

ANEXO VI

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Generalidades	2
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Metodología de Trabajo	2
2. ACTUALIZACIÓN MODELO NUMÉRICO	3
2.1 Recalibración	3
2.2 Descensos de Niveles en pozos de observación.....	7
2.3 Descargas.....	16
2.4 Almacenamiento	18
3. CONCLUSIONES.....	19

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La fuente Pampa Puno forma parte del sistema de abastecimiento de agua fresca para el Distrito Norte, y a fines de noviembre pasado cumplió su segundo año de explotación productiva. Pampa Puno corresponde a una cuenca hidrogeológica ubicada a 120 km al norte de la ciudad de Calama, en la Provincia del Loa, Región de Antofagasta.

En marzo de 2015 se ingresó a la plataforma de SEA el documento “Informe Final Actualización Modelo Numérico pampa Puno – Sapunta” (HIDROMAS 2014), que exponía en detalle la elaboración del modelo conceptual y el modelo numérico calibrado de la fuente pampa Puno, utilizando los antecedentes del primer año de explotación (diciembre de 2013 a noviembre de 2014). Se manejó como información de régimen permanente la condición histórica del acuífero hasta mayo de 2013 y se calibró la condición transitoria con los datos del primer año de explotación.

Utilizando el modelo elaborado por HIDROMAS se ha desarrollado un nuevo proceso de recalibración en que, principalmente, se ha reajustado el comportamiento del entorno al sector Sapunta.

1.2 Objetivo

El presente documento tiene como objetivo presentar los resultados de la actualización del modelo numérico Pampa Puno al segundo año de explotación de la fuente.

1.3 Metodología de Trabajo

La actualización del modelo de flujo se llevó a cabo utilizando el modelo calibrado en régimen permanente y transitorio elaborado para el primer año de exploración (HIDROMAS 2014). A este modelo se agregaron los antecedentes de explotación de los últimos 17 meses (desde diciembre de 2014 a la primera semana de mayo de 2016), complementado con el registro de niveles de los pozos de observación.

Se reajustaron los parámetros de conductividad hidráulica en zona del sector Sapunta y los coeficientes de almacenamiento de aquellas zonas que lo requirieron, y se modificó marginalmente la distribución de las condiciones de recarga en torno al sector Sapunta, manteniendo la misma tasa de recarga del modelo HIDROMAS 2014 (120 l/s).

El proceso de reajuste del modelo tuvo como principal motivo reproducir el inicio de descensos registrados en los pozos emplazados en la cabecera de la vertiente Sapunta (PSAP-1, PSAP-2 y PSAP-3), los que comenzaron a mostrar descensos transcurridos el primer año de explotación. Considerando que el set de datos del primer año de explotación no presentaba alteraciones en los pozos PSAP, la configuración de parámetros fue ajustada de tal forma que el modelo del segundo año de explotación reprodujese dicha situación. Así, los cambios de mayor significancia se concentran en

Error Absoluto (m)	2.541	2.857
Error Cuadrático Medio (RMS) (m)	3.091	3.362
Error Normalizado (%)	1.623	2.831

SEGUNDO AÑO DE EXPLOTACIÓN



la zona de cabecera de la vertiente Sapunta. El resto del modelo no sufrió mayores cambios.

2. ACTUALIZACIÓN MODELO NUMÉRICO

2.1 Recalibración

El periodo de recalibración del modelo se dividió en 154 periodos de stress de frecuencia semanal, que representan las condiciones desde el 01/06/2013 al 06/05/2016. Los indicadores de la calidad de ajuste basados en la comparación de los niveles observados en terreno con los simulados por el modelo, se presentan la siguiente tabla resumen.

Parámetro	Modelo 2014 Jun 2013 – Nov 2014	Modelo 2015 Jun 2013 – May 2016
Número de Pozos	32	32
Número de Residuales (m)	916	1374
Promedio de Errores Residuales (m)	0.974	1.521
Error Medio Absoluto (m)	2.541	2.857
Raíz Error Cuadrático Medio (RMS) (m)	3.091	3.362
RMS Normalizado (%)	1.623	2.831

Tabla N°1: Indicadores de la calidad de ajuste del modelo numérico de flujo.

Además se presenta el gráfico con los errores de cierre del proceso de recalibración.

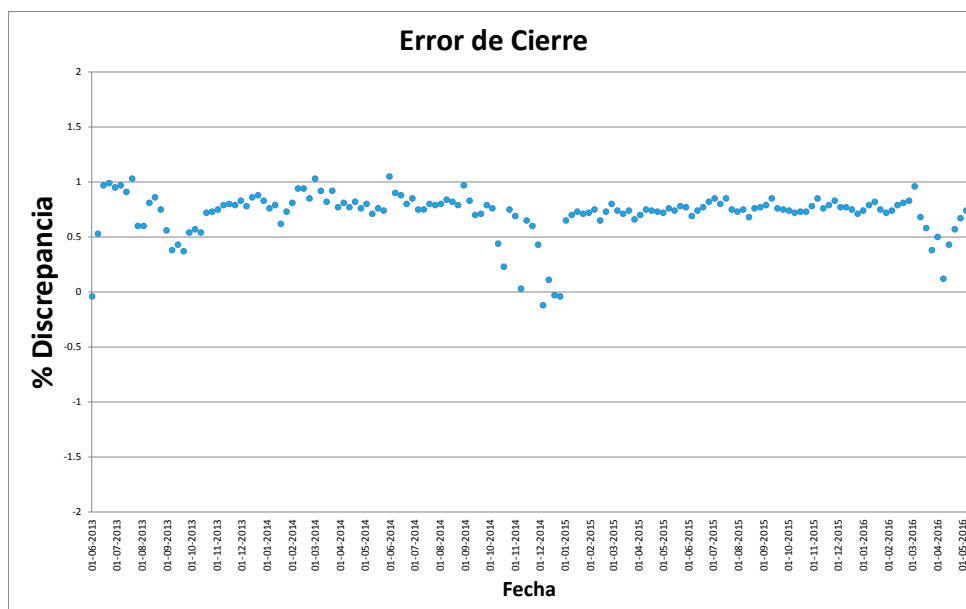


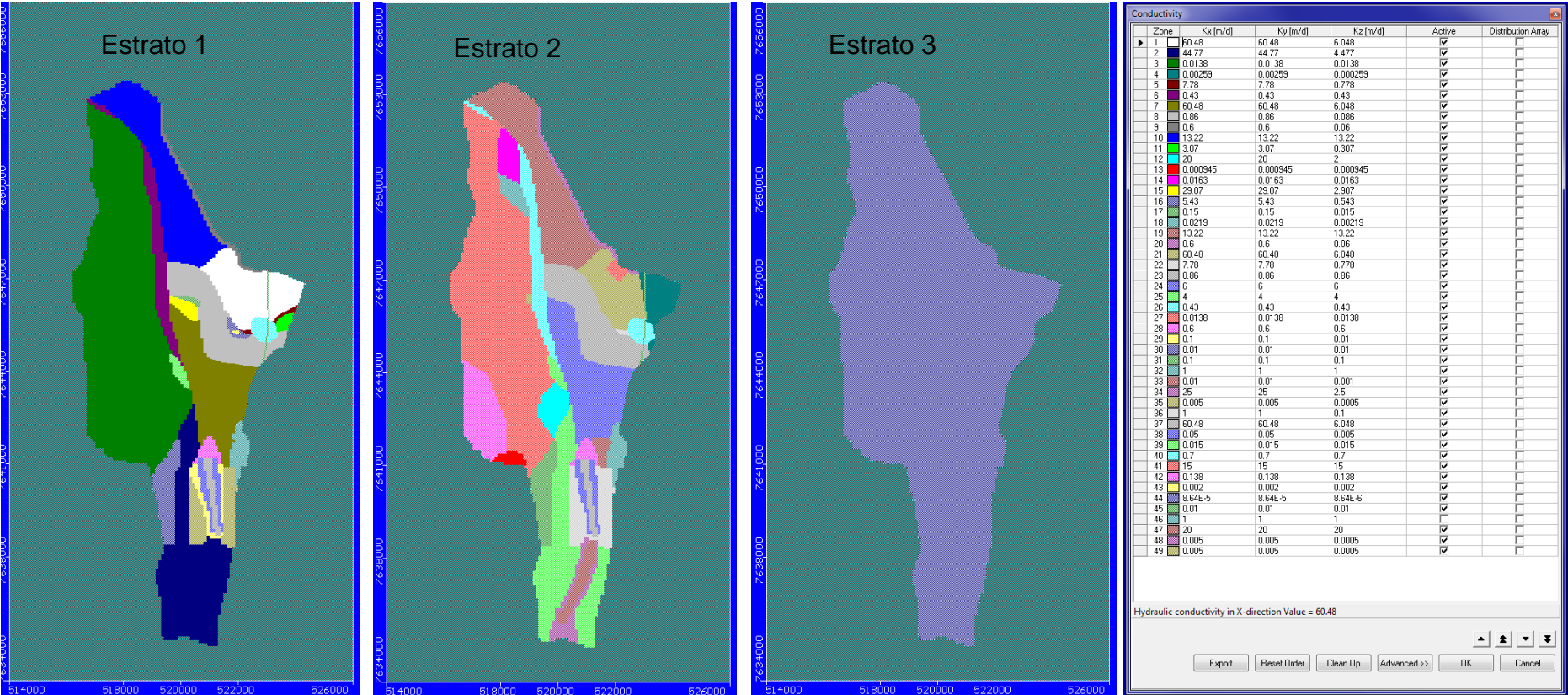
Figura N°1: Gráfico de errores de cierre.

Aunque los indicadores desmejoraron respecto del modelo original utilizado, cumplen satisfactoriamente con lo exigido por la Guía de Modelación del SEA del 2012.

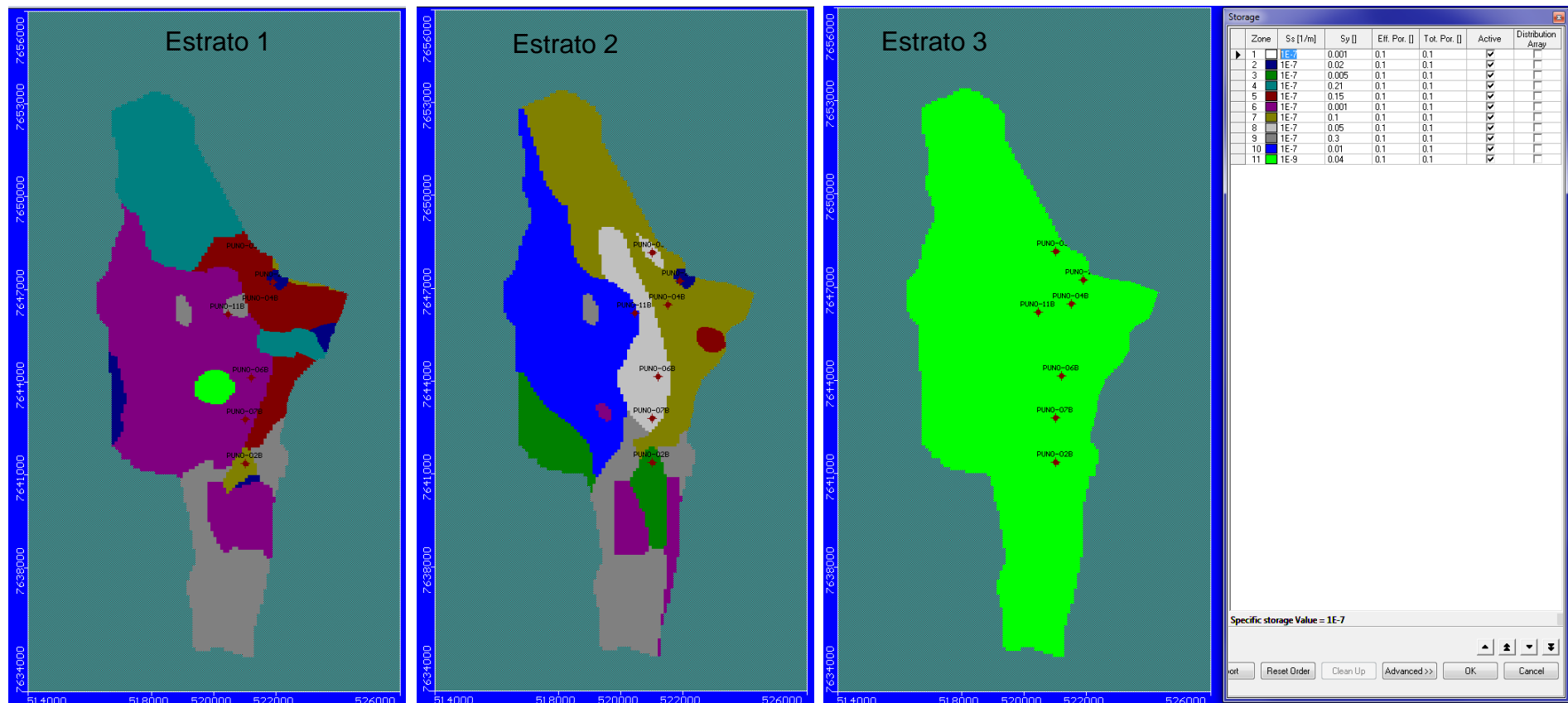
Se presenta además una tabla con los niveles calculados y los observados en terreno para la condición estacionaria o permanente.

NOMBRE	OBSERVADOS	CALCULADOS	CALC.-OBS.
	(msnm)	(msnm)	(m)
PIB-2	4055.38	4054.23	-1.16
PSAP1	4028.57	4030.56	1.99
PSAP2	4029.17	4031.45	2.28
PSAP3	4029.71	4032.55	2.84
PUNO-01E	4043.71	4049.03	5.32
PUNO-02B	4044.80	4045.96	1.16
PUNO-02E	4044.77	4045.92	1.15
PUNO-04B	4031.81	4032.37	0.56
PUNO-05E	4058.84	4061.29	2.45
PUNO-06B	4045.31	4042.86	-2.45
PUNO-07B	4045.18	4043.53	-1.65
PUNO-08B	4031.75	4034.36	2.60
PUNO-09B	4032.62	4030.28	-2.34
PUNO-10B	4031.98	4032.04	0.06
PUNO-10E	4031.93	4032.09	0.16
PUNO-11B	4045.43	4041.12	-4.32
PUNO-11E	4045.67	4041.40	-4.27
PUNO-13	4031.28	4033.49	2.21
PUNO-15	4044.07	4049.90	5.83
PUNO-15B	4044.12	4049.90	5.78
PUNO-16	4043.94	4050.15	6.21
PUNO-17	4043.88	4048.50	4.62
PUNO-18	4043.65	4048.17	4.52
PUNO-19	4045.04	4047.55	2.51
PUNO-19B	4047.07	4048.10	1.03
PUNO-20	4044.72	4044.07	-0.65
PUNO-21	4044.92	4043.93	-0.99
PUNO-314B	4145.37	4142.50	-2.87
PUNO-3EA	4040.99	4047.16	6.17
YOCA-08	4047.51	4045.94	-1.57
YOCA-09	3955.53	3955.42	-0.11
YOCA-10	4039.22	4036.47	-2.75

Tabla N°2: Niveles de Agua Subterránea Observados y Calculados.



Figuras 2.1: Distribución de conductividades estratos 1, 2 y 3 modelo Pampa Puno



Figuras 2.2: Distribución de coeficientes de almacenamientos estratos 1, 2 y 3 modelo Pampa Puno

2.2 Descensos de Niveles en pozos de observación.

Para una mejor visualización del ajuste del modelo, respecto a la reproducción del comportamiento del acuífero, es que se representan los descensos absolutos de los niveles medidos y simulados de algunos pozos. En las Figuras 2.3 a 2.18 se presentan los resultados.

De los gráficos se puede deducir que, en líneas generales, el comportamiento del acuífero puede ser representado en forma aceptable por el modelo numérico.

En la zona sur (Puno-16), el modelo reproduce descensos superiores a los registrados en terreno. Mientras que el modelo reproduce un descenso del orden de 65 cm a mayo de 2016, las mediciones de terreno dan cuenta de un descenso real de 30 cm para igual fecha. Sin embargo, se considera una diferencia razonable, ya que está en un mismo orden de magnitud.

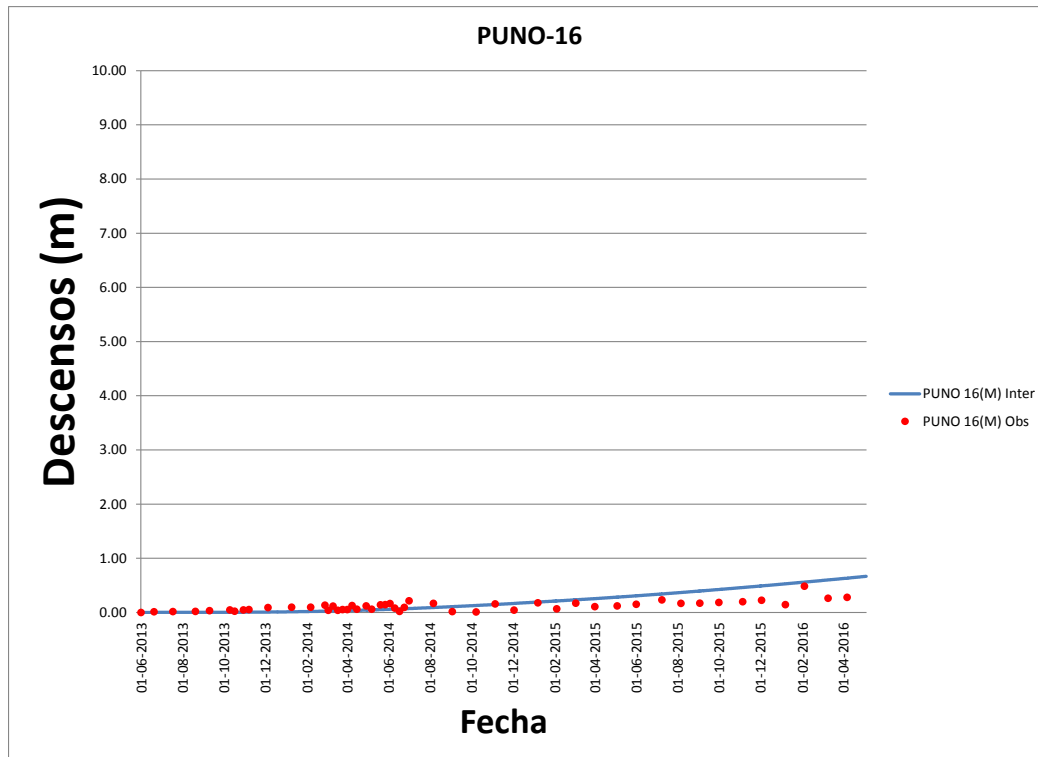
En la zona central, el ajuste de descensos es bastante bueno, reproduciendo casi de manera exacta el comportamiento de los pozos Puno-13, Puno-8B, Puno-19 y Puno-21.

Hacia el sector norte (YOCA-9) también tenemos que la reproducción de niveles es aceptable. Comparando los registros de terreno, sólo el pozo Puno-5E tiene un comportamiento notoriamente distinto al reproducido por el modelo. Aproximadamente a 1.4 km al sur del pozo Puno-5E se encuentra el YOCA-8 y, en este último, el modelo reproduce correctamente los descensos registrados.

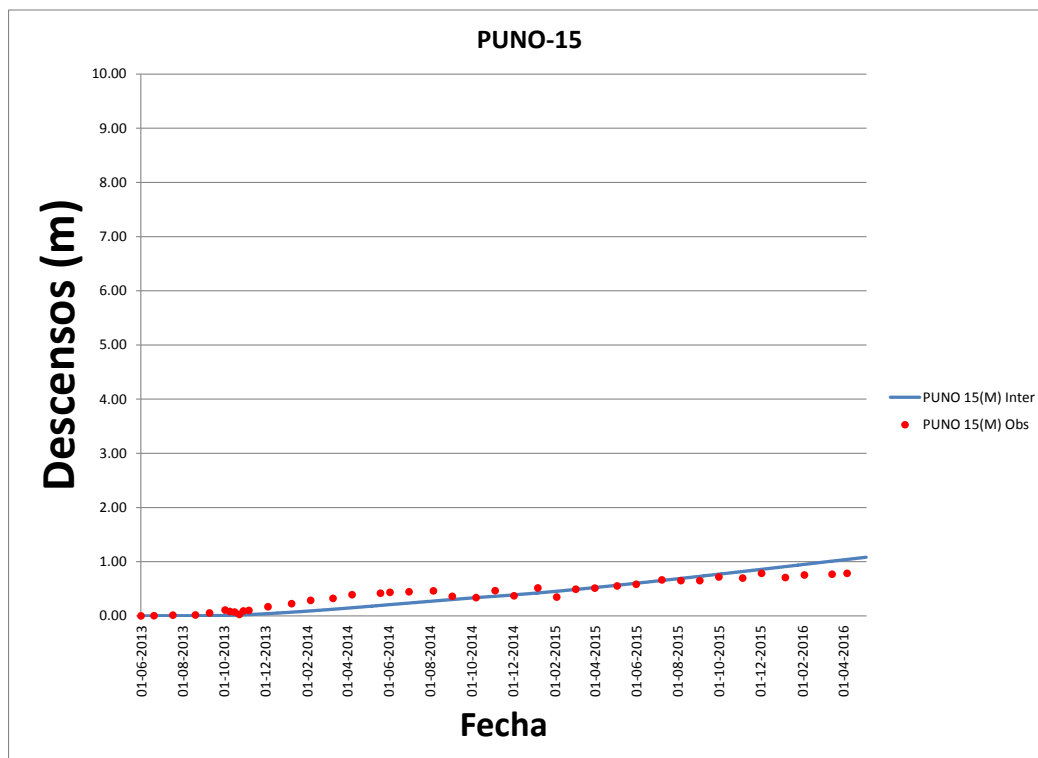
El modelo reproduce satisfactoriamente los descensos en los pozos PSAP, que están en la cabecera de la vertiente Sapunta. A principios de noviembre de 2015, se pudo constatar el registro de tres mediciones de niveles bajo el umbral fijado para estos. Esto implicó la aplicación de dos medidas indicadas en la RCA: la detención del pozo Puno-6B y la no explotación del pozo Puno-8B, y además, accionar el sistema de regadío en el sector Sapunta.

La acción del regadío ha influido en los niveles de los Pozos PSAP, por lo que actualmente estos niveles reproducidos por el modelo no reflejan las mediciones de terreno para estos pozos.

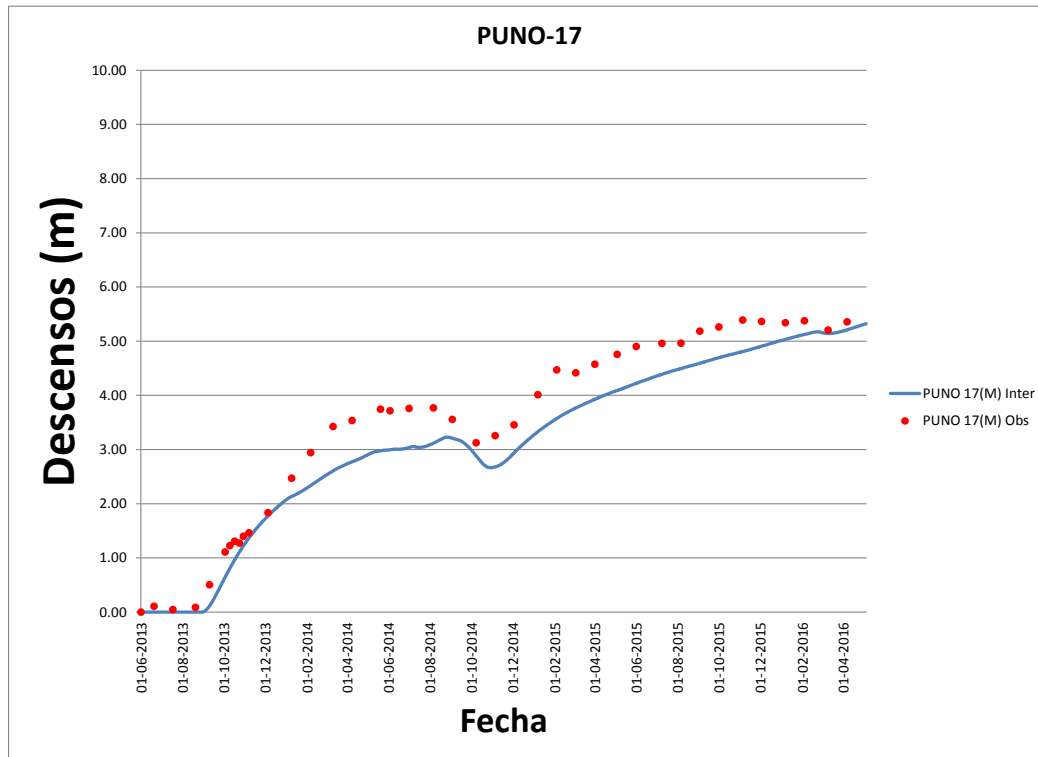
El descenso de niveles se desarrolla principalmente en el eje central de la cuenca (zona productiva en donde se emplazan los pozos), y descensos más fuertes se producen en el sur de la cuenca (pozos PUNO-2B y PUNO-7B). Los descensos van disminuyendo en magnitud hacia la zona norte central y norte.



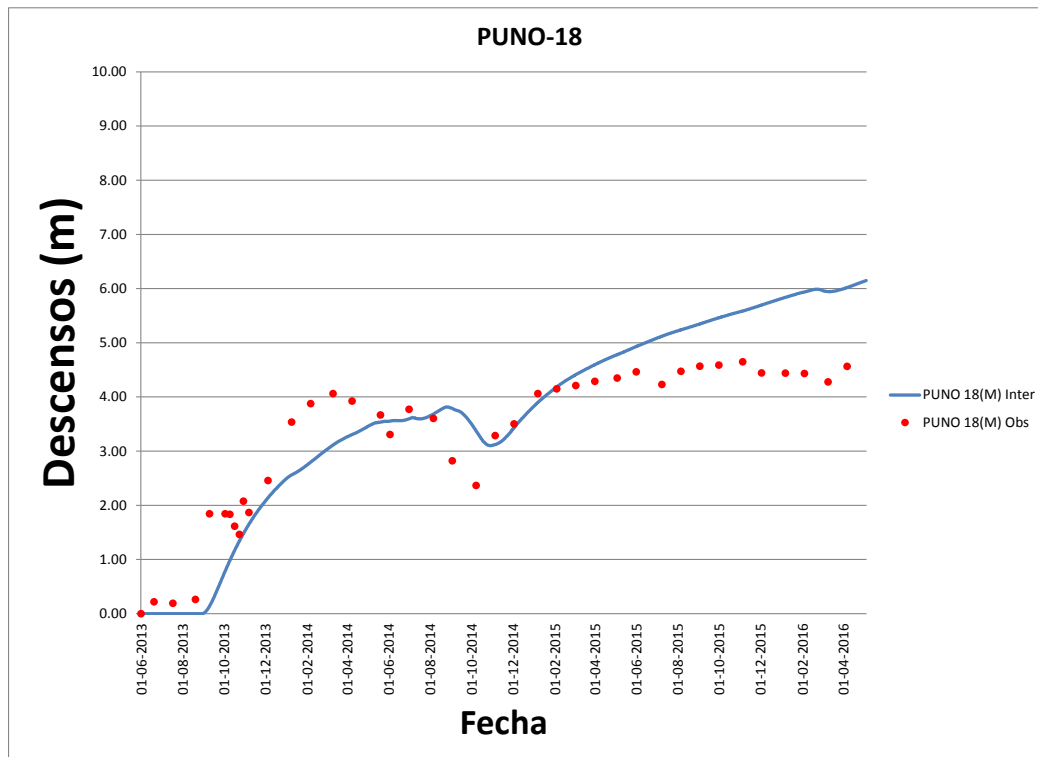
Figuras 2.3: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-16



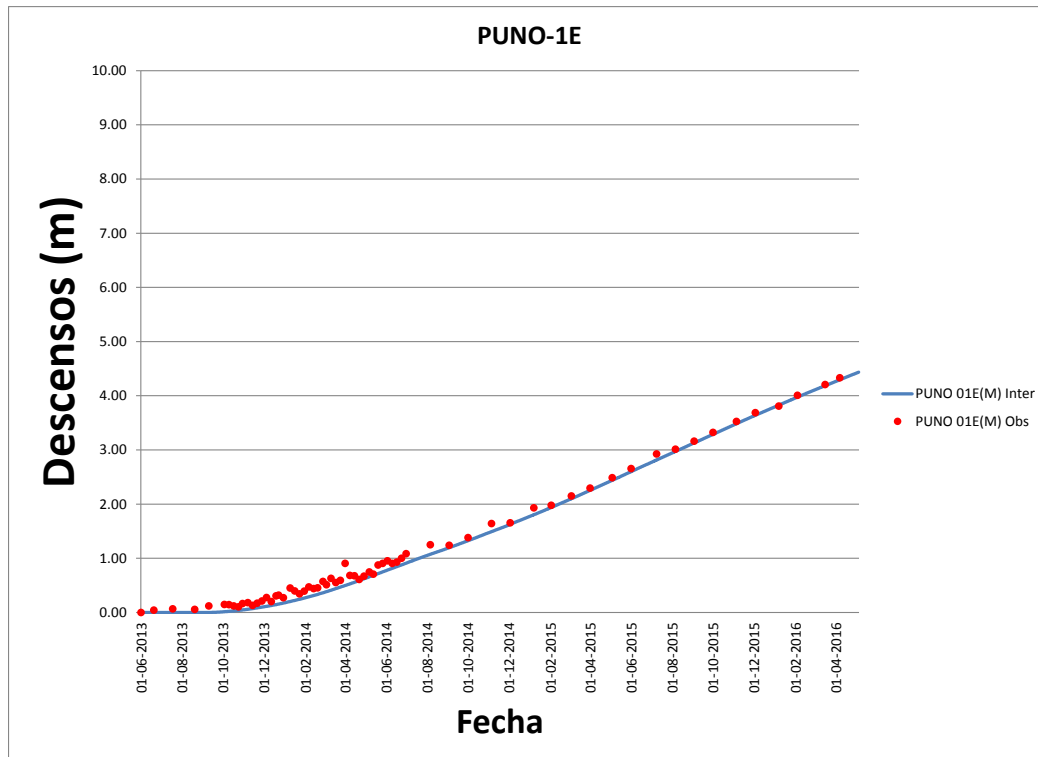
Figuras 2.4: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-15



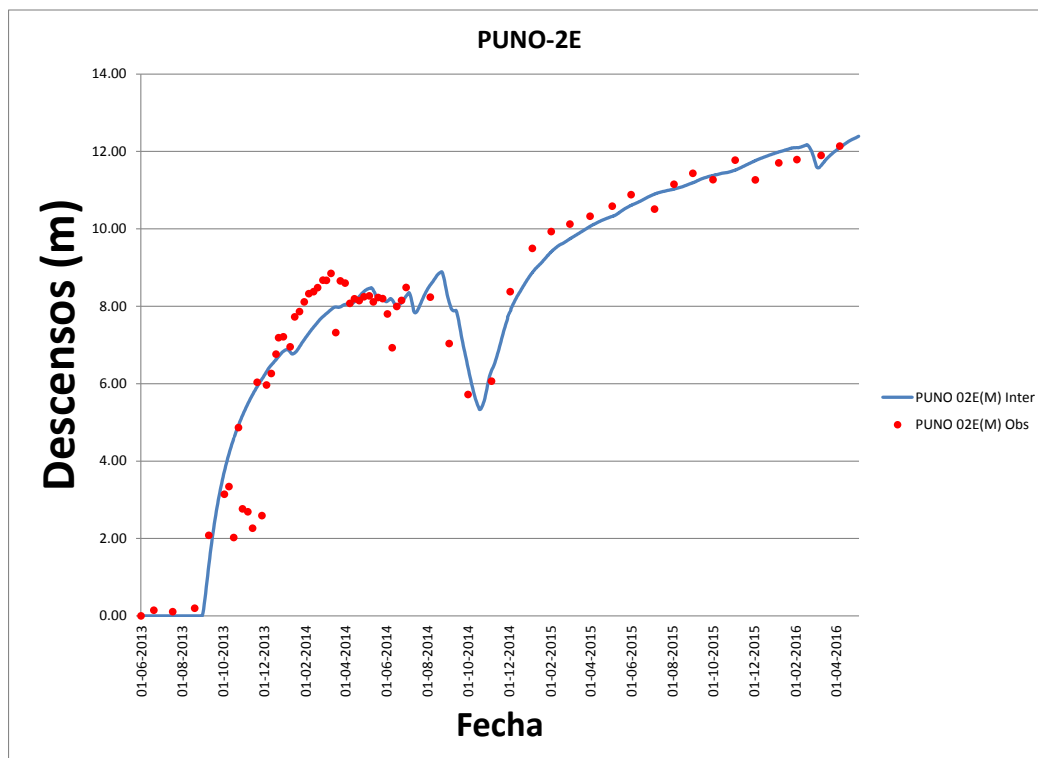
Figuras 2.5: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-17



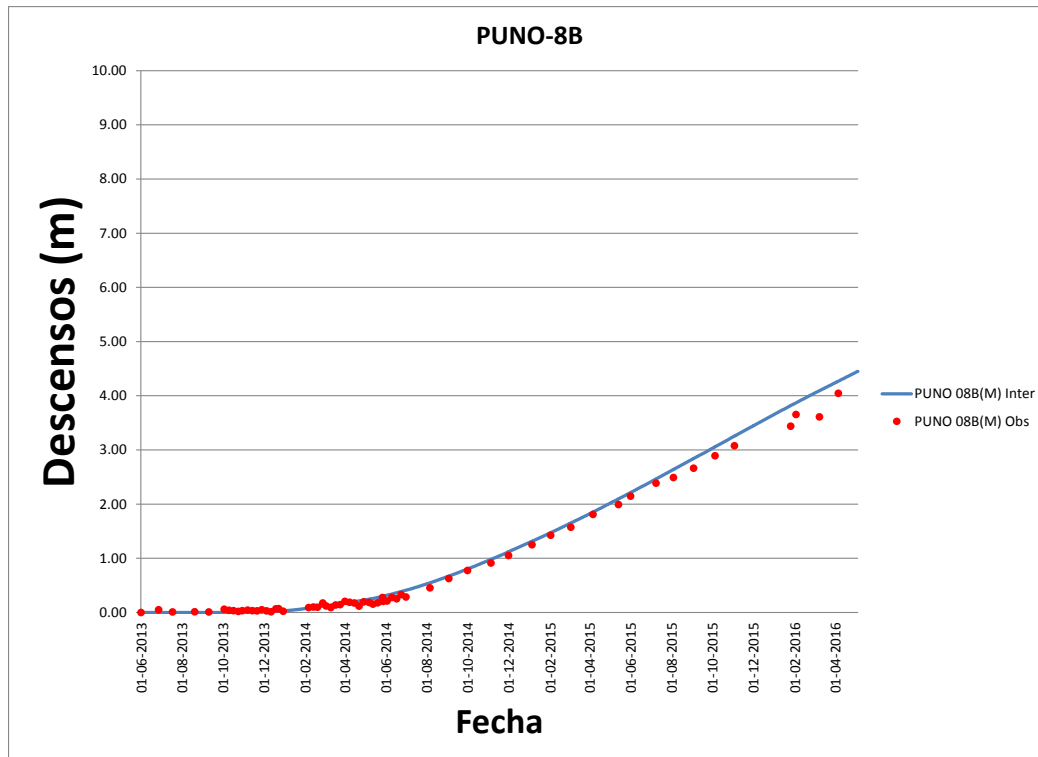
Figuras 2.6: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-18



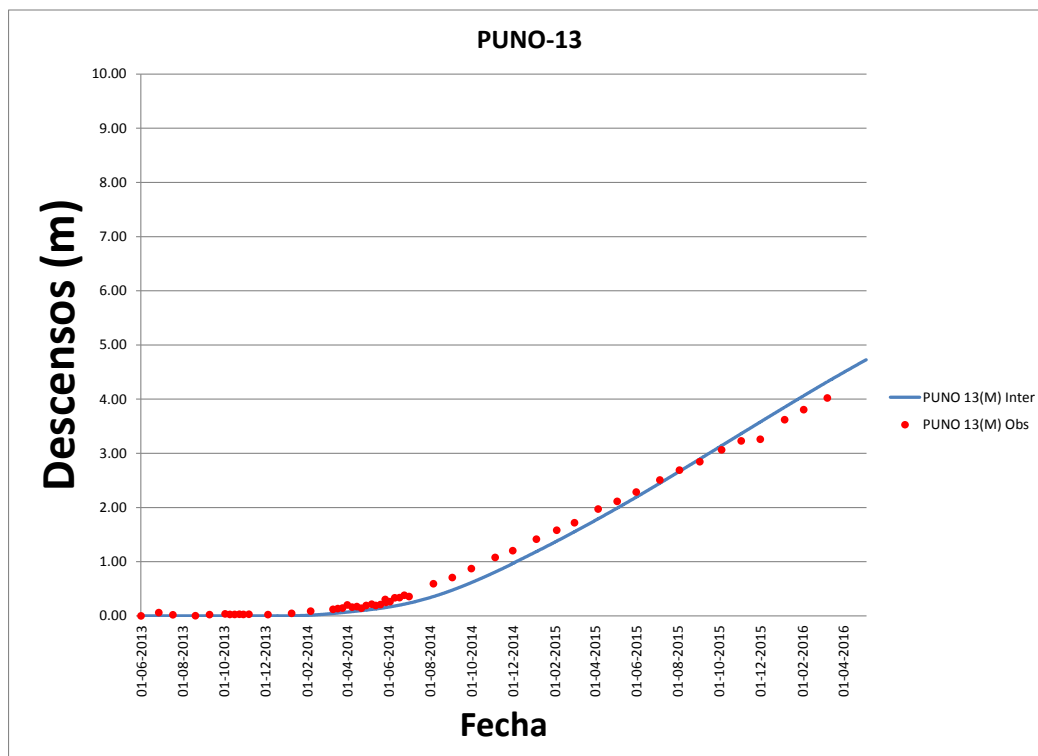
Figuras 2.7: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-1E



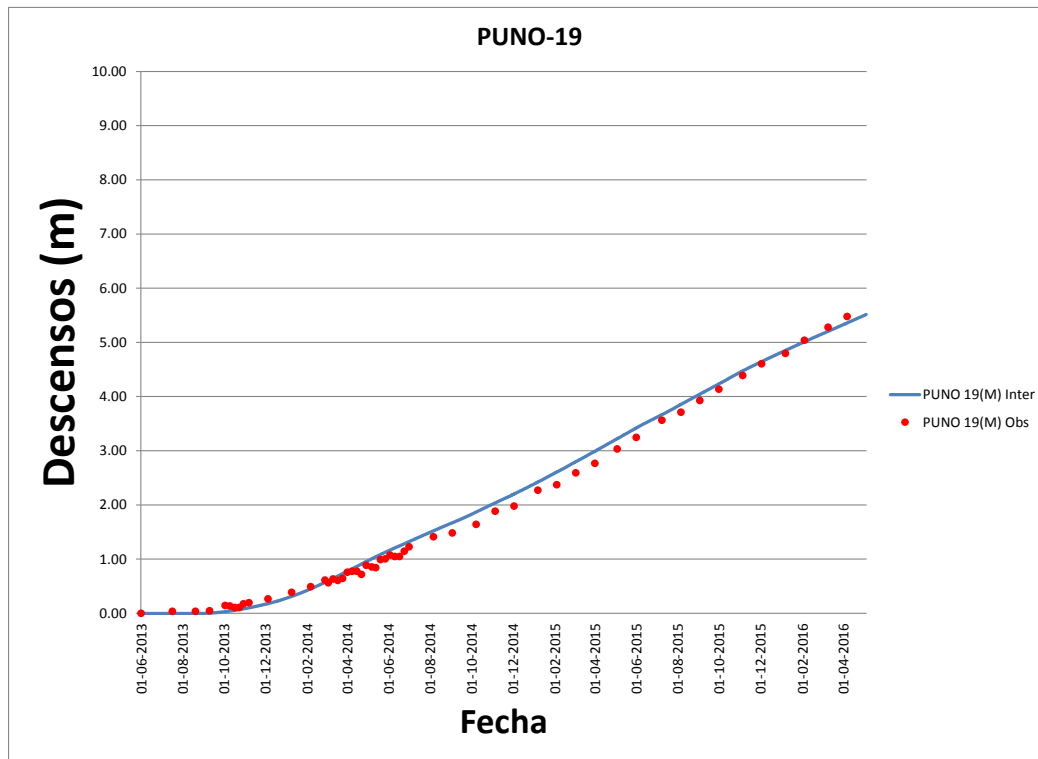
Figuras 2.8: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-2E



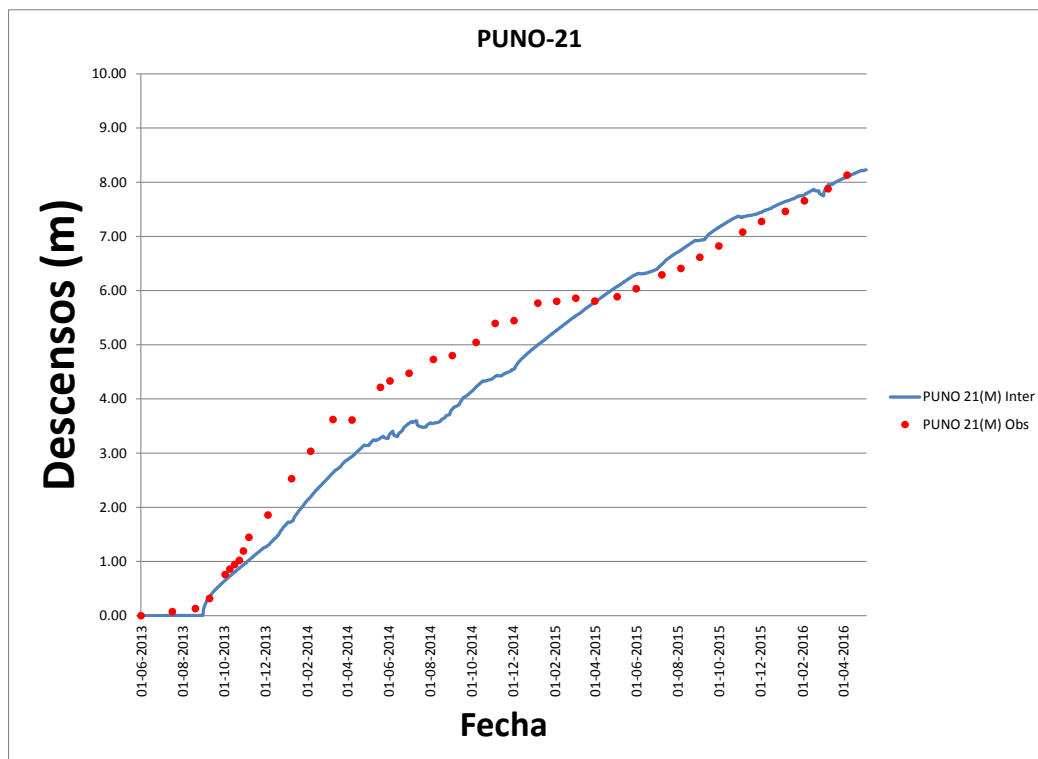
Figuras 2.9: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-8B



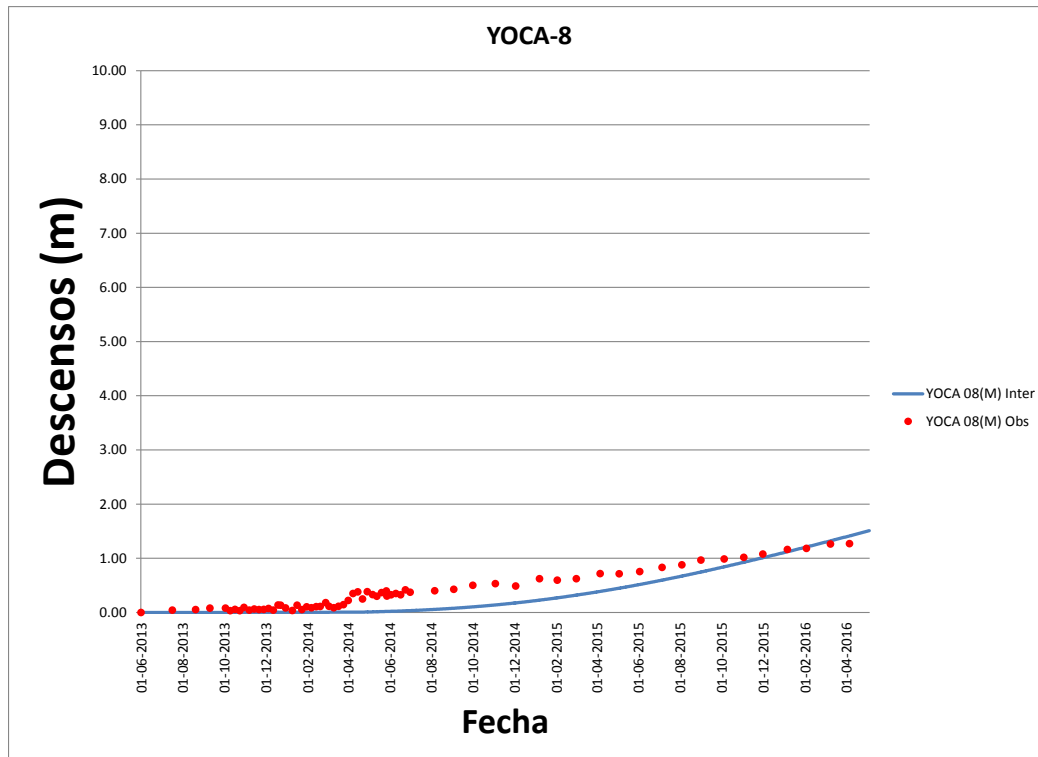
Figuras 2.10: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-13



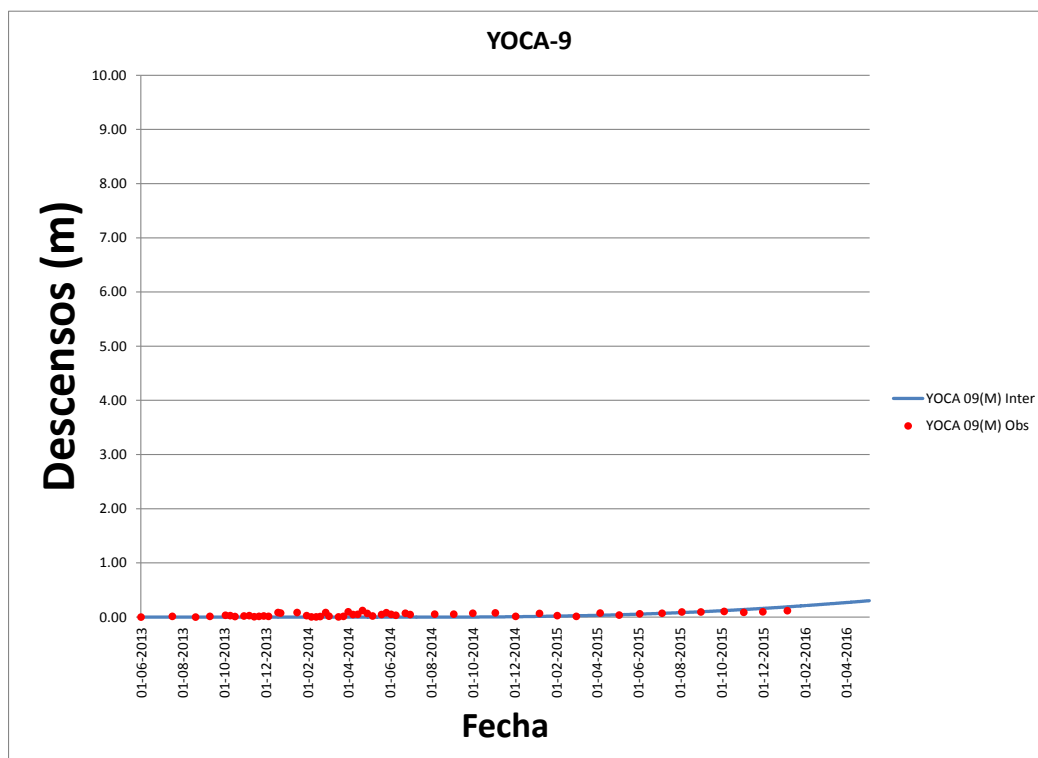
Figuras 2.11: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-19



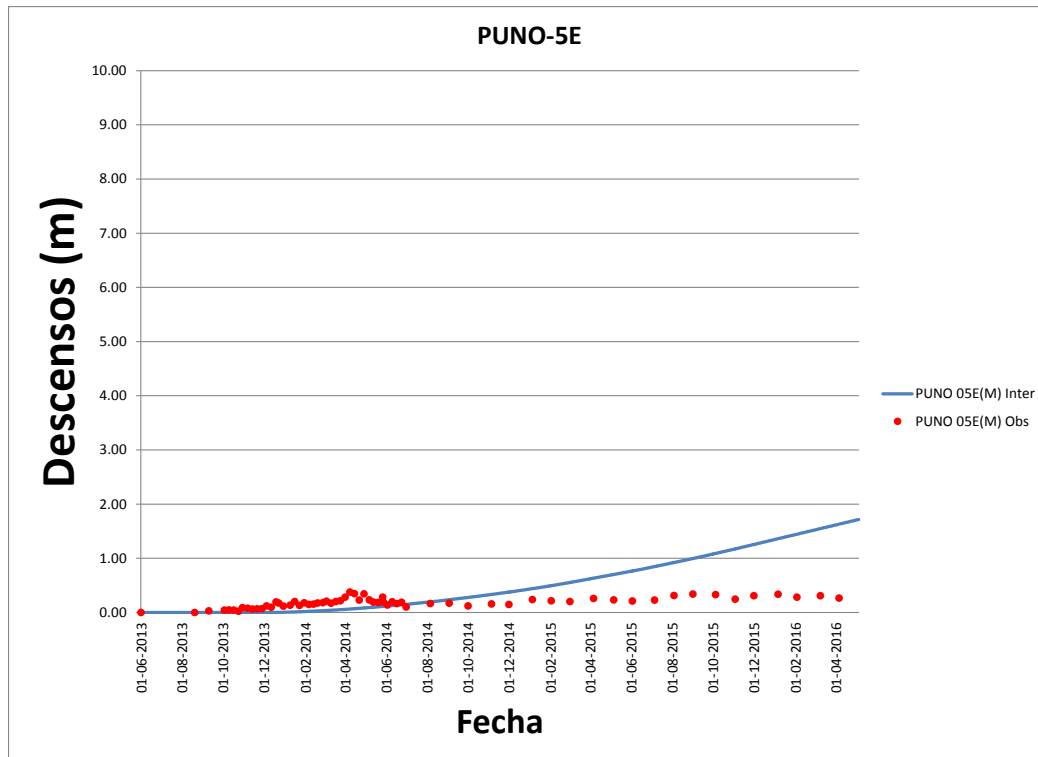
Figuras 2.12: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-21



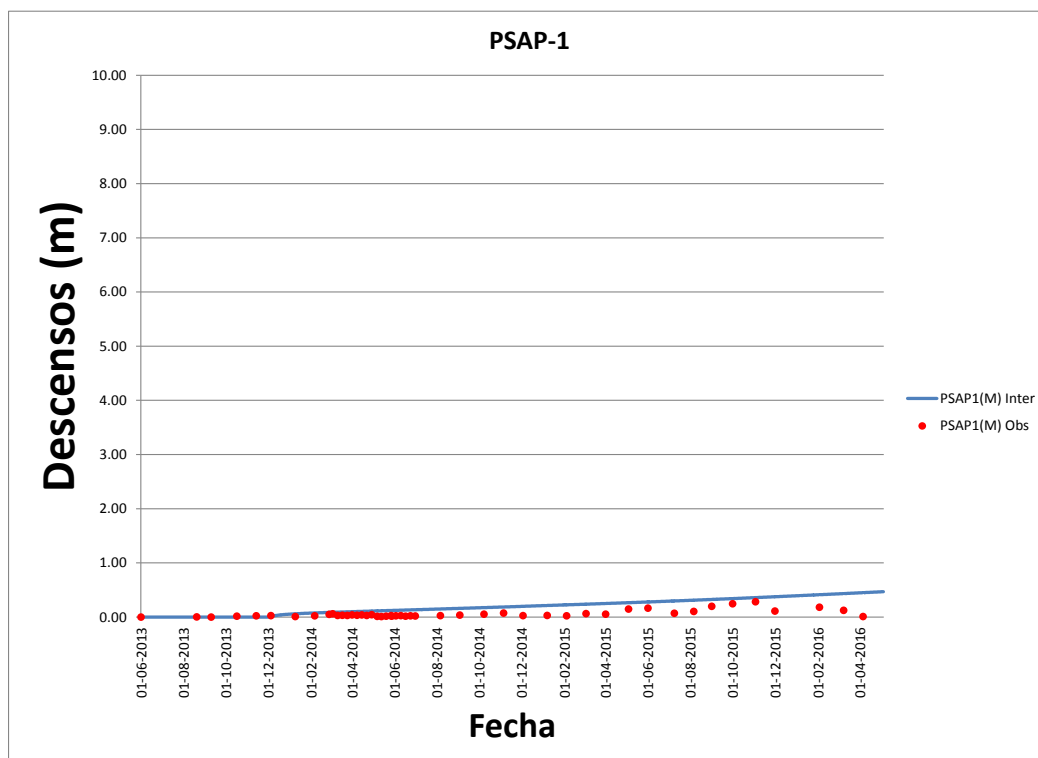
Figuras 2.13: Descensos observados y calculados en el pozo Yoca-8



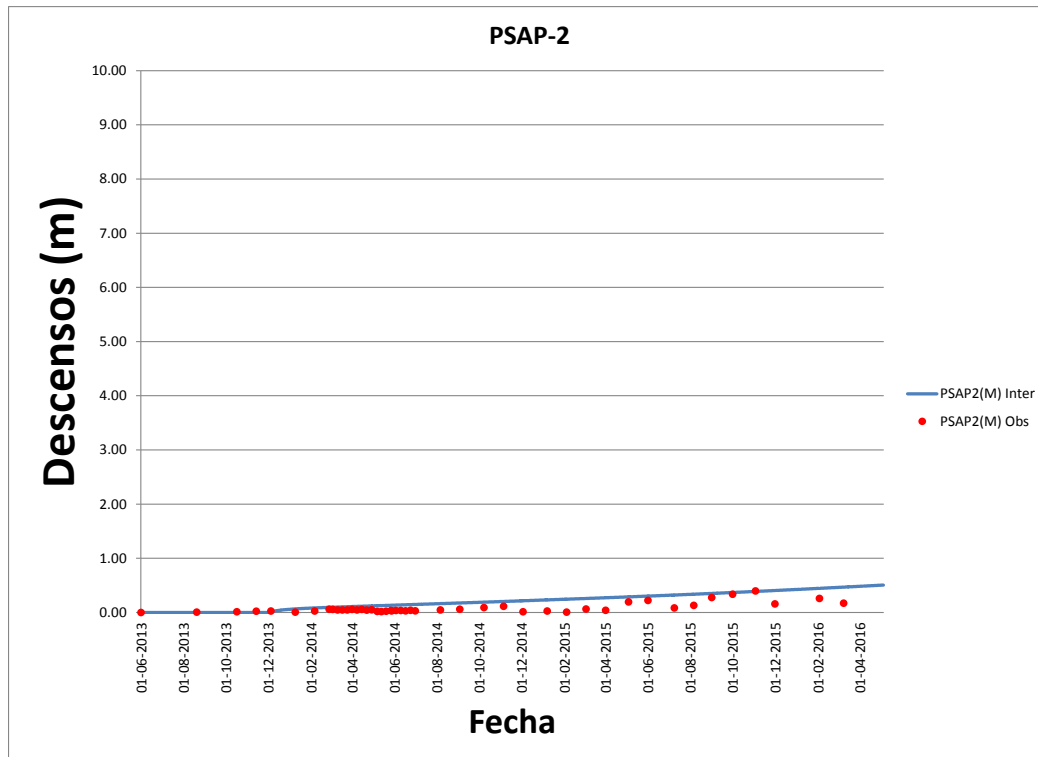
Figuras 2.14: Descensos observados y calculados en el pozo Yoca-9



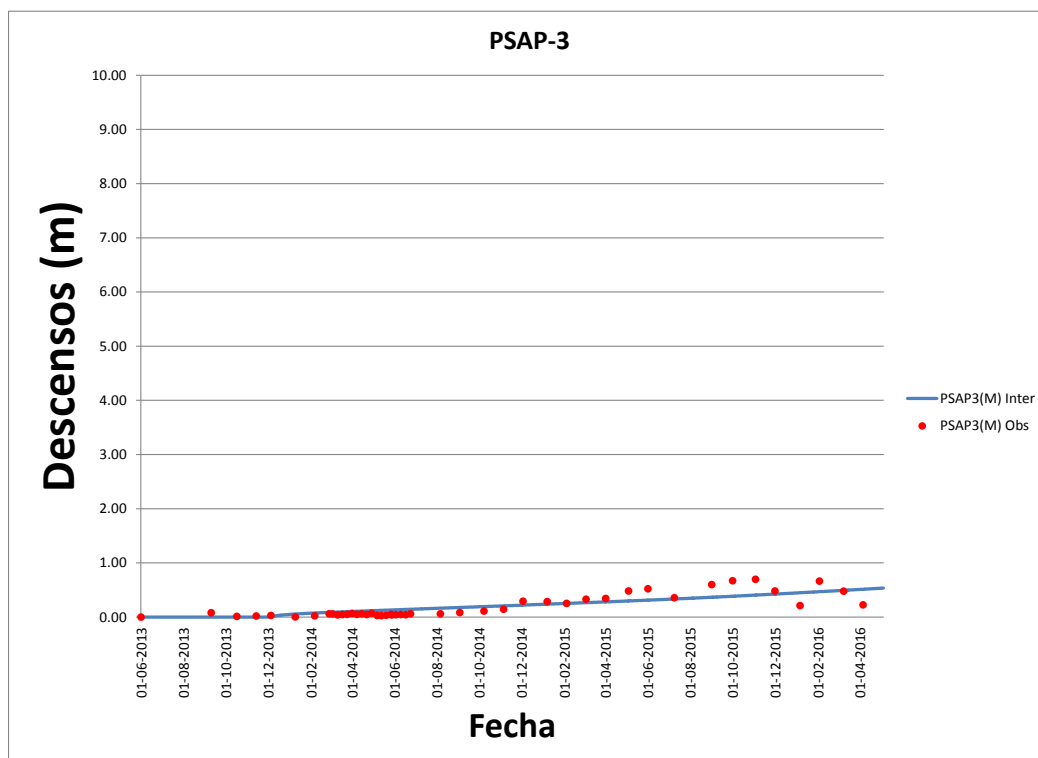
Figuras 2.15: Descensos observados y calculados en el pozo Puno-5E



Figuras 2.16: Descensos observados y calculados en el pozo PSAP-1



Figuras 2.17: Descensos observados y calculados en el pozo PSAP-2

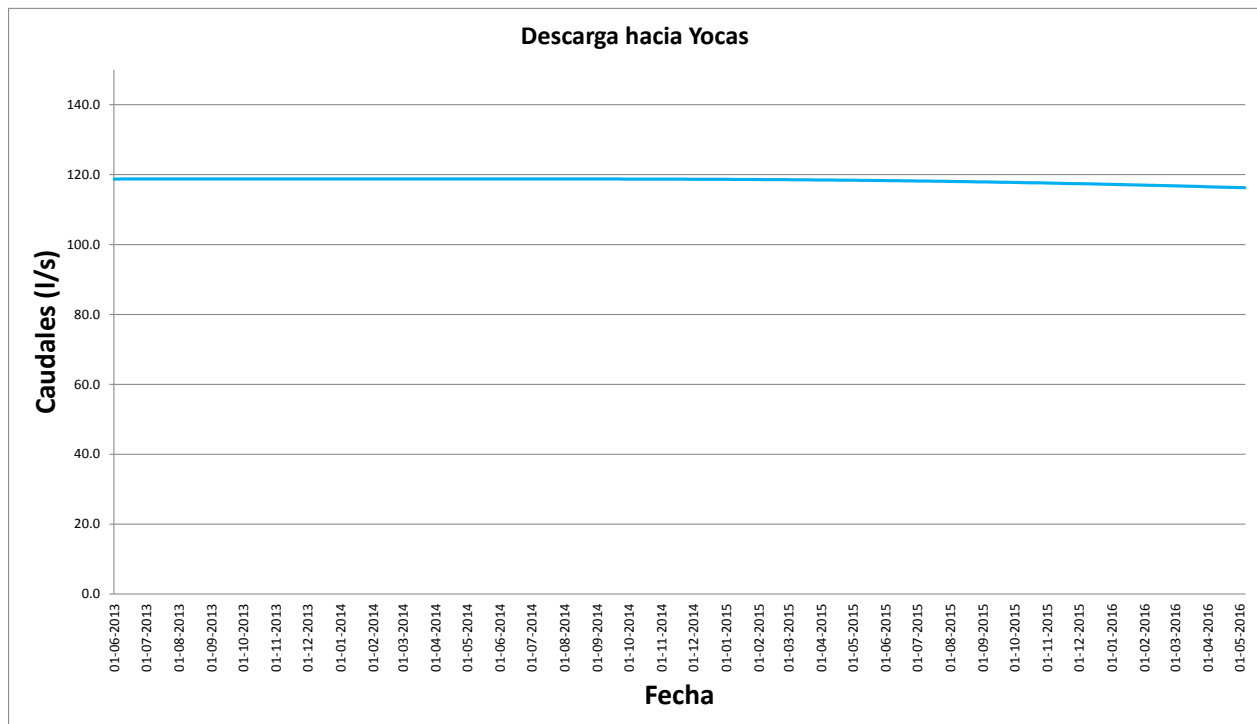


Figuras 2.18: Descensos observados y calculados en el pozo PSAP-3

2.3 Descargas

En función de los resultados entregados por el modelo, es posible estimar que la descarga hacia el sector Yocas ha sufrido una pequeña disminución. Se tiene que para la condición permanente, la descarga se evalúa en 118,7 l/s, reduciéndose en 2,1%, por lo que se estima que, actualmente, estarían escurriendo hacia Yocas aproximadamente 116,2 l/s.

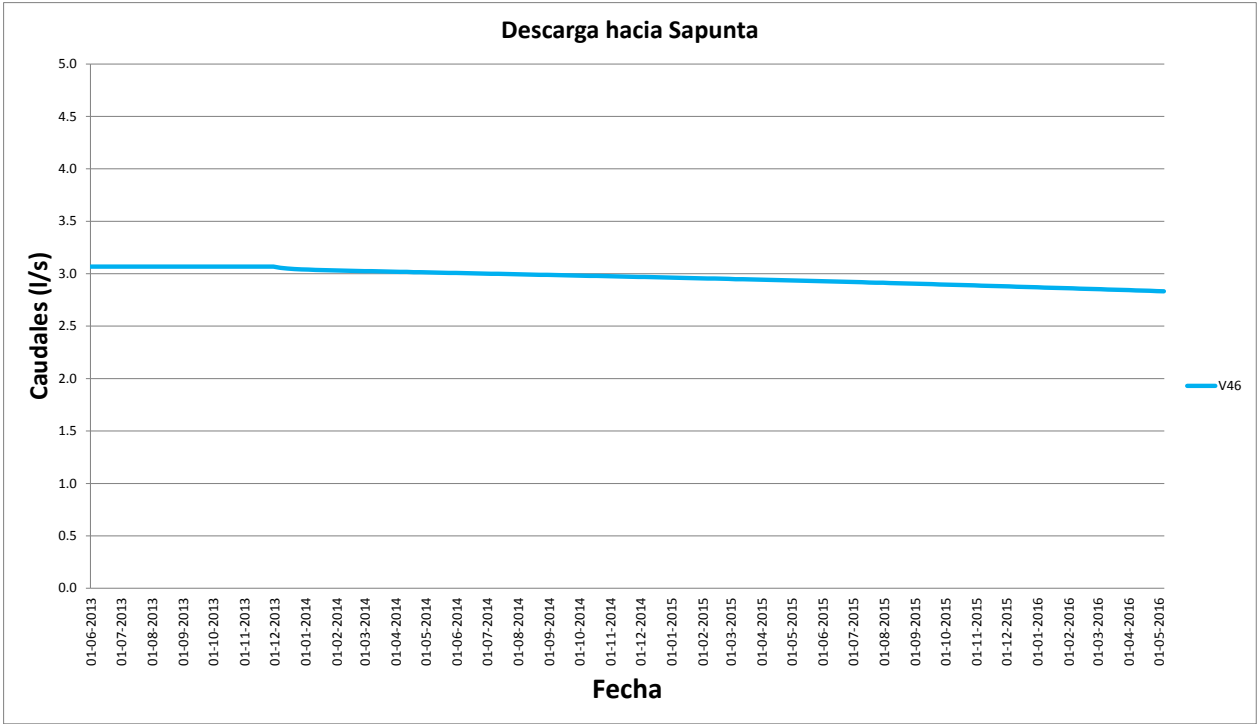
En la siguiente figura se muestra la evolución del caudal de descarga reproducido por el modelo hacia Yocas.



Figuras 2.19: Caudales de descarga hacia el sector Yocas.

Análogamente, es posible estimar que la descarga hacia el sector Sapunta también ha sufrido una disminución. Se tiene que para la condición permanente la descarga se evalúa en 3,1 l/s, el cual se ve reducido en un 7,7%, por lo que se estima, actualmente, estarían escurriendo hacia Yocas aproximadamente 2,8 l/s.

En la siguiente figura se muestra la evolución del caudal de descarga hacia Sapunta, reproducido por el modelo.



Figuras 2.20: Caudales de descarga hacia Sapunta.

2.4 Almacenamiento

Respecto del almacenamiento, los resultados del modelo indican que la explotación de la fuente ha utilizado aproximadamente un 2,2% del volumen de almacenamiento a la primera semana de mayo de 2016.

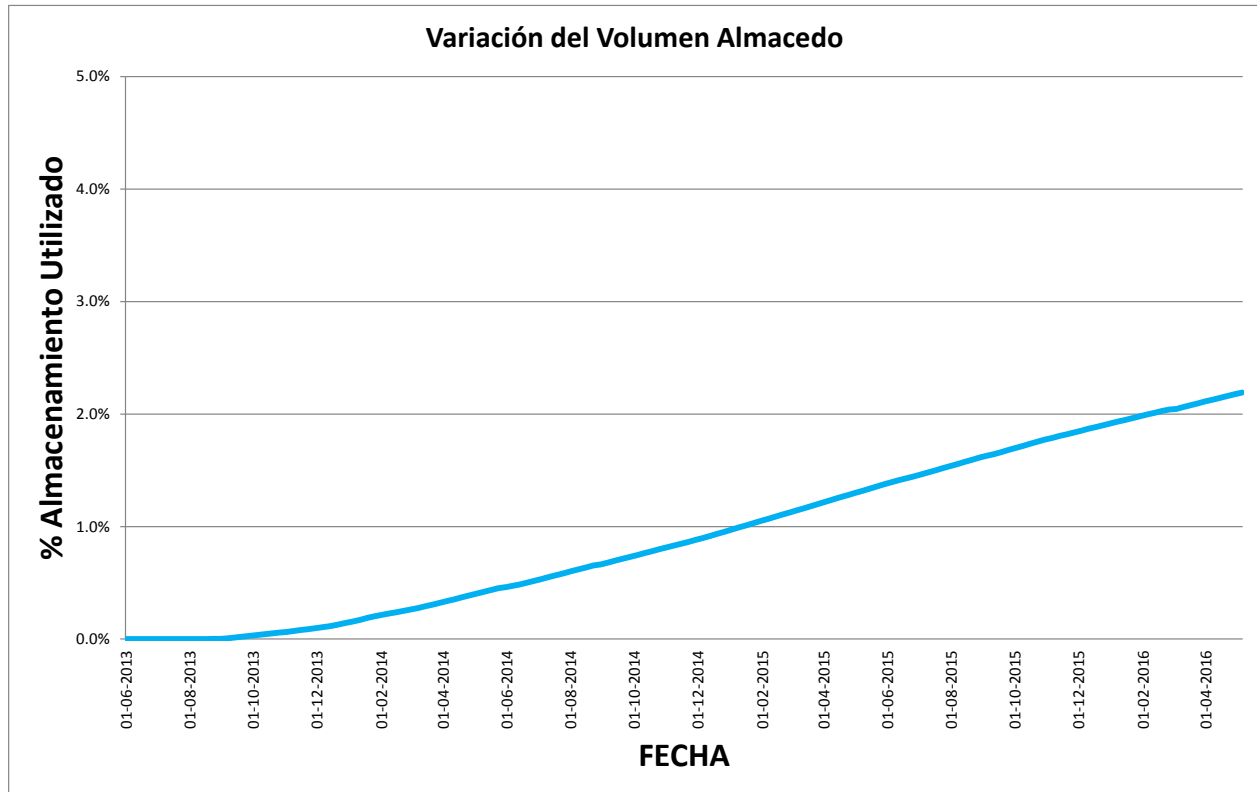


Figura 2.21: Evolución del porcentaje de almacenamiento utilizado a mayo de 2016.

3. CONCLUSIONES

El Modelo Pampa Puno ha sido recalibrado manteniendo los estándares exigidos por la Guía de Modelación del SEA (2012). El cambio de mayor importancia ha sido la modificación de parámetros en la zona de Sapunta.

A principios de noviembre de 2015, se verificó la afectación sobre el sector Sapunta por lo que se accionaron las medidas indicadas en la RCA: detención del pozo Puno-6B y no explotación del pozo Puno-8B, activando, además, el sistema de regadío en el sector Sapunta. La acción del regadío ha influido en los niveles de los Pozos PSAP, por lo que, actualmente, los niveles reproducidos por el modelo no representan el comportamiento registrado en terreno. La detención del pozo Puno-6B y la no explotación del pozo Puno-8B no han mostrado efectos en cuanto a la recuperación de niveles.

Al segundo año de explotación se puede observar que los mayores descensos se producen en torno a los pozos PUNO-2B y PUNO-7B (sector Sur). Los descensos en la zona central y hacia el norte son comparativamente menores.

Los resultados del modelo indican que las descargas hacia Yocas y Sapunta han sufrido disminuciones. Para el caso de Yocas la disminución se estima en un porcentaje de 2,1%, mientras que para Sapunta se estima en 7,7%.

La explotación del acuífero ha consumido a mayo de 2016 aproximadamente un 2,2% del volumen almacenado en la cuenca.