permitan acelerar la recuperación del sector del acuífero de Pampa Puno que se conecta con la vega Sapunta. Esto puede ser analizado mediante el bombeo y reinyección de aguas del mismo acuífero.

### **1.2. Propuesta de Sistema de Inyección Pampa Puno – Vega Sapunta**

En el caso del sistema conformado por el acuífero de Pampa Puno y vega Sapunta, la situación a estudiar es la inyección de aguas en lugares específicos del límite entre ambos subsistemas, para lograr que la alimentación natural hacia vega Sapunta se consiga en un tiempo menor al que se lograría simplemente con la detención total del bombeo desde Pampa Puno. En la Figura 1.1 se presenta la zona de estudio incluyendo la zona propuesta para la inyección de aguas, así como los pozos de bombeo construidos y los pozos de monitoreo.

Tal como se indicó previamente, este estudio se apoyará en la información disponible para el período pre bombeo, junto con la información recopilada a la fecha de los efectos sobre los niveles de agua subterránea en el acuífero de Pampa Puno y la vega Sapunta. Adicionalmente, y con especial énfasis en la zona de los pozos PUNO-08B y PUNO-13, se utilizará la información que se recopile durante el primer año del bombeo reducido a 120 l/s o menos.

**Figura 1.1**  
**Zona de Inyección Prevista en Sector Límite entre Acuífero Pampa Puno y Vega Sapunta**  
**POZOS DE BOMBEO**                      **POZOS DE MONITOREO**



Fuente: Elaboración propia

El objetivo de este plan será identificar mecanismos que permitan acelerar la recuperación del sector del acuífero de Pampa Puno que se conecta con la vega Sapunta. Esto puede ser analizado mediante el bombeo y reinyección de aguas del mismo acuífero.

Es importante recalcar que el objetivo primario de este Plan no es apurar la recuperación de todo el acuífero de Pampa Puno, sino sólo de aquella porción que controle el funcionamiento natural de la vega Sapunta. A ese respecto es importante recordar, que durante el primer año de bombeo el sistema acuífero de vega Sapunta no sufrió efectos del bombeo productivo desde Pampa Puno, lo cual se encuentra adecuadamente documentado, por lo que para volver a una condición de alimentación natural del sector de vega Sapunta (no dependiente de una reinyección local), no es necesario volver a la condición pre bombeo, sino a una condición intermedia equivalente a aquella identificada al final del primer año de bombeo.

Entre las actividades que serán incorporadas dentro del Estudio Técnico para la Recuperación de la Condición Hídrica de la Vega Sapunta están las siguientes:

- Recopilación de información respecto de la recuperación del acuífero en el sector central y de conexión con la vega, mediante la detención selectiva, unitaria y sucesiva de los pozos.
- Diseño del Plan de reinyección identificando puntos de inyección, caudales y tiempos.
- Presentación del Plan a las autoridades competentes.
- Implementación del Plan una vez autorizado.

## **2. ANTECEDENTES RELEVANTES**

### **2.1. Aspectos Generales**

En la actualidad se encuentra disponible información de detalle sobre la operación del campo de pozos de Pampa Puno, lo que incluye entre otros antecedentes los siguientes:

- Estadística mensual de niveles de agua subterránea en pozos de monitoreo en Pampa Puno.
- Estadística mensual de niveles de agua subterránea en algunos pozos de bombeo.
- Estadística diaria de niveles de agua subterránea en pozos de monitoreo en Vega Sapunta.
- Estadística diaria de caudales de bombeo desde pozos de bombeo en producción.

La información anterior cubre en la mayoría de los casos desde el segundo trimestre del año 2010, lo que constituye un nivel de información bastante completo para entender el comportamiento del sistema acuífero de Pampa Puno, así como el de Vega Sapunta, durante ciclos de prebombeo y de operación. En la Figura 2.1 se presenta una figura esquemática con la ubicación de los pozos de bombeo, mientras que en la Figura 2.2 se indican los pozos de monitoreo u observación de niveles.

La situación de apagado de pozos de bombeo o de detención de la extracción, y su efecto sobre el sistema acuífero en Pampa Puno, no ha sido adecuadamente caracterizada y es clave para poder preparar un plan de recuperación de la condición de alimentación natural de la vega Sapunta, ya que el mecanismo relevante en dicho período de tiempo no es el bombeo, sino la recarga natural al sistema y el movimiento del agua subterránea en el sistema acuífero.

### **2.2. Análisis Información Disponible**

Tal como se indicó previamente, este estudio se apoyará en la información disponible para el período pre bombeo, junto con la información recopilada a la fecha de los efectos sobre los niveles de agua subterránea en el acuífero de Pampa Puno y la vega Sapunta.

Adicionalmente, y con especial énfasis en la zona de los pozos PUNO-08B y PUNO-13, se utilizará la información que se recopile durante el primer año del bombeo reducido. En la Figura 2.3 se presenta esquemáticamente la ubicación de los pozos de observación PUNO-8B, PUNO-13 (localizados ambos en Pampa Puno), así como los pozos de monitoreo PSAP-3, PSAP-2 y PSAP-1 (localizados en Vega Sapunta).



**Figura 2.1**  
**Ubicación de Pozos de Bombeo en Acuífero Pampa Puno**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.2**  
**Ubicación de Pozos de Monitoreo en Acuífero Pampa Puno**



Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.3**  
**Ubicación Esquemática de Pozos de Interés en el Límite del Acuífero de Pampa Puno y Vega Sapunta**



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2.4 se presenta una comparación entre los niveles de agua subterránea medidos en los cinco pozos anteriormente indicados, incluyendo en esta figura el período de prebombeo (que cubre entre los años 2010 y 2013), seguido por el primer año de bombeo productivo que se inicia a fines de Noviembre de 2013. En esta figura, la que se extiende hasta diciembre 2014, se puede observar una condición de estabilidad previa al inicio del bombeo (niveles muy parejos y planos), seguida por un efecto directo sobre los niveles de agua subterránea (descenso) en los pozos PUNO-08B y PUNO-13, y un efecto muy menor sobre los pozos de monitoreo en vega Sapunta.

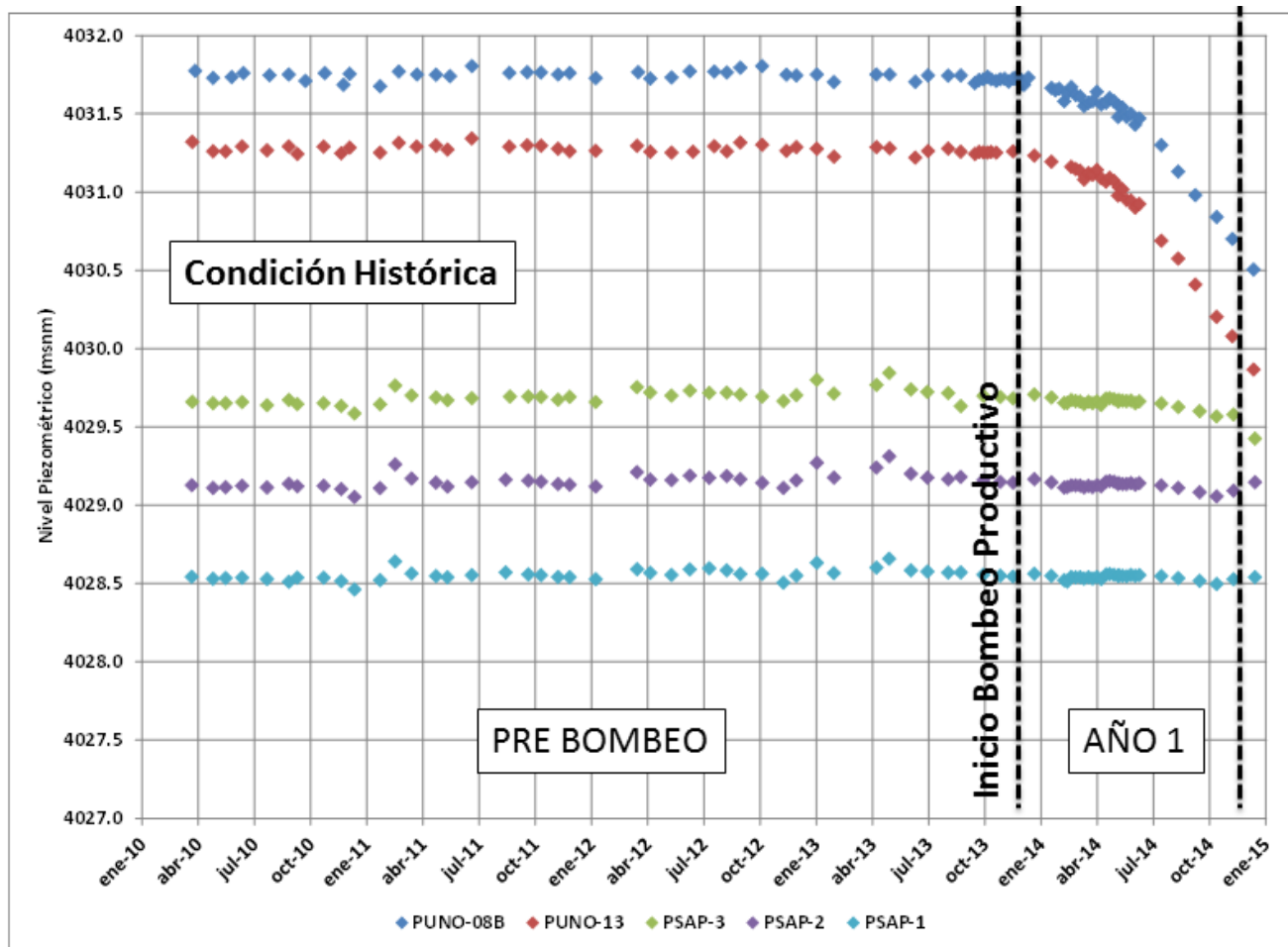
Al considerar ahora la información del segundo año de bombeo, período entre Diciembre de 2014 y Diciembre de 2015 que se presenta en la Figura 2.5, es posible verificar como la reducción de los niveles de agua en los dos pozos de Pampa Puno son seguidos por un cambio en los niveles de agua en el piezómetro PSAP-3, localizado al inicio del sistema de vega Sapunta, seguido posteriormente por cambios menores en los piezómetros PSAP-2 y PSAP-1.

Finalmente, al considerar la información del tercer año de bombeo, la que se presenta en la Figura 2.6, se puede observar una baja sostenida de los niveles de agua en los pozos PUNO-08B y PUNO-13, pero una recuperación de los niveles en la vega Sapunta a la condición prebombeo, todo lo cual es logrado por la aplicación del Plan de Contingencia que incluye la recarga de agua del acuífero de Pampa Puno al sistema acuífero de la Vega Sapunta.

Las figuras anteriores son claves para entender la lógica detrás del programa que se propone realizar para recuperar la alimentación natural del acuífero de vega Sapunta desde el sistema acuífero de Pampa Puno, y que considera en primer lugar conseguir la recuperación de los niveles de agua en los pozos PUNO-13 y PUNO-08B, los que son claves para mantener una condición de recarga estable hacia el sistema de vega Sapunta.

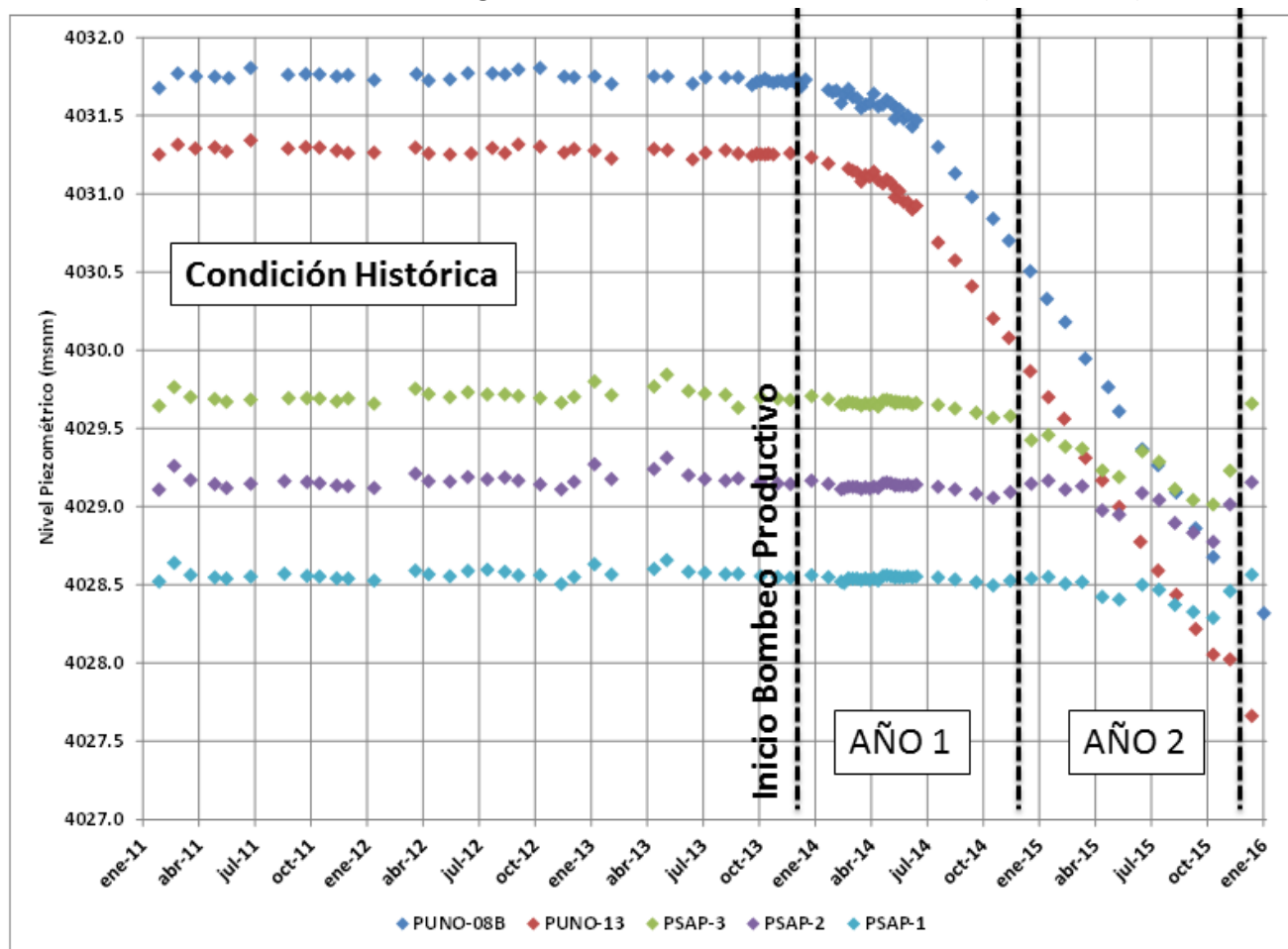
En la actualidad se dispone de un modelo de simulación que fue desarrollado inicialmente para una condición sin bombeo, el que fue posteriormente actualizado con la información del primer año de bombeo entre 2013 y 2014. Actualmente se encuentra en proceso la segunda actualización, que incluye el período 2014 a 2015, en el cual el bombeo sigue siendo el motor de cambio de los niveles de agua subterránea. El uso de este modelo hidrogeológico para desarrollar un adecuado plan de recuperación del acuífero de Vega Sapunta requiere de un monitoreo de al menos un año, en el cual el apagado gradual de pozos de bombeo es fundamental para entender el comportamiento futuro del sistema acuífero y con esto poder actualizar el modelo hidrogeológico.

**Figura 2.4**  
**Evolución de Niveles de Agua Subterránea en Pozos de Zona Límite (2010 a 2014)**



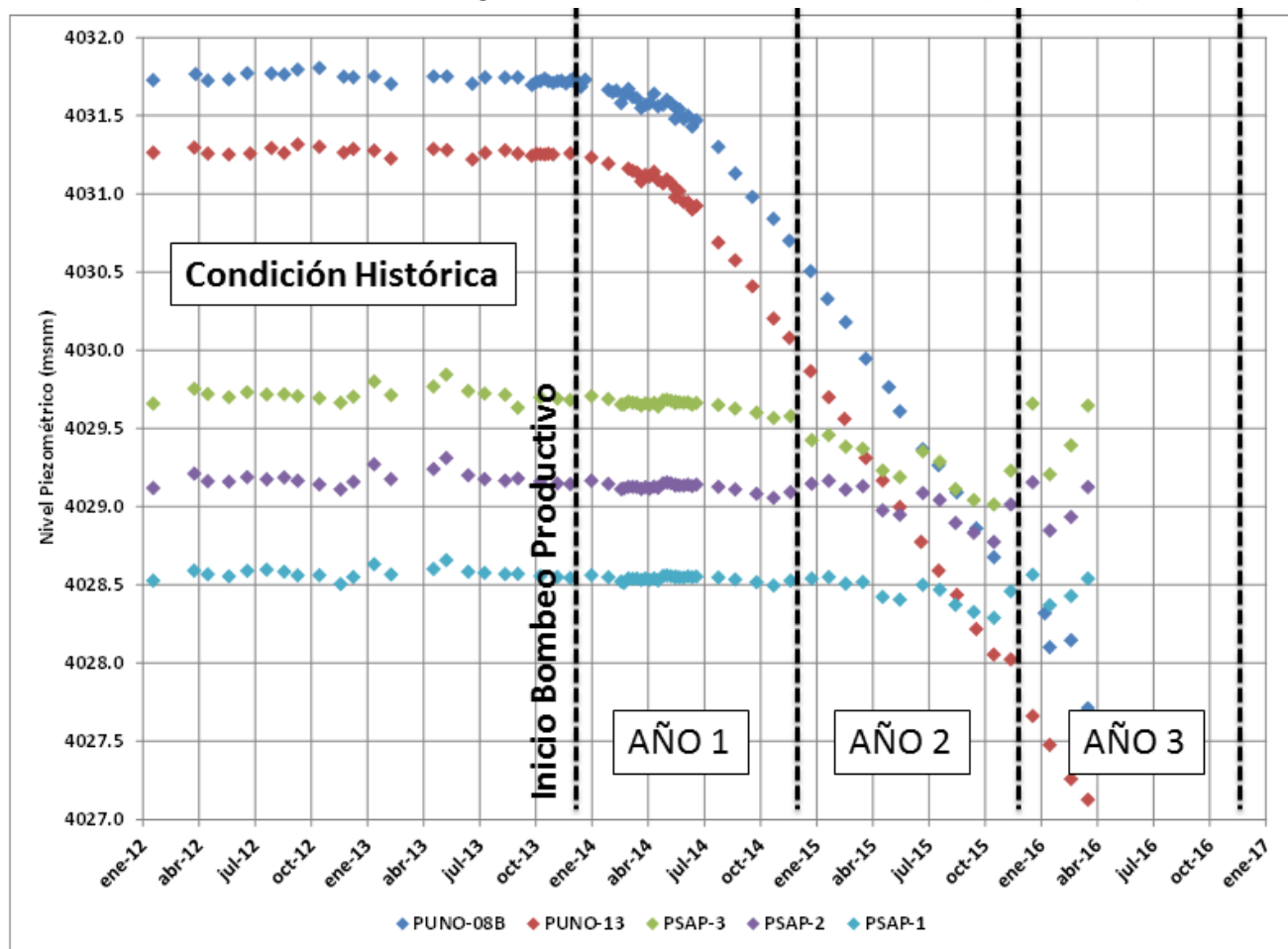
Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.5**  
**Evolución de Niveles de Agua Subterránea en Pozos de Zona Límite (2011 a 2015)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.6**  
**Evolución de Niveles de Agua Subterránea en Pozos de Zona Límite (2012 a 2016)**



Fuente: Elaboración propia



### **3. ACTIVIDADES A SER DESARROLLADAS PARA DISEÑAR EL PLAN DE RECUPERACIÓN**

#### **3.1. Aspectos Generales**

La elaboración del Plan de Recuperación de la Condición Hídrica Natural de la Vega Sapunta incluye el desarrollo de una serie de actividades que se planea desarrollar en un periodo aproximado de 18 meses, lo que incluye 12 meses de apagado gradual de pozos y su monitoreo, seguido de hasta seis meses para el análisis de la información y el diseño el plan para su presentación a la autoridad y posterior implementación.

Entre las principales actividades que se han identificado como parte de este plan están las siguientes:

- Instalar y/o Complementar Sistema de Monitoreo.
- Definir Secuencia de Apagado de Pozos de Bombeo.
- Analizar Información Generada en Periodo.
- Actualizar Modelo Numérico y Analizar Escenarios de Simulación.
- Preparar Programa de Recuperación de Alimentación Natural de la Vega Sapunta.
- Presentar el Plan a las autoridades competentes.
- Implementar el Plan una vez autorizado.

#### **3.2. Actividades Claves del Estudio Propuesto**

##### **3.2.1. *Instalar y/o Complementar Sistema de Monitoreo***

Se considera el reforzamiento del actual sistema de monitoreo de niveles de agua subterránea con la instalación de sensores automáticos en los pozos de monitoreo claves, entre los cuales se encuentran el PUNO-08B y el PUNO-13. Los pozos de monitoreo PSAP-3, PSAP-2 y PSAP-1 ya cuenta con estos sistemas implementados.

Con la instalación de estos sistemas se podrá contar con información de niveles de agua subterránea a una escala diaria e independiente de las condiciones climáticas del entorno. Se mantendrá la medición mensual manual de los niveles de agua subterránea para poder contrastar con las mediciones automáticas.

##### **3.2.2. *Definir la Secuencia de Apagado de los Pozos de Bombeo***

Se definirá una secuencia de apagado de los pozos de bombeo que permita estudiar la recuperación en particular de los pozos de monitoreo PUNO-08B y PUNO-13, para lo cual se analizará la información disponible a la fecha.

La información histórica de la operación de los pozos de bombeo indica el siguiente uso global en el período previo:

- Período 2013 a 2014, extracción de 204 l/s promedio.
- Período 2014 a noviembre de 2015, extracción de 253 l/s promedio.
- Período noviembre 2015 a abril de 2016, extracción 223 l/s promedio (inicio de recarga subsuperficial acuífero Sapunta en noviembre de 2015 y detención de pozos PUNO-06B y PUNO-08B).

Con base en lo anterior, se considera la siguiente secuencia de bombeo y tiempo de apagado:

- 01 de mayo a 15 de mayo de 2016, llevar sistema a 180 l/s (disminución de caudal en pozos específicos).
- 15 de mayo a 01 de septiembre de 2016, llegar a 120 l/s de caudal de bombeo total (apagando PUNO-04B).
- 01 de septiembre a 15 de diciembre de 2016, llegar a 90 l/s (apagando PUNO-11B). Se dejan operativos pozos PUNO-02B, PUNO-07B y PUNO-09B (este último se enciende el 01 de septiembre).
- 15 de diciembre a 30 de marzo de 2016, llegar a 60 l/s (apagando pozo PUNO-9B), se dejan operativos los pozos de bombeo PUNO-02B y PUNO-07B.

Esta secuencia se extendería hasta el 30 de abril de 2017, cuando se cumpliría con el año de apagado gradual del sistema de pozos de bombeo. De aquí en adelante se elaboraría el sistema de reinyección, indicando ubicación de pozos, caudales de bombeo y de reinyección, y tiempo estimado de reinyección, para presentar el Plan para la aprobación de la autoridad.

### 3.2.3. *Analizar Información Generada en Período de Apagado de los Pozos*

Toda la información conceptual generada en el período será analizada en detalle para caracterizar la dinámica del sistema acuífero en esta etapa de recuperación de niveles.

En esta etapa se realizará una reevaluación del sistema de recarga hacia el acuífero de Pampa Puno, así como el de Vega Sapunta, incluyendo además una verificación de los sistemas de descarga hacia Yocas.

### 3.2.4. *Actualizar Modelo Numérico, Definir y Analizar Escenarios de Simulación*

Con base en la información disponible se actualizará el modelo de simulación hidrogeológico de Pampa Puno, poniendo especial énfasis en el sector de conexión con vega Sapunta. En particular se analizará la recuperación de los niveles de agua en los pozos de monitoreo PUNO-13 y PUNO-08B.

Se analizarán diversos escenarios de bombeo desde pozos alejados de la zona de conexión, para estudiar patrones de bombeo y de reinyección que permitan acelerar el tiempo en el cual el sistema de vega Sapunta recupera su condición de alimentación natural desde el acuífero de Pampa Puno.

### 3.2.5. *Preparar Programa de Recuperación de Alimentación Natural de Vega Sapunta*

Con base en los resultados anteriores se elaborará el sistema de reinyección, indicando entre otros los siguientes temas:

- Ubicación de pozos de reinyección.
- Caudales de reinyección.
- Pozos de bombeo a ser utilizados y sus caudales.
- Tiempo estimado de reinyección.
- Ubicación de pozos de monitoreo adicionales para verificar evolución de la medida.

Se prepararán adicionalmente los protocolos de operación del sistema y se definirán los indicadores de seguimiento para verificar que la evolución de niveles, y la recuperación de la alimentación natural se produce en los tiempos estimados.

### 3.2.6. *Presentación del Plan a las Autoridades Competentes*

Se hará la presentación formal a las autoridades, incluyendo todos los aspectos técnicos que se requieran para su evaluación sectorial y ambiental.

### 3.2.7. *Implementación del Plan una vez Autorizado*

Se diseñará un cronograma para la implementación del Plan una vez sea autorizado por las autoridades ambientales y sectoriales.