



MINERA LOS FRAILES

ADENDA: MODELO HIDROGEOLÓGICO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁMBITO DEL PROYECTO LOS FRAILES Y SU ZONA DE INFLUENCIA. FASE DE EXPLOTACIÓN

DOCUMENTO 1: ADENDA (MEMORIA)



MINERA LOS FRAILES
Complejo Minero de Aznalcóllar,
Ctra. Gerena-Aznalcóllar PK 14,
41870 Aznalcóllar, SEVILLA
ESPAÑA



ayesa
Parque Tecnológico de la Cartuja
C/ Marie Curie 2 (Edificio Alía)
41092 Sevilla
ESPAÑA

DOCUMENTO 1: MEMORIA**ÍNDICE**

0	ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO	1
1	REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES.....	2
2	MODIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO	4
2.1	Calibración del Modelo	4
2.1.1	Definición de la serie de niveles utilizada en la calibración	4
2.1.2	Criterios de Calibración	7
2.1.3	Bondad de ajuste y representación de los resultados	7
2.2	DEMANDAS DE URBANIZACIONES DEL SUR.....	13
2.3	GEOMETRÍA DE LAS CORTAS.....	15
2.4	REPRESENTACIÓN DE LAS CORTAS CON LA CONDICIÓN DE CONTORNO “LAKE”	19
2.5	REPARTO DE PÉRDIDAS DEL ARROYO DE LOS FRAILES [6]	19
2.6	Condición de Contorno del Borde Sur.....	21
2.7	Bondad de Calibración del Modelo Simpa	21
2.7.1	Estación SAIH del Agrio E67	23
2.7.2	Corta de Aznalcóllar	24
2.7.3	Corta de Los Frailes	26
3	EVALUACIÓN DEL MODELO REVISADO	28
4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	32
4.1	Análisis de Sensibilidad de la Recarga.....	32
4.2	Análisis de Sensibilidad de la Conductancia.....	37
4.3	Análisis de Sensibilidad de la Permeabilidad	39
5	ESTUDIO DE AFECCIONES.....	41
5.1	Afección a las aguas subterráneas	41
5.2	Afección a masas de agua superficial.....	46
5.3	Afección a Terceros	48
6	CONCLUSIONES	51

TABLAS

Tabla 1 Resumen de las mejoras extraídas del Informe de Evaluación del IGME.....	2
Tabla 2 Estadísticos y Rango de Observación en el MTB durante el periodo de calibración (oct. 2018 – sept. 2019)	4
Tabla 3 Estadísticos y Rango de Observación en el PLZ durante el periodo de calibración (oct. 2018 – sept. 2019)	5
Tabla 4 Captaciones asociadas al Expediente nº 308-1988 (FINCA CARCAHUESO). Modelo Inicial vs. Modelo Revisado.....	9
Tabla 5 Zonas de reparto de Infiltración de la recarga en la Escombrera Este (ESC.E).....	11
Tabla 6 Demanda de agua estimada para las urbanizaciones del Sur	13
Tabla 7 Modelización de las capas con agua de Corta Aznalcóllar - Modelo Revisado	16
Tabla 8 Modelización de las capas con agua de Corta de Los Frailes - Modelo Revisado.....	16
Tabla 9 Reparto de pérdidas en el Arroyo de Los Frailes	19
Tabla 10 Datos de calibración en ES67.....	23
Tabla 11 Caudales anuales tratados en Aznalcóllar	24
Tabla 12 Datos de calibración en CAZ	25
Tabla 13 Estadísticos y series de Calibración CLF	26
Tabla 14 Piezómetros empleados para la calibración: Valores Observados (OBS), valores Simulados (SIM) y residuales obtenidos (RES) - Modelo Inicial Vs. Modelo Revisado	28
Tabla 15 Modificación de los estadísticos utilizados en la calibración de junio de 2020.....	29
Tabla 16. Parametrización de la Recarga (RCH) según materiales – Modelo Revisado (20200601).....	32
Tabla 17. Análisis de Sensibilidad de la Recarga para todas las corridas realizadas. Para los Estadísticos RMSE – NRMSE – RES – RES (ABS) Modelo Revisado (20200601).....	33
Tabla 18. Análisis de Sensibilidad de la Recarga (\pm 20%). Variación de las ENTRADAS por RCH y las SALIDAS por RIOS-EMBALSE-CONTRAEMBALSE (DRN-CHD).....	35
Tabla 19. Ecuación utilizada para la determinación de la Conductancia (m ³ /día) en las celdas con cursos fluviales definidas como DRAIN.....	37
Tabla 20. Análisis de Sensibilidad- CONDUCTANCIA – Modelo Revisado (20200601).....	38
Tabla 21. Análisis de Sensibilidad- PERMEABILIDAD – Modelo Revisado.....	39
Tabla 22 Balance de agua en SIT.ACTUAL para todo el dominio de simulación (Reg.Estacionario) - Modelo Revisado.....	41
Tabla 23 Balance de agua con CLF VACÍA para todo el dominio de simulación (Reg.Estacionario) - Modelo Revisado	41
Tabla 24 Balance de agua en EXPLOTACIÓN para todo el dominio de simulación (Reg.Estacionario) - Modelo Revisado.....	42
Tabla 25 Afección a las masas de agua superficial en el dominio de simulación - Modelo Inicial	46
Tabla 26 Afección a las masas de agua superficial en el dominio de simulación - Modelo Revisado	46
Tabla 27 Cálculo de la oscilación promedio del sistema a partir de los niveles pico y valle de cada punto de control en los diferentes veranos e inviernos de la serie existente	49
Tabla 28 Características de las captaciones con grado de afección a Terceros. Fase de Vaciado - Modelo Revisado.....	50
Tabla 29 Características de las captaciones con grado de afección a terceros. Fase de Explotación – Modelo Revisado.....	50

FIGURAS

Figura 1 Nuevo periodo de calibración utilizado para comparar la bondad del modelo con los datos observados en los piezómetros asociados al MTB	5
Figura 2 Nuevo periodo de calibración utilizado para comparar la bondad del modelo con los datos observados en los piezómetros asociados a los materiales paleozoicos	6
Figura 3 Modificación de contactos DAC-CAZ/PQ y Zona fracturada del CVS	8
Figura 4 Aumento de la Conductancia en los ríos principales del sector meridional del Ámbito simulado.....	9
Figura 5 Redistribución de las captaciones asociadas al Exp. 308-1988 (Finca Carcahueso). Se muestran en naranja las concesiones oficiales, y en magenta los puntos realmente operativos.	9
Figura 6 Sección del piezómetro MCH041, donde se observa su desviación y su desajuste respecto a la superficie modelada	10
Figura 7 Materiales geológicos de las capas 1, 2 y 3, y referencia en esta última de las zonas de recarga de la tabla 5.....	11
Figura 8 Localización de los puntos de observación empleados para el ajuste del modelo. En rojo los puntos eliminados; en azul los puntos incorporados; en verde los puntos del MTB que no cambian; y en morado los puntos de Paleozoico que no cambian.	12
Figura 9 Localización del sondeo de abastecimiento de las urbanizaciones de Los Ranchos/La Ribera y Los Encinares/El Vicario....	14
Figura 10 Caseta del pozo de abastecimiento de las urbanizaciones situadas al sur del dominio de simulación.....	14
Figura 11 Corte en sección E-W de los MDTs utilizados	15
Figura 12 Secciones horizontales utilizadas para cada LAYER en la definición geométrica de CAZ – Modelo Revisado	17
Figura 13 Secciones horizontales utilizadas para cada LAYER en la definición geométrica de CLF – Modelo Revisado.....	18
Figura 14 Localización de los puntos modelizados como “pérdidas” del arroyo Los Frailes en la modelización	20
Figura 15. Condición DREN (18.77 mnm) definida en el límite sur del modelo.....	21



Figura 16 Valores para la clasificación de los estadísticos empleados para el ajuste del modelo de aportaciones	22
Figura 17 Series de aportación simulada y observada en el Agrio.	23
Figura 18. Mediciones de cota en la Corta de Aznalcóllar	24
Figura 19. Aportación anual observada-simulada en CAZ	25
Figura 20. Evolución de la cota en la Corta de los Frailes	26
Figura 21 Aportación anual observada-simulada en CLF	27
Figura 22. Correlación entre los valores observados (OBS) y los valores simulados (SIM). Coeficiente de Determinación	29
Figura 23. Residuales obtenidos en el Modelo Revisado	30
Figura 24 Zonificación de las zonas de recarga por infiltración de agua de lluvia.	34
Figura 25 Piezometría estimada en el escenario en SIT. ACTUAL (Régimen Estacionario) – Modelo Revisado	43
Figura 26 Piezometría estimada en el escenario de CLF Vacía (Régimen Estacionario) – Modelo Revisado	44
Figura 27 Piezometría estimada en el escenario de EXPLOTACIÓN (Régimen Estacionario) – Modelo Revisado	45
Figura 28 Localización de las masas de agua superficial situadas en el ámbito simulado	47
Figura 29 Incremento de la zona drenada por las Cortas de ACTUAL a EXPLOTACIÓN - Modelo Revisado.....	47
Figura 30 Localización de los puntos de control considerados en el análisis de oscilaciones. En verde los de paleozoico y en amarillo los de mioceno.	48

DOCUMENTO 2: ANEXOS

ANEXO I. LÁMINAS (ACTUALIZADAS)

ANEXO II. LISTADO DE CAPTACIONES NO AFECTADAS



0 ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO

Con fecha 24/02/2020, Minera Los Frailes, presentó ante la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir el documento “MODELO HIDROGEOLÓGICO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁMBITO DEL PROYECTO LOS FRAILES Y SU ZONA DE INFLUENCIA. FASE DE EXPLOTACIÓN” (AYESA, 2020).

Tras un proceso de evaluación y revisión por parte del IGME durante 2020 a petición de la CHG, se redacta la presente Adenda, con objeto de dar respuesta a su último informe de evaluación.

El presente documento es por tanto una ADENDA que responde de forma conjunta a los informes del IGME 4520/2020 y 4626/2020.

Se optó por el formato ADENDA al permitir un mejor rastreo y una mayor trazabilidad del proceso constructivo del modelo ya que, al tratarse de un modelo hidrogeológico conceptual y matemático, se trata de un documento dinámico que se verá sometido a una evolución futura a lo largo de toda la vida del proyecto, por lo que se considera necesario que exista un histórico de documentos que muestren la evolución de dicho modelo a medida que se han ido incorporando al mismo nuevas observaciones.



1 REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES

En el informe de evaluación del IGME se especifica pormenorizadamente toda la información recopilada para la ejecución del modelo (AYESA, 2020) y el planteamiento y/o tratamiento de ésta en el documento, haciendo una evaluación acerca de la idoneidad de la metodología abordada o de las mejoras necesarias o recomendadas.

En las conclusiones del informe, se recogen un total de seis aspectos que han de ser corregidos para que el documento pueda contar con la aceptación de los revisores y otros dos puntos más que se incorporan a modo de recomendaciones que harían mejorar la calidad del modelo (Tabla 1). Adicionalmente, a lo largo del documento, se encuentran otras apreciaciones menores referidas en su mayoría a circunstancias textuales, mejoras narrativas o aclaraciones necesarias.

Tabla 1 Resumen de las mejoras extraídas del Informe de Evaluación del IGME

Requerimientos al Modelo	1	CALIBRACIÓN DEL MODELO	Definir la serie de niveles con la que se hace el proceso de calibración {apartado 2.1.1}
			Establecer criterios de calibración claros y aplicarlos correctamente {apartado 2.1.2}
			Evaluar la bondad del ajuste de niveles y la representación de los resultados de la calibración {apartado 2.1.3}
	2	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	Realizar un análisis de sensibilidad y una evaluación de la incertidumbre de los parámetros calibrados {apartado 3}
3	DEMANDAS DE URBANIZACIONES DEL SUR	Incorporar las demandas de las urbanizaciones que explotan el MTB, para considerarlas en el Estudio de Afecciones {apartado 2.2}	
4	GEOMETRÍA DE LAS CORTAS	Ajustar la geometría discretizada con que se representan las cortas en el modelo a su forma troncocónica aproximada real {apartado 2.3}	
Recomendaciones al Modelo	5	REPRESENTAR CORTAS CON CC "LAKE"	Investigar nuevamente la posibilidad de representar las cortas con la condición de contorno "LAKE". Para así poder calcular el balance de las cortas en cada paso de tiempo, y contar con dos referentes más para calibrar el modelo (CLF y CAZ) {apartado 2.4}
	6	REPARTIR LAS PÉRDIDAS DEL ARROYO LOS FRAILES	Repartir los tres caudales concentrados con los que se representan las pérdidas del arroyo Los Frailes, en las celdas que componen dicho tramo {apartado 2.5}
Requerimientos a la Memoria	7	CONDICIÓN DE CONTORNO DEL BORDE SUR	Definir claramente cuál es la condición de contorno en el borde Sur: dren (DRN) o nivel prefijado (CHD) {apartado 2.6}
	8	BONDAD DE CALIBRACIÓN DEL MODELO SIMPA	Indicar de forma clara la bondad de las calibraciones de los modelos de aportaciones realizados con el SIMPA, mediante el contraste entre las series medidas y calculadas y los estadísticos de los residuos {apartado 2.7}

Una vez recibido el informe del IGME, se realiza un trabajo de equipo entre el personal de AYESA y el de Minera Los Frailes (MLF), para analizar y corregir las demandas planteadas.

En primer lugar, se comprueba la presencia en el listado de requerimientos y recomendaciones de cambios puntuales que no requieren temporalización en su realización, frente a cambios que precisan de un proceso de trabajo más continuado; y paralelamente modificaciones que



condicionan a otras modificaciones requeridas, por lo que han de ser satisfechas necesariamente las unas antes que las otras.

Así, una vez fijadas las series de niveles {apartado 2.1.1} y los criterios de calibración {apartado 2.1.2}, el orden de resolución que se ha seguido ha sido: en primer lugar, la modificación geométrica de las cortas {apartado 2.3}, la incorporación de las demandas urbanas del Sur {apartado 2.2} y el reparto de las pérdidas del arroyo Los Frailes {apartado 2.5}, ya que todas ellas condicionan a la calibración final. Una vez realizados estos cambios se procede al recalibrado del modelo, comenzando por probar la modificación de la condición de contorno del sur entre DRN y CHD {apartado 2.6}; paralelamente a estos cambios se comprueba la bondad de calibración del modelo de aportaciones SIMPA {apartado 2.7}. Con todos los cambios realizados, y tras las conclusiones obtenidas del análisis de sensibilidad realizado {apartado 3}, se procede a la evaluación de la bondad del ajuste del modelo {apartado 2.1.3}.

Para facilitar la revisión de cambios mostrados en la presente Adenda, se van a documentar los mismos según el orden establecido en el Informe de Evaluación, tal y como aparecen en la Tabla 1 y no en su orden de ejecución, con excepción del Análisis de Sensibilidad (apartado 4), que por su peso específico se incorpora como punto independiente.



2 MODIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO

2.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO

2.1.1 Definición de la serie de niveles utilizada en la calibración

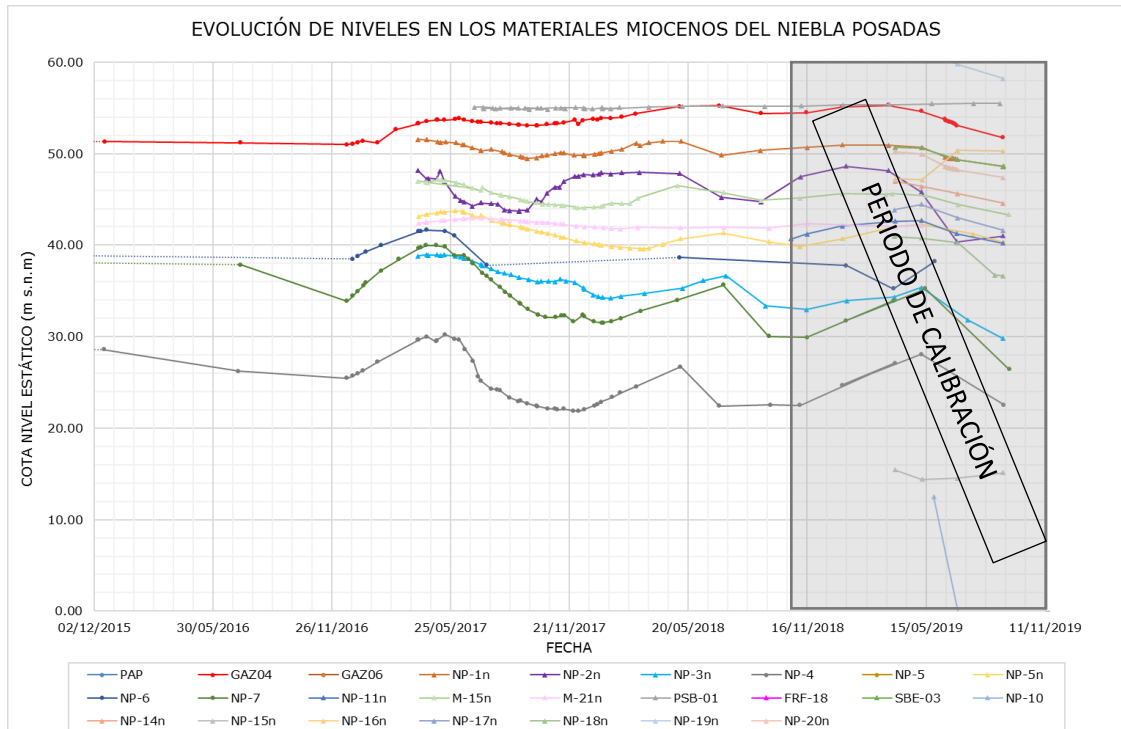
Para definir los nuevos datos de calibración, con objeto de plantear la solución más coherente posible con la realidad modelizada, se han tenido en cuenta las siguientes particularidades de la zona de Proyecto: por un lado, el elevado número de puntos de control ejecutados en los últimos dos años (no existiendo series históricas disponibles); y, por otro, que el hecho de modelizar las pérdidas del arroyo de Los Frailes con los caudales promedios anuales, dificultaba la calibración de la situación actual conforme a los niveles de las cortas/piezómetros de septiembre de 2019, siendo más representativo, considerar los promedios del periodo de calibración y no una medida puntual correspondiente al periodo de aguas bajas.

Por las cuestiones anteriores, se fija como periodo de calibración en Situación Actual, el promedio de las observaciones de campo del último año hidrológico completo, es decir, entre octubre de 2018 y septiembre de 2019. La Tabla 2 muestra los puntos de observación utilizados para la calibración del modelo matemático en acuífero Mioceno transgresivo Basal (MTB) y en la **Figura 1** las series registradas.

Tabla 2 Estadísticos y Rango de Observación en el MTB durante el periodo de calibración (oct. 2018 – sept. 2019)

PIEZOM	FECHA INICIO	FECHA FIN	MIN	PROM	MAX	VARIACIÓN
GAZ04	15/11/2018	09/09/2019	51.75	53.72	55.28	3.53
NP-1n	16/11/2018	09/09/2019	48.61	49.81	50.94	2.33
NP-2n	06/11/2018	09/09/2019	40.36	45.25	48.63	8.27
NP-3n	15/11/2018	09/09/2019	29.81	33.04	35.36	5.55
NP-4	21/09/2018	10/09/2019	22.51	24.58	28.06	5.55
NP-5n	05/11/2018	10/09/2019	39.84	41.08	42.31	2.47
NP-7	16/11/2018	18/09/2019	26.44	31.46	35.24	8.81
NP-11n	23/10/2018	09/09/2019	40.22	41.55	42.71	2.49
M-15n	05/11/2018	17/09/2019	43.34	45.02	45.62	2.28
NP-14n	29/03/2019	09/09/2019	44.59	45.90	46.98	2.39
NP-15n	29/03/2019	09/09/2019	14.41	14.88	15.46	1.05
NP-16n	29/03/2019	09/09/2019	50.29	50.38	50.46	0.17
NP-17n	28/03/2019	09/09/2019	41.61	43.23	44.46	2.85
NP-18n	28/03/2019	09/09/2019	36.64	39.07	40.95	4.31
NP-19n	29/03/2019	09/09/2019	58.23	61.06	67.53	9.30
NP-20n	29/03/2019	09/09/2019	47.39	48.62	50.25	2.86





Fuente: elaboración propia

Figura 1 Nuevo periodo de calibración utilizado para comparar la bondad del modelo con los datos observados en los piezómetros asociados al MTB

La Tabla 3 muestra los puntos de observación utilizados para la calibración del modelo matemático en los materiales Paleozoicos y la **Figura 2** sus series registradas.

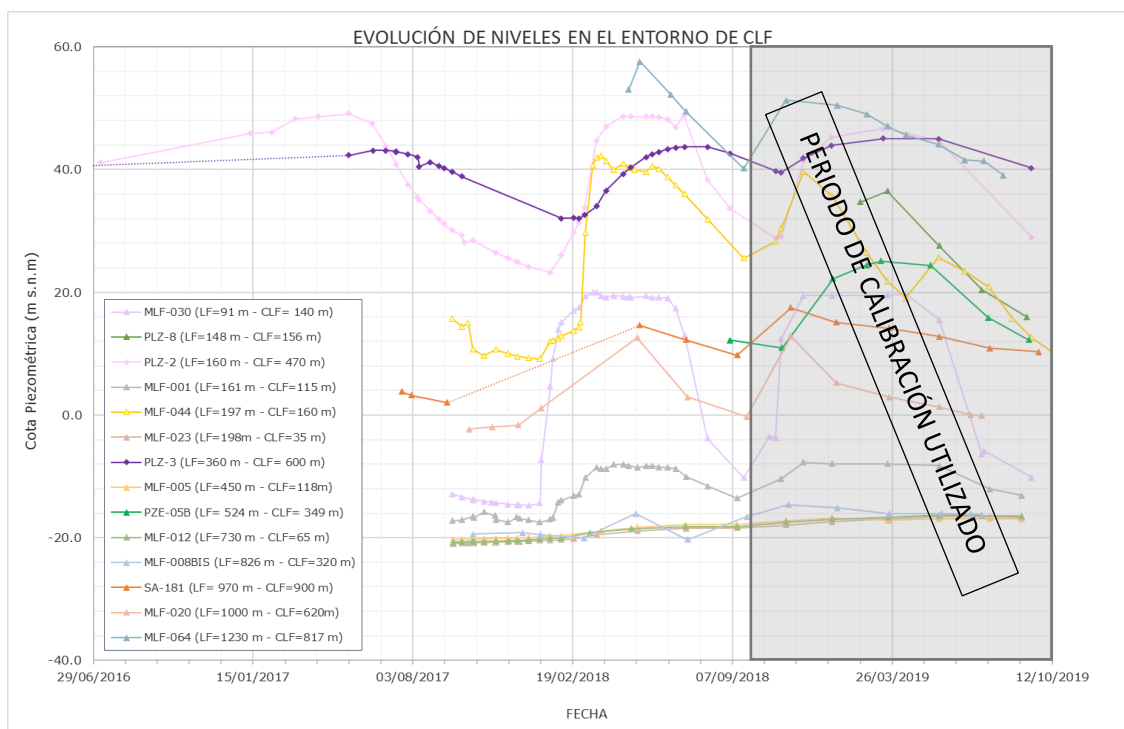
Tabla 3 Estadísticos y Rango de Observación en el PLZ durante el periodo de calibración (oct. 2018 – sept. 2019)

PIEZOM.	FECHA INI	FECHA FIN	MIN	PROM	MAX	VARIACIÓN
FRF_198E	07/11/2018	04/09/2019	29.29	30.55	31.55	2.27
FRF_237	09/11/2018	23/10/2019	58.80	59.64	61.21	2.42
PLZ_1	09/01/2019	16/09/2019	21.17	32.91	42.70	21.53
PLZ_2	31/10/2018	16/09/2019	28.81	37.85	46.67	17.86
PLZ_3	31/10/2018	16/09/2019	39.55	42.19	45.06	5.51
PLZ_4a	07/11/2018	10/09/2019	14.13	15.50	17.16	3.03
PLZ_5a	07/11/2018	04/09/2019	10.80	13.40	16.24	5.44
PLZ_6b	09/11/2018	16/09/2019	44.65	44.76	44.85	0.20
PLZ_7b	09/11/2018	16/09/2019	40.23	41.42	42.67	2.44
PLZ_8n	14/02/2019	10/09/2019	16.02	27.04	36.51	20.48
PLZ_9n	14/09/2019	14/09/2019	13.50	13.50	13.50	0.00
PLZ_11n	23/10/2018	09/09/2019	40.19	41.60	42.71	2.51
PLZ_13n	12/11/2018	11/09/2019	81.58	83.26	84.69	3.11
PLZ_15n	29/03/2019	09/09/2019	39.42	41.15	42.24	2.82
PLZ_16n	29/03/2019	09/09/2019	46.10	46.76	47.22	1.12
PLZ_17n	28/03/2019	09/09/2019	40.79	42.87	44.53	3.75
PLZ_18n	28/03/2019	09/09/2019	36.97	39.51	41.73	4.77
PLZ_19n	29/03/2019	09/09/2019	36.97	42.92	49.81	12.84
PLZ_20n	29/03/2019	09/09/2019	46.22	47.55	49.86	3.64
MLF008BIS	16/11/2018	16/07/2019	-16.19	-15.69	-14.58	1.61
MLF012	13/11/2018	04/09/2019	-17.46	-16.65	-16.34	1.12
MLF018	13/11/2018	05/07/2019	-9.42	-7.84	-4.81	4.61
MLF020	19/11/2018	16/07/2019	-0.11	3.71	12.82	12.93



PIEZOM.	FECHA INI	FECHA FIN	MIN	PROM	MAX	VARIACIÓN
MLF023	13/11/2018	04/09/2019	-17.91	-17.00	-16.56	1.35
MLF030	07/11/2018	16/09/2019	-10.16	9.29	19.74	29.90
MLF044	31/10/2018	16/09/2019	12.61	24.98	39.63	27.02
MLF049	16/11/2018	02/07/2019	-4.89	-0.84	5.01	9.9
MLF064	13/11/2018	12/08/2019	39.06	45.50	51.28	12.2
MLFGT_12	19/12/2018	24/06/2019	13.43	13.99	15.47	2.04
MLFGT_13	11/02/2019	24/09/2019	13.66	13.87	14.03	0.37
MLFGT_20	24/05/2019	10/09/2019	16.68	23.66	31.05	14.37
MCH039	29/03/2019	09/09/2019	10.35	11.80	13.21	2.86
MCH041	29/03/2019	10/09/2019	9.02	14.75	19.10	10.08
PZE_04B	09/11/2018	27/07/2019	31.05	35.74	40.07	9.02
PZE_07B	09/11/2018	13/09/2019	54.73	55.04	55.42	0.69
AZN1	Sep-19	21/11/2019	116.2	117.0	117.7	1.50
AZN2*	Sep-19	21/11/2019	101.0	103.8	112.79*	11.79
AZN3	Sep-19	21/11/2019	72.0	72.2	72.3	0.30

NOTA: en el punto AZN2 se emplea el valor máximo de la serie en lugar del promedio, por tratarse de un punto instalado con bomba de captación y en explotación, por lo que el promedio está distorsionado por las mediciones en dinámico.



Fuente: elaboración propia

Figura 2 Nuevo periodo de calibración utilizado para comparar la bondad del modelo con los datos observados en los piezómetros asociados a los materiales paleozoicos

Al fijar como periodo de calibración el **año hidrológico 2018/19** (en lugar del valor observado en septiembre de 2019), los piezómetros que presentan mayores oscilaciones debido a una mayor influencia del arroyo de Los Frailes mejoran considerablemente sus valores residuales. Esto se debe a que inicialmente se había tomado como valor observado (OBS) un momento puntual en una serie con gran oscilación; sin embargo, al haber considerado en la modelización



las pérdidas anuales medias del arroyo, se generaba un desajuste conceptual que repercutía en la calibración¹.

2.1.2 Criterios de Calibración

De acuerdo con los requerimientos del informe de evaluación del IGME, a continuación, se listan los criterios de calibración adoptados:

- ✓ Coeficiente Correlación de Pearson (r)
- ✓ Coeficiente de Determinación (r^2)
- ✓ Promedio de los residuales (**RES**)
- ✓ Promedio de los valores absolutos de los residuales (**RES [ABS]**)
- ✓ Raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los residuales (**RMSE**)
- ✓ Raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los residuales, normalizado según el rango de observación (**NRMSE**)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n}} \quad NRMSE = \frac{RMSE}{y_{max} - y_{min}}$$

Siendo como requisito tener una calibración aceptable que el NRMSE se sitúe entre el 1 y el 5%.

Estos estadísticos son los empleados habitualmente en la comparativa de sistemas modelados y comparan una serie observada (OBS) con la predicción de ésta (SIM), y se evalúa la similitud de ambos conjuntos, bien en su cuantificación propia o bien en la diferencia (valores residuales, RES) entre ambas.

2.1.3 Bondad de ajuste y representación de los resultados

En este apartado se exponen las decisiones tomadas para mejorar la bondad del ajuste del modelo, a partir de la observación de los propios “out-puts” que genera el mismo y que, por una u otra causa, distaban de la realidad. Se trata pues de un proceso de recalibración afinando y mejorando el detalle del modelo a partir de la incorporación al mismo de observaciones más detalladas.

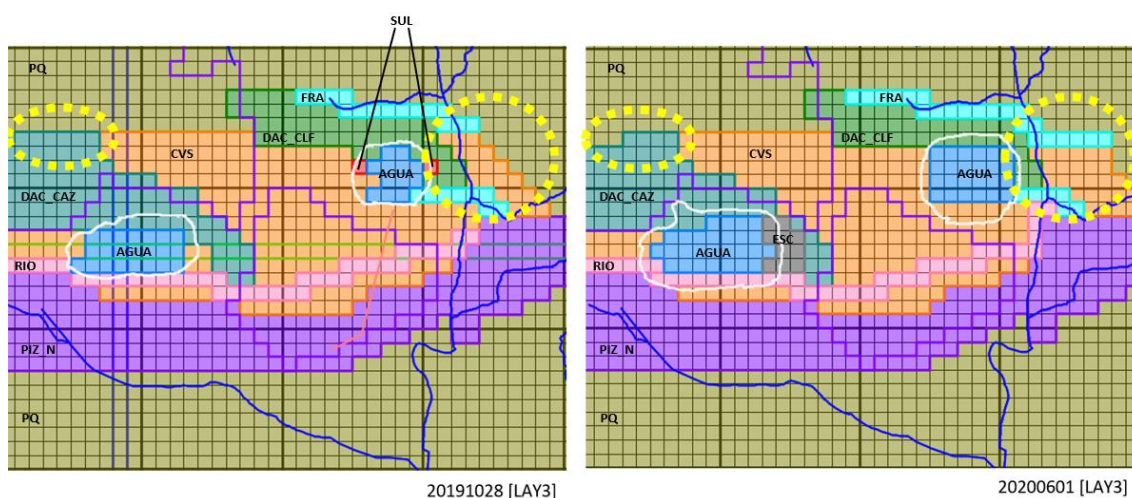
Hay que recordar que los primeros cambios que se realizan en el modelo son los requeridos o recomendados desde el Informe de Evaluación, explicados en detalle en los apartados 2.2, 2.3, 2.5 y 2.6 de la presente adenda. Estos cambios son:

- Incorporación de la demanda de las urbanizaciones del Sur {véase Capítulo 2.2}.
- Ajuste de la geometría de las cortas a su forma troncocónica {véase Capítulo 2.3}.
- Modificación del reparto de las pérdidas del arroyo Los Frailes {véase Capítulo 2.5}
- Modificación del borde meridional a una condición de contorno tipo Dren {véase Capítulo 2.6}.

¹ RES: errores residuales – OBS: mediciones piezométricas reales – SIM: piezometría obtenida en el modelo



Por otro lado, se han realizado algunas modificaciones en la **geometría de las formaciones litológicas** para reflejar con mayor precisión la complejidad geológica de la zona de proyecto, obteniendo así un mejor ajuste a nivel local. En primer lugar, se les da una mayor continuidad a las fallas regionales (FRA), que han sido cartografiadas con una longitud mayor a la reflejada en el modelo pero que no se habían considerado en el modelo anterior por el simple hecho de no existir fuera del ámbito del proyecto sondeos que las cortaran. Del mismo modo, se ha realizado una pequeña modificación en el contacto DAC-CAZ/PQ debajo de la escombrera NW, que se había trazado en el modelo inicial como una línea recta E-W, pero que, con la información de los sondeos de la zona, se le puede incrementar la precisión local en el entorno del sondeo PLZ-13. En la **Figura 3** se muestran los cambios mencionados.



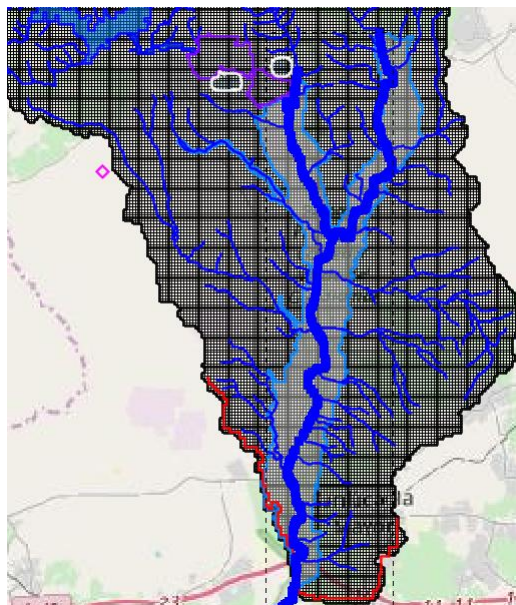
Fuente: Elaboración propia

Figura 3 *Modificación de contactos DAC-CAZ/PQ y Zona fracturada del CVS*

Paralelamente, se han modificado las **tasas de recarga** a través de las **margas**, ya que la mayoría de los puntos que se encontraban en el sector meridional del modelo presentaban niveles simulados (SIM) por encima de los observados (OBS). Tras realizar varias pruebas reduciendo la tasa de infiltración en Margas, se consigue disminuir los residuales de este sector considerablemente aplicando una tasa de reducción de un 25%, respecto a los datos iniciales (SIMPA). No preocupa esta modificación ya que las margas de relleno de cuenca son variables en su litología, con mayor o menor proporción de niveles arenosos. Adicionalmente, dado que los puntos de observación situados en los **materiales aluviales** (zonas de valle) seguían presentando niveles simulados (SIM) por encima de los reales (OBS), se optó por aplicar un coeficiente de reducción del 90% a la tasa de infiltración en estos materiales cuaternarios, entendiendo que el aluvial funciona mayoritariamente como dren de descarga del sistema y no como elemento de recarga profunda hacia las margas subyacentes.



Paralelamente, al no estar incorporado en la discretización/parametrización del modelo los depósitos aluviales asociados a los ríos principales de la zona meridional del modelo, se ha considerado conveniente aumentar la **conductancia** de estos ríos ["rios_MTB_20m"] (véase Fig. 4). Ello es debido, a que al haber una mayor superficie de contacto con los materiales circundantes por la presencia del acuífero aluvial, se genera una conductancia mucho mayor que si el río discurriera sin aluvial sobre los mismos. Por ello, tras varias pasadas de contraste, se incrementa la conductancia del río hasta **18 veces** su valor inicial. Lográndose un mejor ajuste en los puntos de observación inmediatamente adyacentes.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Aumento de la Conductancia en los ríos principales del sector meridional del Ámbito simulado

Otra mejora realizada que, aunque sea de carácter puntual afecta un sector del modelo significativo, es la corrección del número de puntos de extracción de la **Finca de Carcahuoso** próxima al complejo minero. Según el estudio de demandas realizados, basado en las concesiones de agua otorgadas en la zona (CHG), el expediente nº 308-1988 asociado a esta finca consta de 5 puntos (Tabla 4), pero, tras las visitas de campo realizadas, se confirma que únicamente extraen agua en dos puntos, uno de ellos ubicado unos 500 m hacia el oeste de la posición oficial (Figura 5). Por lo que la concesión de riego de olivar otorgada se concentra en estos puntos, generando unos conos locales más pronunciados.

Tabla 4 Captaciones asociadas al Expediente nº 308-1988 (FINCA CARCAHUESO). Modelo Inicial vs. Modelo Revisado

Ref. Mod: 20191028	WELL (m3/s)	WELL (m3/día)	RCH (l/s)	RCH (hm3/año)
CARCAHUESO1	0.003	222.7	2.6	0.081351
CARCAHUESO2	0.003	222.7	2.6	0.081351
CARCAHUESO3	0.003	222.7	2.6	0.081351
CARCAHUESO4	0.003	222.7	2.6	0.081351
CARCAHUESO5	0.003	222.7	2.6	0.081351
TOTAL	0.013	1,114	12.9	406,755

Ref. Mod: 20200601	WELL (m3/s)	WELL (m3/día)	RCH (l/s)	RCH (hm3/año)
CARCAHUESO1	0.006	556.8	6.4	0.203378
CARCAHUESO2	0.006	556.8	6.4	0.203378
TOTAL	0.013	1,114	12.9	406755.



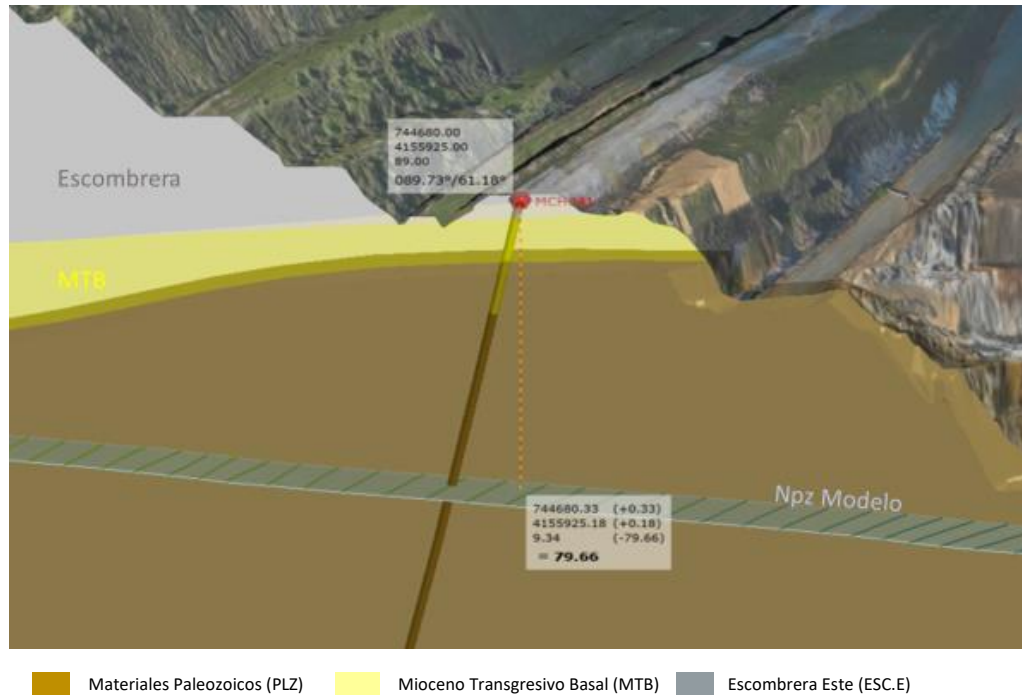
Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Redistribución de las captaciones asociadas al Exp. 308-1988 (Finca Carcahuoso). Se muestran en naranja las concesiones oficiales, y en magenta los puntos realmente operativos.

También la existencia de algunos piezómetros con una importante **desviación por inclinación**, generaban un falso error en el ajuste, ya que al considerar las coordenadas de su emboquille y



no las de su cota de fondo y/o rejilla, dificultaban hacer una correcta calibración, ya que la coordenada de cálculo del valor simulado (SIM) no se correspondía en realidad con el del valor observado (OBS). Dentro de esta casuística se enmarcan los puntos de observación MCH041 (Figura 6) y MLF008bis.



Fuente: elaboración propia a partir del LEAPFROG

Figura 6 Sección del piezómetro MCH041, donde se observa su desviación y su desajuste respecto a la superficie modelada

Se han identificado un total de 10 puntos en los que la observación de los niveles en campo corresponde con los “water table” que muestra el modelo. Cuando se habían comparado originalmente con capas más profundas. Al existir unos flujos verticales tan importantes en el entorno de las cortas, esta variación de LAYER es muy significativa. Al observar los puntos en los que ocurren estas circunstancias, se comprueba que de los 10, 6 no fueron realizados como piezómetros, sino aprovechados posteriormente; 2 son de la antigua red de BASP y no se conoce su estado de conservación; 1 es de un particular, y tan sólo uno fue concebido como sondeo hidrogeológico con taponos y rejillas en un diseño ex profeso. Los puntos que se encuadran en este caso, y el cambio de capa realizado, se muestran a continuación:

- **Reasignación de Capas [Layers] según características constructivas de los piezómetros:**
 - MLF008bis (LAY 8 --> LAY 11)
 - MLF012 (LAY 10 --> LAY 4)
 - MLF023 (LAY 11 --> LAY 4)
 - MLF030 (LAY 10 --> LAY 7)
 - MLF049 (LAY 7 --> LAY 12)
 - PLZ-8 (LAY 7 --> LAY 11)
 - PLZ-9 (LAY 6 --> LAY 11)



- **Reasignación de Capas [Layers] por rotura de tubería (sondeos BASP):**
 - o FRF-198E (LAY 9 --> LAY 4)
 - o FRF-237 (LAY 10 --> LAY 2, por detectarse influencia del MTB)
- **Reasignación de Capas [Layers] por falta de información (Sondeo particular):**
 - o AZN-3 (LAY 3 --> LAY4)
- **Reasignación de Capas [Layers] por problemas de cementación:**
 - o PLZ-6B (LAY 5 --> LAY 6)

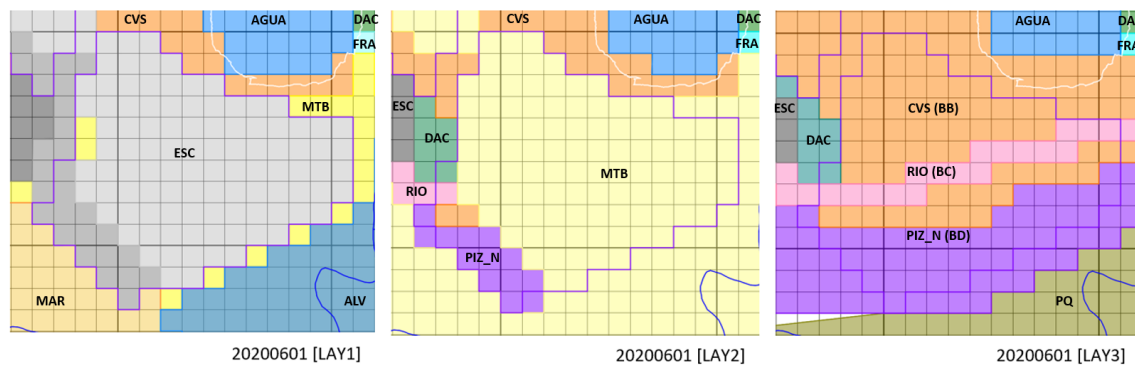
También se ha realizado algún cambio buscando un mejor ajuste en la zona de la Escombrera Este (ESC.E) que ha consistido en el cambio de reparto de la infiltración conforme a las litologías paleozoicas subyacentes, siendo un cambio local que no tiene repercusión alguna sobre el sistema modelado (Véase Lámina 3 del Anexo I, Tabla 5 y Figura 7).

Tabla 5 Zonas de reparto de Infiltración de la recarga en la Escombrera Este (ESC.E)

ZONA RCH	RCH m/día	RECH m ³ /día	RCH (hm ³ /año)	COEF. REP %	RCH m/día	RECH m ³ /día	RCH (hm ³ /año)	COEF. REP %
BB	5.095E-05	33.62	0.012	5.78%	6.256E-05	41.29	0.0151	7.10%
BC	3.177E-03	540	0.197	92.86%	3.132E-03	532.39	0.1943	91.54%
BD	2.199E-05	7.92	0.003	1.36%	2.199E-05	7.92	0.003	1.36%
Total		582	0.21	100.0%	Total	582	0.21	100.0%

Ref. Modelo: 20191028

Ref. Modelo: 20200601



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Materiales geológicos de las capas 1, 2 y 3, y referencia en esta última de las zonas de recarga de la tabla 5.

Por seguridad, durante el desarrollo del ajuste del modelo, se ha realizado una revisión en detalle del conjunto de todos los piezómetros, detectándose varias **erratas** que han sido corregidas e incorporadas al modelo revisado. Estas erratas consisten en la identificación de datos erróneos de observación (OBS) en algunos puntos: **MCH039** y **MLFGT20**; y la asignación incorrecta de LAYERS en los puntos **PLZ-18n** y **PLZ-19n**, que a pesar de ser puntos que perforan el paleozoico, por error, estaban asignados a capas de MTB (LAY 1 y/o 2).

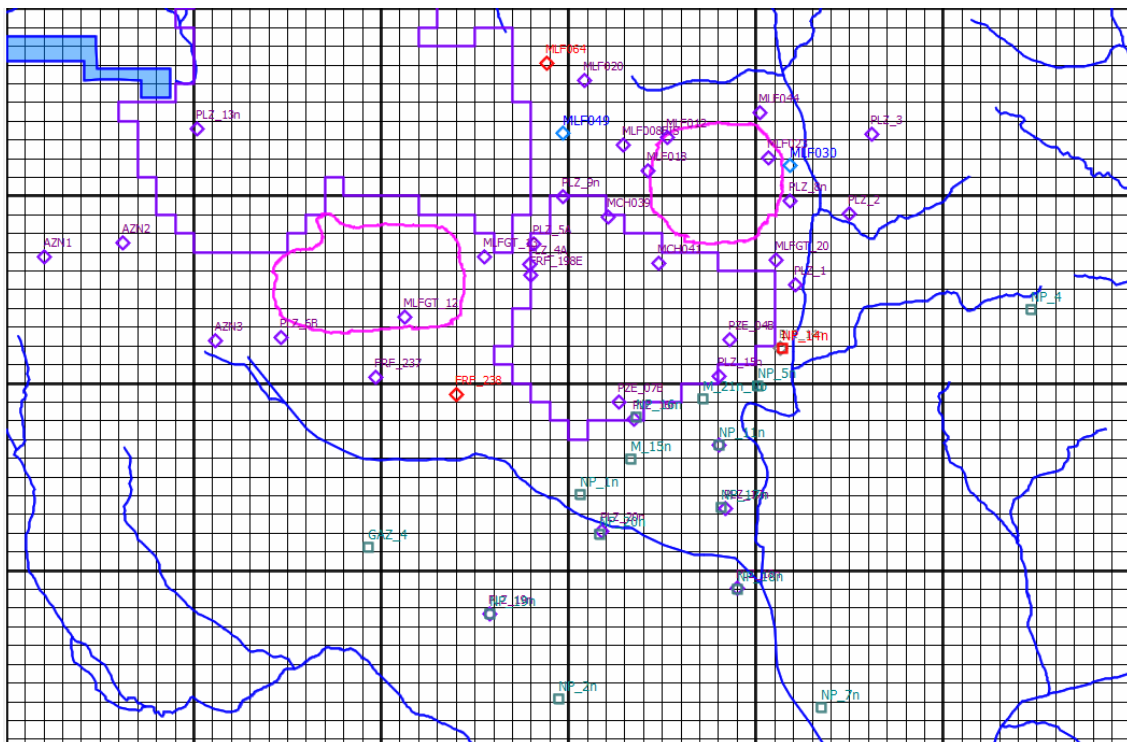
Por último, a continuación, se listan los **puntos de observación eliminados** por no ser representativos del contexto hidrogeológico simulado y/o fallos atribuibles a las características constructivas del mismo:



- **FRF-238.** No se conocen sus características constructivas al ser un sondeo antiguo. Parece tener influencia de los materiales de superficie, posiblemente por rotura de la zona superior del entubado del piezómetro.
- **MLF-064.** Es un sondeo que corta sulfuros masivos en fondo, que no han podido ser representados en el modelo tan al Noroeste debido al reducido espesor de la capa en esta zona.
- **PZE-7B.** Muestra conexión inequívoca con los niveles piezométricos colgados de la escombrera Este.
- **APZ048bis.** No es un punto de control propio ni se encuentra dentro de los límites del modelo, sino que se recibe información de terceros, pero se desconocen realmente sus circunstancias locales.

La corrección y aclaración de varios errores conceptuales, permite mejorar el grado de calibración del modelo. Entre estos errores, ya se ha comentado la incorrecta elección de la serie de calibración, que una vez aclarada permite **incorporar los puntos MLF049 y MLF030**, que debido a las fuertes variaciones estacionales de nivel que sufren, no habían podido ser considerados.

La **Figura 8** muestra la localización de los puntos de observación empleados para el ajuste del modelo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8 Localización de los puntos de observación empleados para el ajuste del modelo. En rojo los puntos eliminados; en azul los puntos incorporados; en verde los puntos del MTB que no cambian; y en morado los puntos de Paleozoico que no cambian.



2.2 DEMANDAS DE URBANIZACIONES DEL SUR

Las urbanizaciones a las que se refiere este requerimiento son Los Encinares (y una ampliación de la misma denominada El Vicario) y Los Ranchos (y su extensión al otro lado de la carretera A-477 llamada La Ribera), todas pertenecientes al Término Municipal de Sanlúcar La Mayor.

Para poder incorporar al modelo las demandas de las urbanizaciones existentes al Sur de la zona modelizada, se han llevado a cabo tres vías paralelas: consulta a los documentos urbanísticos que ordenan dichas urbanizaciones, consulta de los datos estadísticos públicos de la población real existente y toma de contacto con el servicio de mantenimiento del suministro de aguas a dichas urbanizaciones.

En el Plan Especial de Reforma Interior (PERI) de Los Encinares se fija en 250 l/hab/día la dotación que debe suministrarse a la urbanización, mientras que el PERI de Los Ranchos no fija cantidad alguna, aunque explica cómo es la red de pozo y aljibes.

Según el Servicio de Información Multiterritorial de Andalucía, la población de ambas urbanizaciones es de 97 y 308 respectivamente. Aplicando una dotación de 300 l/hab/día población, para estar del lado de la seguridad, se estima que la demanda anual debe rondar los **44.378 m³**.

Finalmente, se visitaron las instalaciones con el servicio de mantenimiento de la urbanización, consiguiéndose información valiosa como la ubicación exacta de la captación, la confirmación que el suministro a ambas urbanizaciones es desde el mismo sondeo (Figuras 9 y 10), la profundidad de éste y los caudales de captación aproximados, que están próximos al orden de magnitud calculado.

Tabla 6 Demanda de agua estimada para las urbanizaciones del Sur

Núcleo Urbano ²	Población (2018) ³	Demanda (m ³ /año)
Los Encinares	97	10 629
El Vicario		
Los Ranchos	308	33 749
La Ribera		
TOTAL	405	44 378

Así pues, tras dar por válida la información consultada, se ha incorporado dicho sondeo al modelo con la demanda recogida en la Tabla 6.

La incorporación de esta nueva demanda en el sector meridional del modelo no tiene incidencia alguna en el volumen de agua a gestionar en el PLF, reduciendo exclusivamente las salidas de agua a la red superficial en dicho sector (ES050MSPF011002040- Tramo medio del río Guadiamar y afluentes por su margen derecha).

² Delimitación según Datos Espaciales de Referencia de Andalucía. Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (INCA)

³ Datos espaciales en malla estadística. Fuente: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (INCA) enero de 2021





Fuente: elaboración propia

Figura 9 Localización del sondeo de abastecimiento de las urbanizaciones de Los Ranchos/La Ribera y Los Encinares/El Vicario



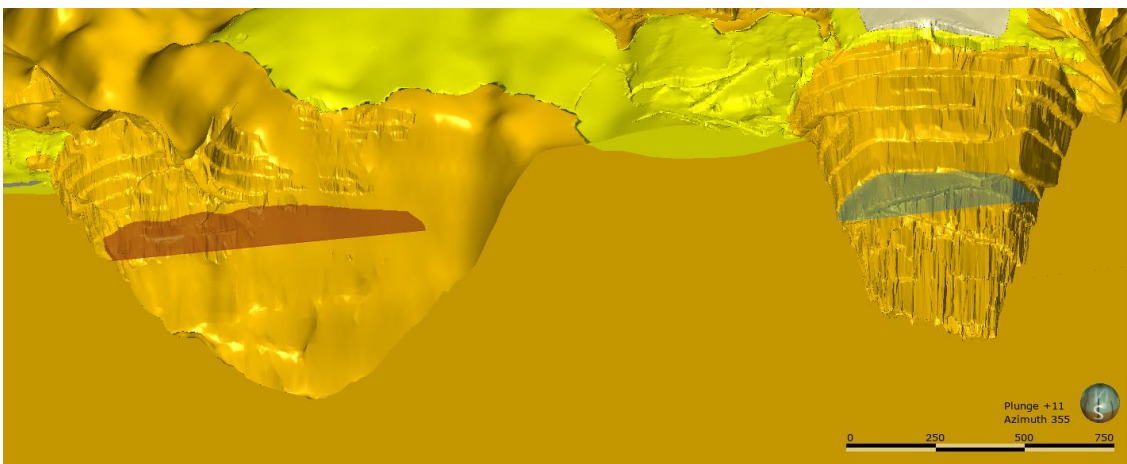
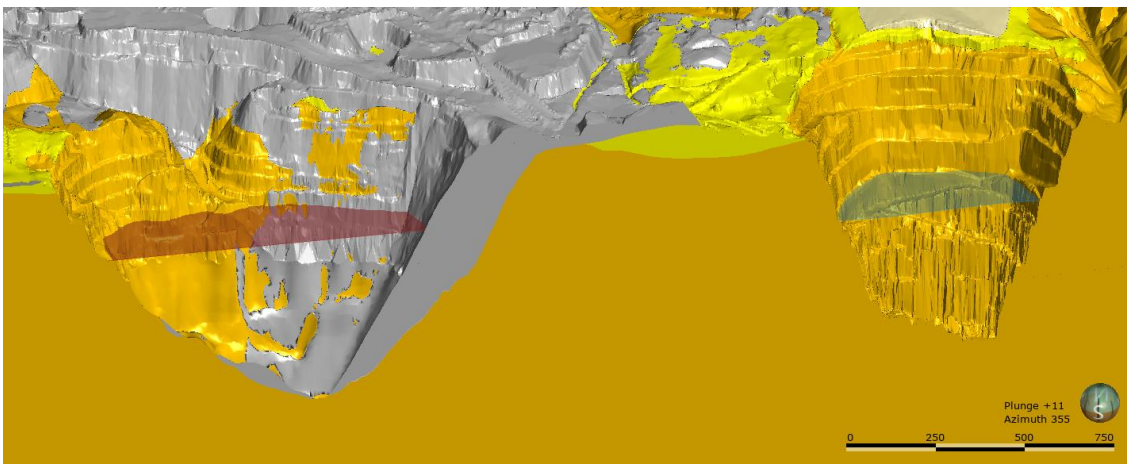
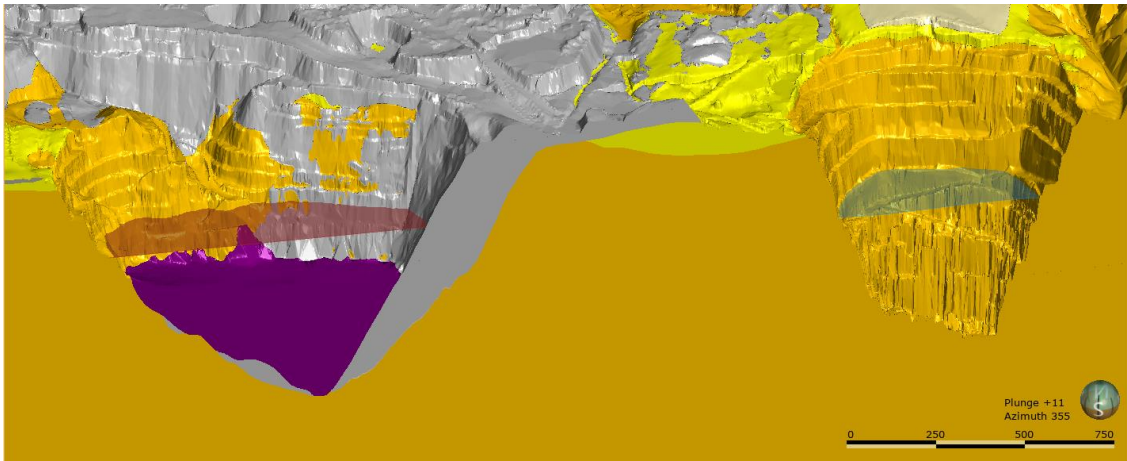
Fuente: elaboración propia

Figura 10 Caseta del pozo de abastecimiento de las urbanizaciones situadas al sur del dominio de simulación



2.3 GEOMETRÍA DE LAS CORTAS

Para poder asimilar las cortas de Aznalcóllar (CAZ) y de Los Frailes (CLF) a su forma tronconónica con la mayor aproximación posible, se ha realizado el cruce de diferentes Modelos Digitales del Terreno (MDTs) empleado el software Leapfrog (figura 11), con secciones horizontales que pasan por el centro de la capa a modelizar de 21,5 metros, entre +50 y -165 m.r.n.m.



Fuente: elaboración propia a partir del LEAPFROG

Figura 11 Corte en sección E-W de los MDTs utilizados

Se tiene en cuenta la zona ocupada por agua para ambas cortas, utilizando para ello los MDTs de las batimetrías realizadas, incorporando para Corta de Aznalcóllar también el volumen del relleno de lodos (diferencia entre el MDT de 1999 y el de la batimetría actual de CAZ), y el volumen de relleno de escombrera (diferencia entre el MDT de 1996 y el de 1999).

Teniendo en consideración el volumen medio de cada rebanada, se definen el número de celdas de cada tipo (agua, lodo y escombrera) en cada capa y, considerando la geometría de corte de cada sección, se han distribuido espacialmente dicho número de celdas (Tablas 7 y 8). A continuación, se ha trasladado dicho ejercicio geométrico a MODFLOW (Figuras 12 y 13), designando a cada celda las características intrínsecas de material que le corresponde (K y S).

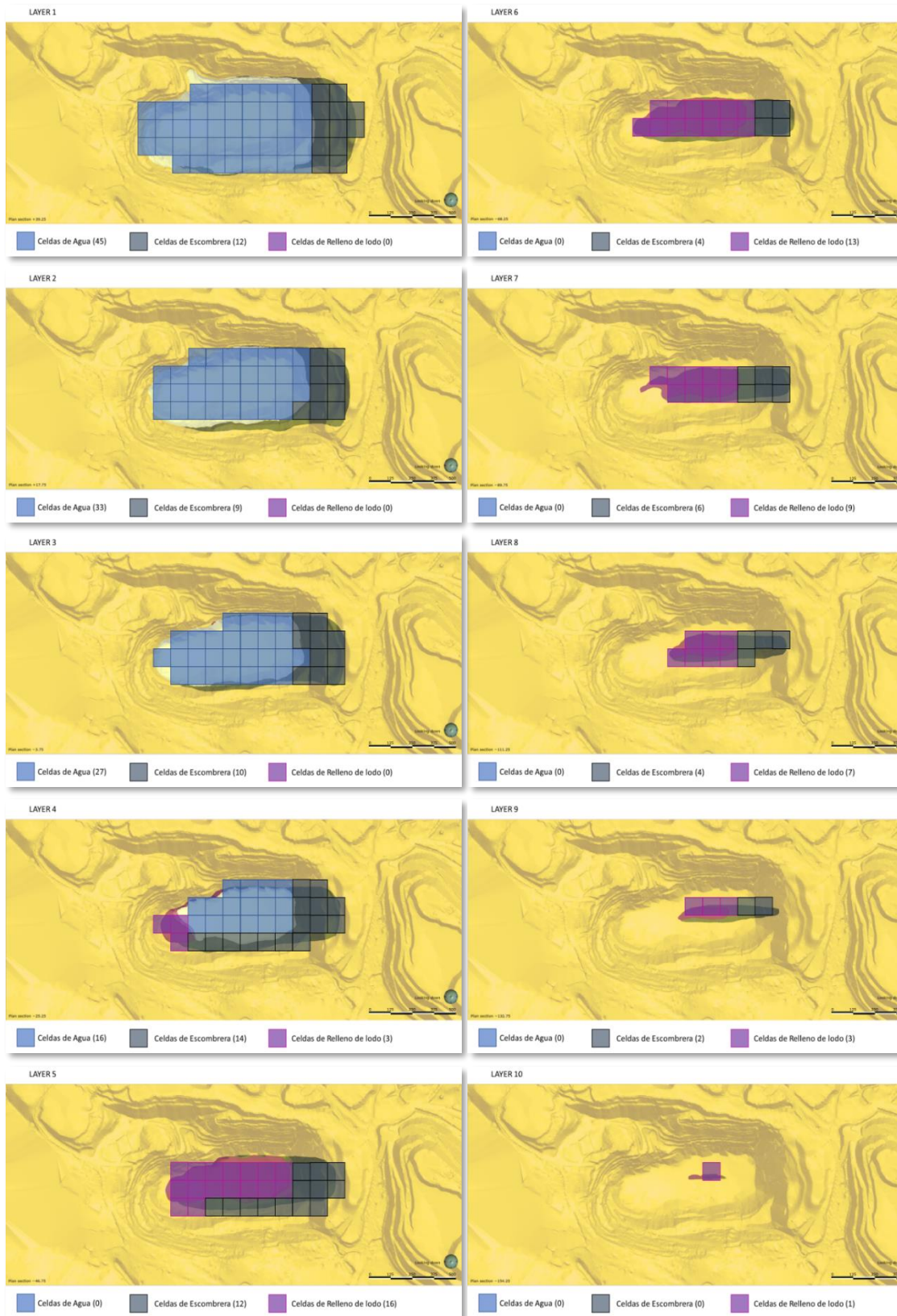
Tabla 7 Modelización de las capas con agua de Corta Aznalcóllar - Modelo Revisado

LAY	Nº celdas	TOP	BOTTOM	Vol Real (m³)	Vol MF (m³)	S
1	45	50.0	28.5	9 669 927	9 675 000	0.999
2	33	28.5	7.0	7 151 329	7 095 000	1.008
3	27	7.0	-14.5	5 639 667	5 805 000	0.972
4	16	-14.5	-36.0	3 325 926	3 440 000	0.967
5	RELLENO DE LODOS + ESCOMBRERA					
6	RELLENO DE LODOS + ESCOMBRERA					
7	RELLENO DE LODOS + ESCOMBRERA					
8	RELLENO DE LODOS + ESCOMBRERA					
9	RELLENO DE LODOS + ESCOMBRERA					
10	RELLENO DE LODOS + ESCOMBRERA					
Total				25 786 549	26 015 000	

Tabla 8 Modelización de las capas con agua de Corta de Los Frailes - Modelo Revisado

LAY	Nº celdas	TOP	BOTTOM	Vol Real (m³)	Vol MF (m³)	S
1	35	50.0	28.5	7 388 470	7 525 000	0.982
2	30	28.5	7.0	6 270 754	6 450 000	0.972
3	24	7.0	-14.5	5 259 312	5 160 000	1.019
4	20	-14.5	-36.0	4 340 423	4 300 000	1.009
5	18	-36.0	-57.5	3 449 753	3 870 000	0.891
6	12	-57.5	-79.0	2 687 309	2 580 000	1.042
7	9	-79.0	-100.5	1 973 640	1 935 000	1.020
8	6	-100.5	-122.0	1 301 539	1 290 000	1.009
9	3	-122.0	-143.5	709 620	645 000	1.100
10	1	-143.5	-165.0	235 245	215 000	1.094
Total				33 616 065	33 970 000	

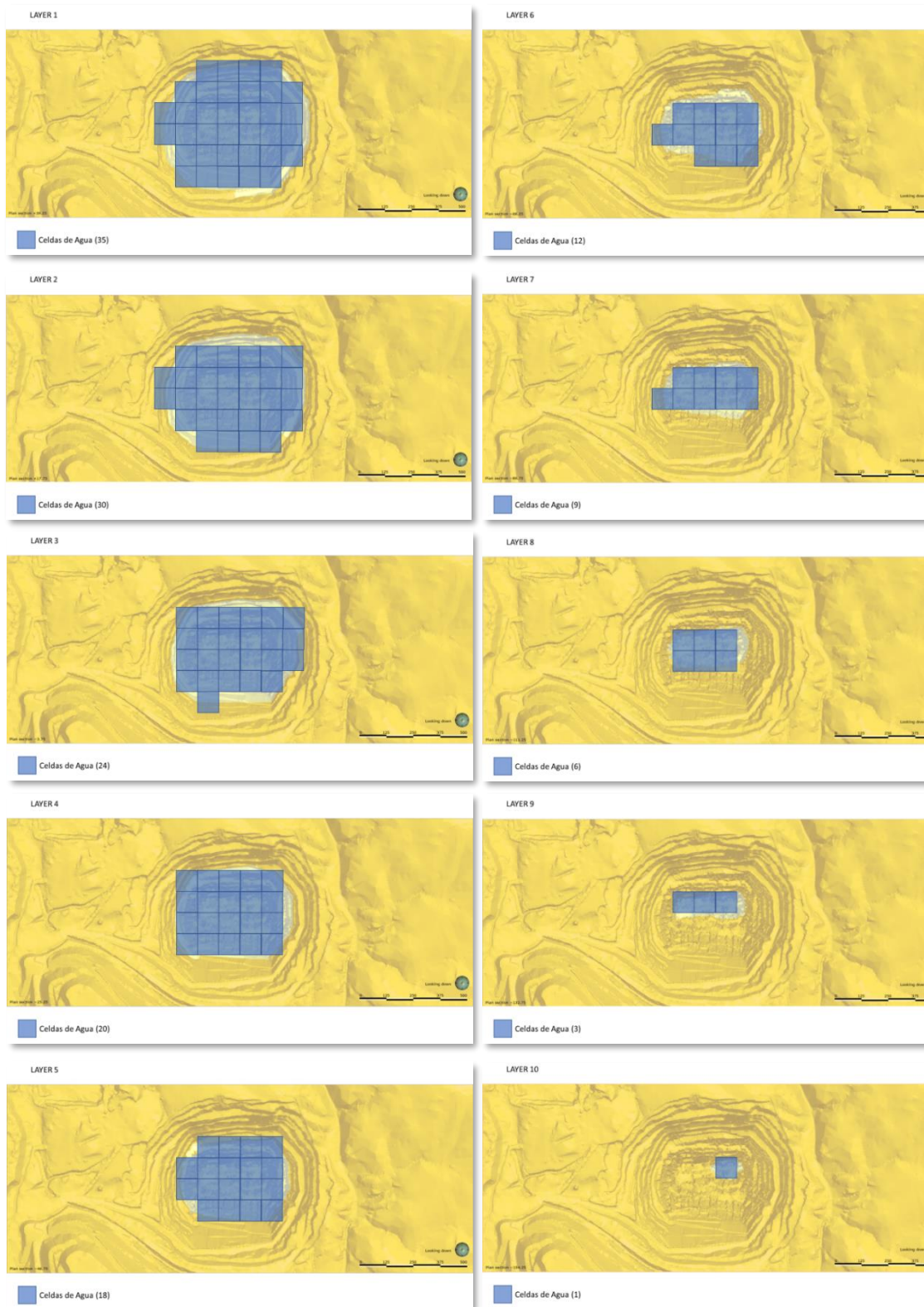




Fuente: elaboración propia a partir del LEAPFROG

Figura 12 Secciones horizontales utilizadas para cada LAYER en la definición geométrica de CAZ – Modelo Revisado





Fuente: elaboración propia a partir del LEAPFROG

Figura 13 Secciones horizontales utilizadas para cada LAYER en la definición geométrica de CLF – Modelo Revisado



2.4 REPRESENTACIÓN DE LAS CORTAS CON LA CONDICIÓN DE CONTORNO “LAKE”

Según la recomendación incorporada en el Informe de Evaluación la mejor manera de representar las cortas es empleando la condición de contorno de lago (LAKE Package); no obstante, con la mejora en la geometría de las cortas conseguida en la presente revisión del modelo, donde se han conseguido coeficientes de almacenamientos muy cercanos a 1 en todas las capas, se entiende que el modelo refleja de forma fiable la geometría de estas.

En lo que se refiere al cálculo de niveles y balance hídrico en cada paso temporal, con el uso del programa ZONEBUDGET, se han obtenido las entradas/salidas de agua de cada una de las cortas en cada paso temporal (CAZ = ZONA 1 y CLF= ZONA 2), y los niveles piezométricos se obtienen de la piezometría resultante al final de cada periodo, por lo que se entiende que la configuración actual de las cortas facilita información muy similar a la CC de lago.

Como el modelo se considera una herramienta viva que se irá alimentando con la información que se vaya recabando durante la vida del Proyecto Minero, se tendrá en cuenta esta recomendación.

2.5 REPARTO DE PÉRDIDAS DEL ARROYO DE LOS FRAILES [6]

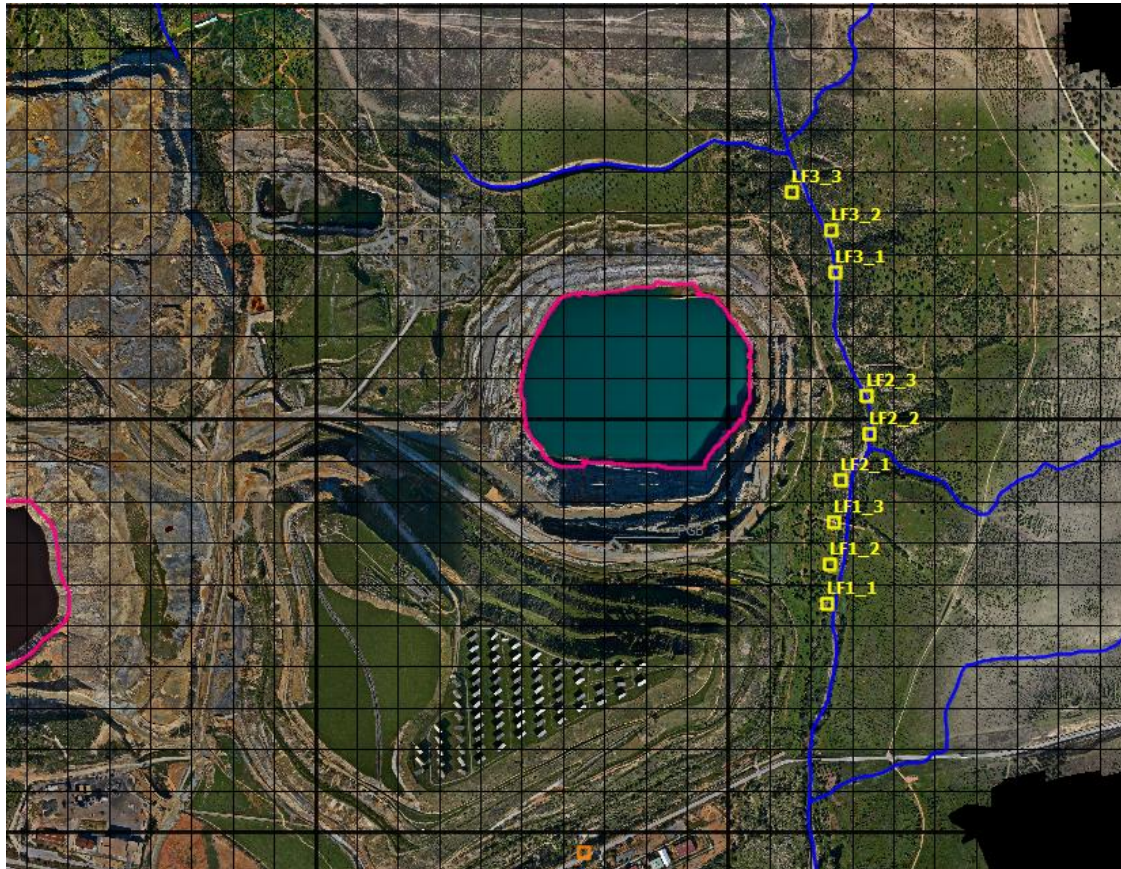
Cuando originalmente se planteó incorporar el módulo RIVER para las pérdidas del arroyo de Los Frailes, se daba la circunstancia de que al atravesar el arroyo tramos de materiales aflorantes de diferente permeabilidad, no se producían apenas pérdidas en los tramos que presentaban una transmisividad muy baja. Tras ajustar el modelo, de acuerdo a las recomendaciones del Informe de Evaluación, al tratar de repetir el mismo ejercicio se presentaba el mismo problema.

Por ello, después de varias pruebas se comprueba que se consigue un buen efecto al triplicar el número de puntos originales, pasando de tres puntos de pérdida a nueve (véase [Figura 14](#)).

Durante el periodo de revisión del modelo, MLF finaliza un ciclo de medición completo de control de aforos diferenciales semanales del arroyo mientras este tiene caudal (de diciembre a junio). Por ello, adicionalmente, se procede a distribuir mejor las pérdidas en los distintos tramos del arroyo, conforme a las mediciones obtenidas (Tabla 9). Que pasan así de una distribución de 32% para el punto del Norte, 41% para el intermedio y 27% para el del Sur; a 20% para el grupo septentrional (en 3 puntos), 50 % para el grupo central (en 3 puntos), y 30% para el grupo meridional (en otros 3 puntos). En la [Figura 14](#) se muestra la localización de los puntos de pérdida de flujo incorporados al modelo.

Tabla 9 Reparto de pérdidas en el Arroyo de Los Frailes

Ref. Mod: 20191028	WELL (m3/día)	WELL (l/s)	%	Ref. Mod: 20191028	WELL (m3/día)	WELL (l/s)	%
LF1	207.2	2.4	0.32	LF1 (÷3)	129.6	1.50	0.20
LF2	264.5	3.1	0.41	LF2 (÷3)	324.0	3.75	0.50
LF3	176.3	2.0	0.27	LF3 (÷3)	194.4	2.25	0.30
TOTAL	647.95	7.50	1.00	TOTAL	647.95	7.50	1.00

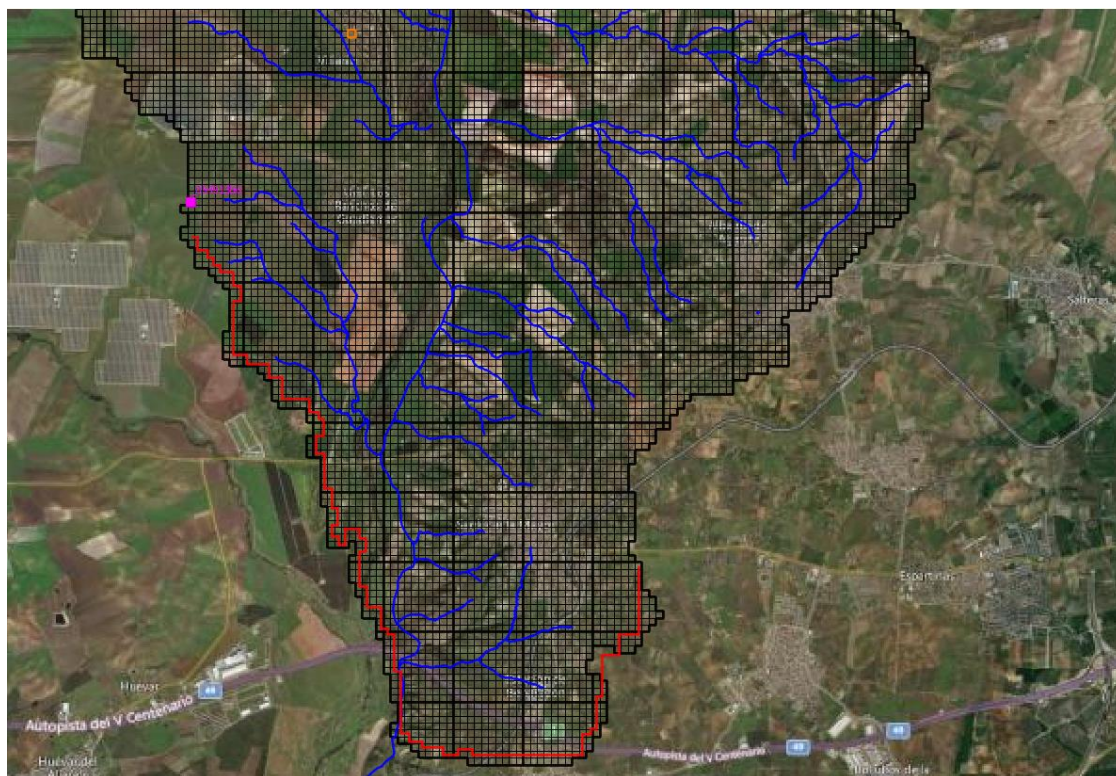


Fuente: elaboración propia a partir del LEAPFROG

Figura 14 Localización de los puntos modelizados como “pérdidas” del arroyo Los Frailes en la modelización

2.6 CONDICIÓN DE CONTORNO DEL BORDE SUR

Comprobado efectivamente la discrepancia para la condición de contorno meridional, entre el texto de la memoria, donde se recoge que la condición utilizada era el “dren” (DRN package) pero que, en el modelo estaba definido como “borde de cota constante” (CHD), se redefine dicho límite con el algoritmo DRN, produciéndose efectivamente una mejor calibración de los puntos de la zona y un mejor comportamiento del modelo en general (véase **Figura 15**).



Fuente: elaboración propia a partir del LEAPFROG

Figura 15. Condición DREN (18.77 mrm) definida en el límite sur del modelo

Por tanto, se opta por usar dicha condición de contorno para el borde meridional del modelo sin alterar el texto de la memoria que así lo explicaba, corrigiéndose también el pie de figura que la menciona.

2.7 BONDAD DE CALIBRACIÓN DEL MODELO SIMPA

Según queda recogido en “*La Evaluación de recursos hídricos en régimen natural en España (1940/41 – 2017/18)*”, elaborado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras públicas (CEDEX), la estrategia de ajuste de los parámetros en los modelos hidrológicos se realiza mediante la comparación de las series de caudales simulados con los registrados. De esta manera, para calibrar el modelo de aportaciones se seleccionaron tres puntos:

- **Estación SAIH E67** en embalse del Agrio, con datos aforados desde octubre de 1999.
- **Corta de Aznalcóllar (CAZ)**, con registro de las cotas medidas desde tras el cese de la explotación (febrero de 2002), datos de su batimetría y con el registro de los caudales anuales tratados entre 2002 y 2014.
- **Corta de los Frailes (CLF)**, con el registro de las cotas medidas tras el cese de la explotación (febrero de 2002), así como los datos de la batimetría de la corta.

El estudio del CEDEX expone que, según establece la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), los criterios utilizados para el contraste de los resultados serán, al menos, el error medio absoluto (EMA), el error medio relativo (PBIAS) y el error cuadrático medio (ECM). Estos índices se basan en comparar los caudales simulados (S) con los observados (O), tal y como sigue:

- Error medio relativo (%) (IPH) PBIAS

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} * 100$$

- Coeficiente de Eficiencia o de Nash Sutcliffe

$$CE = \frac{\sum (O_i - \bar{O})^2 - \sum (O_i - S_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}$$

- Error medio absoluto (m³/s) (IPH)

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - O_i|$$

- Error cuadrático medio (m³/s)² (IPH)

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2$$

De manera extensiva, el CEDEX emplea para SIMPA el Error Medio Relativo (PBIAS) y el Coeficiente de Eficiencia (CE). El **PBIAS** es un indicador de ajuste del volumen total simulado respecto al observado, se trata de un indicador del sesgo, mientras que el **CE** mide si el modelo reproduce bien la variabilidad observada, por lo que se trata de un indicador de la varianza. Cuando el PBIAS está entre -10% y +10%, el ajuste se considera muy bueno, si no pasa en valor absoluto de 25% se considera bueno y si pasa de 25% se considera no satisfactorio. Cuando el CE está entre 0,75 y 1, el ajuste se considera muy bueno, si está entre 0,65 y 0,75 se considera bueno, si está entre 0,5 y 0,65 se considera satisfactorio y si es inferior a 0,5 se considera no satisfactorio (véase [Figura 16](#)).

Valores para la clasificación del PBIAS (%)

- <-25% (no satisfactorio)
- -25 a -10% (bueno - satisfactorio)
- -10 a 10% (muy bueno)
- 10 a 25% (bueno - satisfactorio)
- >25% (no satisfactorio)

Valores para la Clasificación del CE

- ≤ 0.5% (no satisfactorio)
- 0.5 - 0.65 (satisfactorio)
- 0.65 - 0.75 (bueno)
- 0.75 - 1 (muy bueno)

Fuente: Actualización de la Evaluación de Recursos Hídricos en régimen natural (CEDEX)

Figura 16 Valores para la clasificación de los estadísticos empleados para el ajuste del modelo de aportaciones

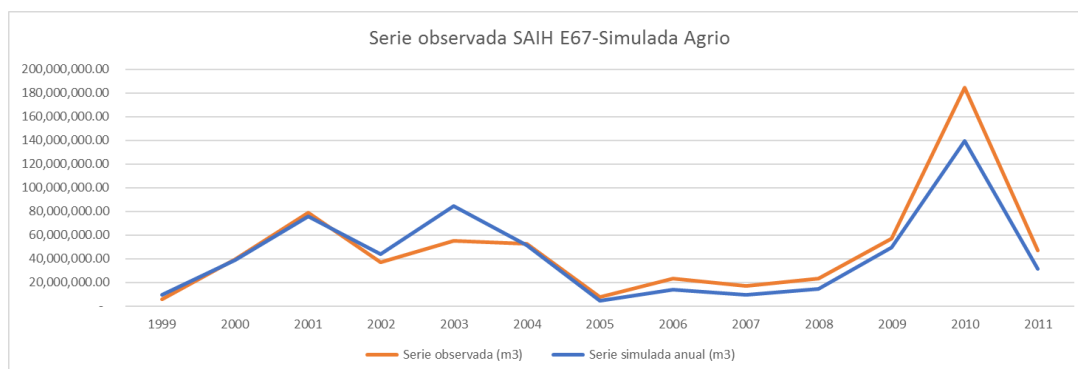
A continuación, conforme a lo solicitado en el informe de Evaluación, se muestran los resultados de la calibración obtenidos en los tres puntos seleccionados.

2.7.1 Estación SAIH del Agrío E67

Se cuenta con caudales observados desde octubre de 1999.

Tabla 10 Datos de calibración en ES67

Nº Datos	13	
ECM (m ³ /s) ²	0.27	
EMA (m ³ /s)	0.35	
CE	0.86	MUY BUENO
PBIAS (%)	9.85	MUY BUENO
Promedio	48,421,451.08	43,654,238.22
Máximo	184,288,262.40	139,448,395.81
Mínimo	5,922,547.20	4,623,525.83
Año	Serie observada (m ³)	Serie simulada anual (m ³)
1999	5,922,547.20	9,742,698.37
2000	39,785,472.00	38,666,862.46
2001	79,132,204.80	75,884,146.18
2002	36,998,899.20	43,835,607.52
2003	55,175,731.20	84,385,152.49
2004	52,799,904.00	51,295,007.39
2005	7,478,524.80	4,623,525.83
2006	23,631,436.80	14,115,776.60
2007	17,095,622.40	9,445,821.68
2008	23,197,536.00	14,622,684.80
2009	56,986,502.40	49,683,220.49
2010	184,288,262.40	139,448,395.81
2011	46,986,220.80	31,756,197.30



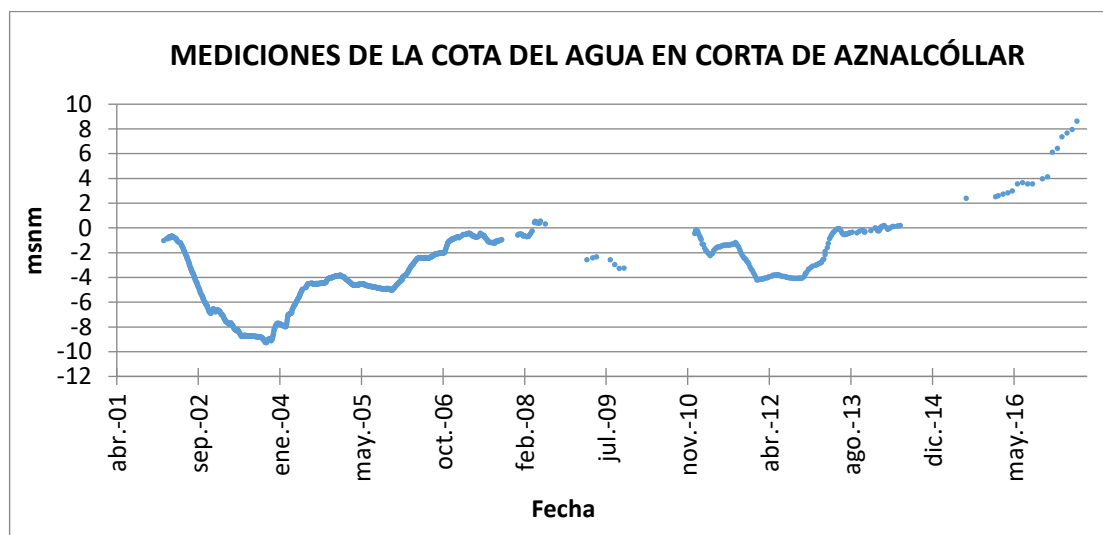
Fuente: elaboración propia

Figura 17 Series de aportación simulada y observada en el Agrío.

2.7.2 Corta de Aznalcóllar

Para la calibración, se ha obtenido la serie de aportación a CAZ a partir del registro de las cotas medidas desde febrero de 2002, datos de su batimetría y con el registro de los caudales anuales tratados en la Corta (2002 - 2014).

La **Figura 18** muestra la evolución de la cota en la Corta de Aznalcóllar desde febrero 2002 (tras el cese de la explotación).



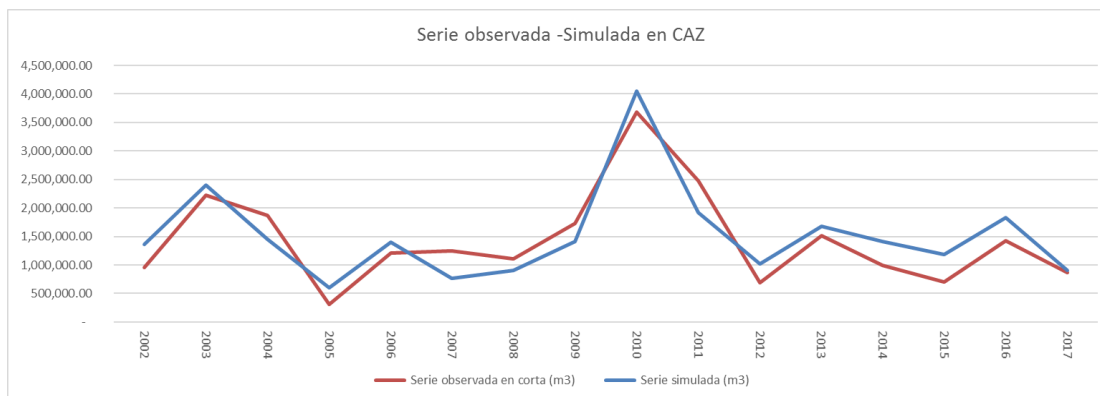
Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por MLF

Figura 18. Mediciones de cota en la Corta de Aznalcóllar

La siguiente tabla muestra los caudales anuales tratados en CAZ en el periodo 2002-2014.

Tabla 11 Caudales anuales tratados en Aznalcóllar

CAUDAL ANUAL TRATADO	
Año	Vol. tratado (m ³)
2002	3.145.284
2003	2.674.432
2004	1.051.410
2005	865.264
2006	533.362
2007	867.986
2008	2.247.304
2009	535.215
2010	2.686.481
2011	3.029.941
2012	168.377
2013	348.220
2014	266.407
TOTAL	18.419.683



Fuente: elaboración propia

Figura 19. Aportación anual observada-simulada en CAZ

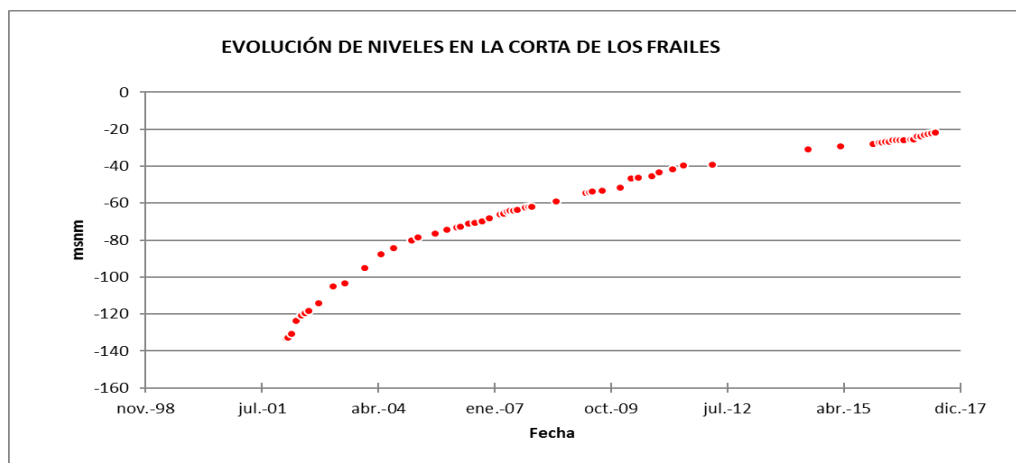
Los resultados obtenidos en la calibración de CAZ han sido:

Tabla 12 Datos de calibración en CAZ

Nº Datos	16	
ECM (m³/s)²	0.00013	
EMA (m³/s)	0.01	
CE	0.80	MUY BUENO
PBIAS (%)	5.59	MUY BUENO
Promedio	1,438,497.84	1,518,949.31
Máximo	3,684,509.30	4,051,542.47
Mínimo	314,277.48	604,264.13
Año	Serie Observada (m³)	Serie Simulada (m³)
2,002	951,601.40	1,367,327.78
2,003	2,224,255.77	2,406,910.02
2,004	1,871,461.14	1,449,597.14
2,005	314,277.48	604,264.13
2,006	1,207,992.51	1,394,081.22
2,007	1,252,104.25	768,011.71
2,008	1,106,350.62	907,134.10
2,009	1,725,102.17	1,415,104.15
2,010	3,684,509.30	4,051,542.47
2,011	2,475,444.64	1,915,261.63
2,012	691,130.81	1,013,747.61
2,013	1,515,562.95	1,675,017.93
2,014	998,449.27	1,413,386.86
2,015	703,932.61	1,185,813.64
2,016	1,422,430.39	1,825,177.68
2,017	871,360.06	910,810.97

2.7.3 Corta de Los Frailes

Para la calibración se ha obtenido la serie de aportación a CLF a partir del registro de las cotas medidas en la misma desde febrero de 2002 y de los datos de batimetría en la corta. La **Figura 20** muestra la evolución de la cota en la Corta de Los Frailes desde el cese de la explotación.



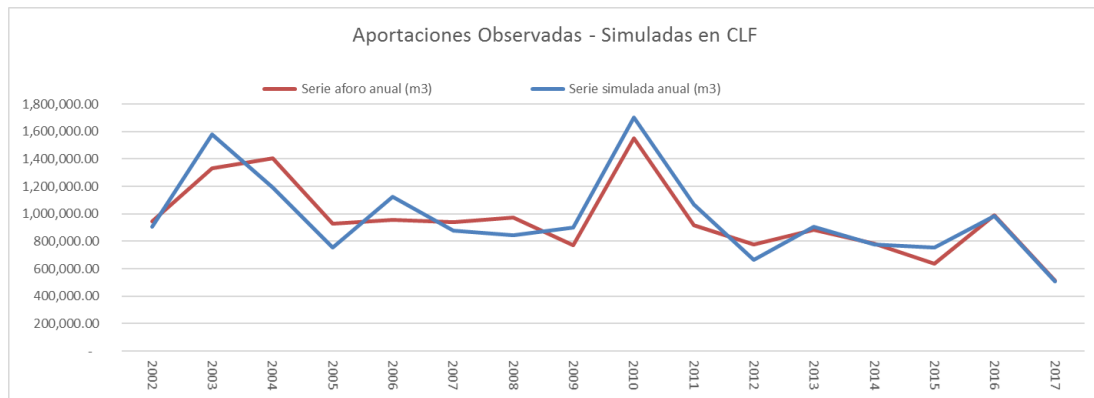
Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por MLF

Figura 20. Evolución de la cota en la Corta de los Frailes

Los resultados obtenidos en la calibración de CLF han sido:

Tabla 13 Estadísticos y series de Calibración CLF

Nº Datos	16	
ECM (m³/s)²	0.000018	
EMA (m³/s)	0.00344	
CE	0.75	MUY BUENO
PBIAS (%)	1.60	MUY BUENO
Promedio	956,443.08	971,761.65
Máximo	1,548,898.02	1,703,557.24
Mínimo	513,441.27	508,758.45
Año	Serie Observada (m³)	Serie Simulada (m³)
2002	944,020.06	906,625.53
2003	1,332,542.06	1,579,757.17
2004	1,407,648.95	1,190,436.08
2005	929,491.32	752,755.28
2006	955,523.14	1,125,721.16
2007	942,341.42	875,725.16
2008	970,785.68	843,948.13
2009	773,712.17	901,373.52
2010	1,548,898.02	1,703,557.24
2011	918,182.86	1,069,892.83
2012	774,372.98	665,999.52
2013	885,550.50	905,180.76
2014	783,648.78	778,474.42
2015	634,461.07	753,628.15
2016	988,468.97	986,352.89
2017	513,441.27	508,758.45



Fuente: elaboración propia

Figura 21 Aportación anual observada-simulada en CLF

3 EVALUACIÓN DEL MODELO REVISADO

Una vez aplicados los cambios considerados y expuestos en los puntos anteriores, se realiza una nueva evaluación del modelo, para ver si su similitud con la realidad piezométrica observada ha mejorado. Al comparar la tabla de calibración del modelo inicial con el revisado (Tabla 14), se puede comprobar como en el 83% de los puntos de observación/calibración utilizados mejora el ajuste de la piezometría simulada respecto a la real.

Los cambios realizados generan una mejora de los parámetros estadísticos utilizados para conocer la bondad de similitud entre la familia observada y la simulada (véase Tabla 15). Así, parámetros determinantes como el residual medio absoluto, el error medio cuadrático o su normalización, bajan aproximadamente a la mitad en la nueva simulación.

Tabla 14 Piezómetros empleados para la calibración: Valores Observados (OBS), valores Simulados (SIM) y residuales obtenidos (RES) - Modelo Inicial Vs. Modelo Revisado

Name	UGA	LAY	OBS	SIM	RES	RES (ABS)	UGA	LAY	OBS 2	SIM	RES	RES (ABS)
AZN1	PLZ	3	117.0	112.8	4.2	4.2	PLZ	3	117.0	110.2	6.81	6.81
AZN2	PLZ	3	101.0	118.8	-17.8	17.8	PLZ	3	111.0	116.0	-4.96	4.96
AZN3	PLZ	3	72.0	87.7	-15.7	15.7	PLZ	4	72.2	77.2	-5.01	5.01
FRF_198E	PLZ	9	29.9	29.0	0.9	0.9	PLZ	4	30.6	25.0	5.57	5.57
FRF_237	PLZ	10	59.0	43.1	15.9	15.9	PLZ	2	59.6	55.7	3.97	3.97
FRF_238	PLZ	10	66.6	57.4	9.2	9.2	PLZ	10	68.3	---	---	---
MCH039	PLZ	11	32.8	11.6	21.1	21.1	PLZ	11	11.8	9.9	1.91	1.91
MCH041	PLZ	11	12.3	11.0	1.3	1.3	PLZ	11	14.8	13.1	1.64	1.64
MLF008BIS	PLZ	8	-16.2	3.2	-19.4	19.4	PLZ	11	-15.7	0.2	-15.92	15.92
MLF012	PLZ	10	-16.4	-5.0	-11.5	11.5	PLZ	4	-16.7	-8.5	-8.12	8.12
MLF018	PLZ	9	-9.4	-6.9	-2.6	2.6	PLZ	9	-7.8	-7.3	-0.55	0.55
MLF020	PLZ	7	-0.1	15.3	-15.5	15.5	PLZ	7	3.7	14.9	-11.20	11.20
MLF023	PLZ	11	-16.6	-6.2	-10.4	10.4	PLZ	4	-17.0	-12.2	-4.80	4.80
MLF030	PLZ	10	12.5	---	---	---	PLZ	7	9.3	8.8	0.53	0.53
MLF044	PLZ	9	12.6	28.9	-16.3	16.3	PLZ	9	25.0	22.6	2.34	2.34
MLF049	PLZ	7	5.0	---	---	---	PLZ	12	-0.84	3.6	-4.43	4.43
MLF064	PLZ	7	39.1	23.9	15.2	15.2	PLZ	7	45.5	---	---	---
MLFGT_12	PLZ	11	14.0	22.5	-8.5	8.5	PLZ	11	14.0	17.3	-3.30	3.30
MLFGT_13	PLZ	8	13.7	26.4	-12.7	12.7	PLZ	8	13.9	17.7	-3.83	3.83
MLFGT_20	PLZ	9	37.7	29.1	8.6	8.6	PLZ	9	23.7	25.1	-1.42	1.42
PLZ_1	PLZ	4	21.2	36.1	-15.0	15.0	PLZ	4	32.9	31.3	1.61	1.61
PLZ_11n	PLZ	3	40.2	50.6	-10.4	10.4	PLZ	3	41.6	45.9	-4.35	4.35
PLZ_13n	PLZ	3	91.58	93.2	-1.7	1.7	PLZ	3	83.3	91.7	-8.48	8.48
PLZ_15n	PLZ	3	39.4	48.8	-9.4	9.4	PLZ	3	41.2	44.5	-3.39	3.39
PLZ_16n	PLZ	3	46.1	51.2	-5.1	5.1	PLZ	3	46.8	47.1	-0.39	0.39
PLZ_17n	PLZ	3	40.8	50.2	-9.4	9.4	PLZ	3	42.9	45.9	-3.05	3.05
PLZ_18n	PLZ	2	37.0	49.2	-12.3	12.3	PLZ	3	39.5	45.6	-6.06	6.06
PLZ_19n	PLZ	1	43.6	57.6	-14.0	14.0	PLZ	3	42.9	50.5	-7.59	7.59
PLZ_2	PLZ	3	28.9	34.0	-5.1	5.1	PLZ	3	37.9	33.1	4.79	4.79
PLZ_20n	PLZ	3	46.2	54.6	-8.4	8.4	PLZ	3	47.5	49.0	-1.41	1.41
PLZ_3	PLZ	3	40.2	68.3	-28.0	28.0	PLZ	3	42.2	46.9	-4.72	4.72
PLZ_5A	PLZ	9	12.7	24.7	-12.0	12.0	PLZ	9	13.4	21.3	-7.89	7.89
PLZ_6B	PLZ	5	44.7	53.7	-9.0	9.0	PLZ	6	44.8	47.6	-2.85	2.85
PLZ_7B	PLZ	8	40.2	49.7	-9.4	9.4	PLZ	9	41.4	---	---	---
PLZ_8n	PLZ	7	16.0	19.1	-3.1	3.1	PLZ	11	27.0	18.2	8.84	8.84
PLZ_9n	PLZ	6	35.4	17.5	17.9	17.9	PLZ	11	13.5	14.1	-0.57	0.57

Name	UGA	LAY	OBS	SIM	RES	RES (ABS)	UGA	LAY	OBS 2	SIM	RES	RES (ABS)	
PZE_04B	PLZ	3	32.8	45.3	-12.5	12.5	PLZ	3	35.7	36.3	-0.51	0.51	
PZE_07B	PLZ	3	54.7	50.9	3.9	3.9	PLZ	3	55.0	---	---	---	
AZN4	MTB	2	86.5	87.6	-1.1	1.1	MTB	2	86.5	87.4	-0.9	0.9	
AZN5	MTB	2	41.4	45.9	-4.5	4.5	MTB	2	41.4	29.6	11.8	11.8	
O54913bis	MTB	2	42.5	44.1	-1.6	1.6	MTB	2	41.9	40.6	1.3	1.3	
GAZ_4	MTB	2	51.8	60.0	-8.3	8.3	MTB	2	53.7	52.3	1.4	1.4	
M_15n	MTB	2	43.3	53.6	-10.3	10.3	MTB	2	45.0	48.4	-3.4	3.4	
NP_11n	MTB	2	40.2	50.6	-10.4	10.4	MTB	2	41.6	46.0	-4.4	4.4	
NP_14n	MTB	2	44.6	50.3	-5.7	5.7	MTB	2	45.9	---	---	---	
NP_16n	MTB	2	50.3	51.3	-1.0	1.0	MTB	2	50.4	47.4	2.9	2.9	
NP_17n	MTB	2	41.6	50.2	-8.6	8.6	MTB	2	43.2	46.0	-2.7	2.7	
NP_18n	MTB	2	36.6	49.2	-12.6	12.6	MTB	2	39.1	45.6	-6.5	6.5	
NP_19n	MTB	2	58.2	57.5	0.8	0.8	MTB	2	61.1	50.5	10.5	10.5	
NP_1n	MTB	2	48.6	56.0	-7.4	7.4	MTB	2	49.8	49.8	0.0	0.0	
NP_20n	MTB	2	47.4	54.8	-7.4	7.4	MTB	2	48.6	49.1	-0.4	0.4	
NP_2n	MTB	2	41.0	55.4	-14.3	14.3	MTB	2	45.2	49.0	-3.8	3.8	
NP_4	MTB	2	22.6	49.4	-26.9	26.9	MTB	2	24.6	47.6	-23.0	23.0	
NP_5n	MTB	2	40.3	50.3	-10.0	10.0	MTB	2	41.1	45.7	-4.7	4.7	
NP_7	MTB	2	26.4	47.0	-20.6	20.6	MTB	2	31.5	44.0	-12.5	12.5	
					-7.33	10.33						-2.22	4.86

Mod. Ref: 20191028

Mod. Ref: 20200601

Tabla 15 Modificación de los estadísticos utilizados en la calibración de junio de 2020

ESTADÍSTICO		MODELO febrero 2020	MODELO Junio 2020
r	Coefficiente de Correlación de Pearson	0.91	0.975
R²	Coefficiente de determinación	0.82	0.950
prom RES (ABS)	Residual Promedio de los Absolutos	10.93 m	4.86 m
prom RES	Residual Promedio	-7.33 m	-2.22 m
RMSE	Error Medio Cuadrático	13.37 m	6.54 m
NRMSE	Error Medio Cuadrático Normalizado	0.100	0.049

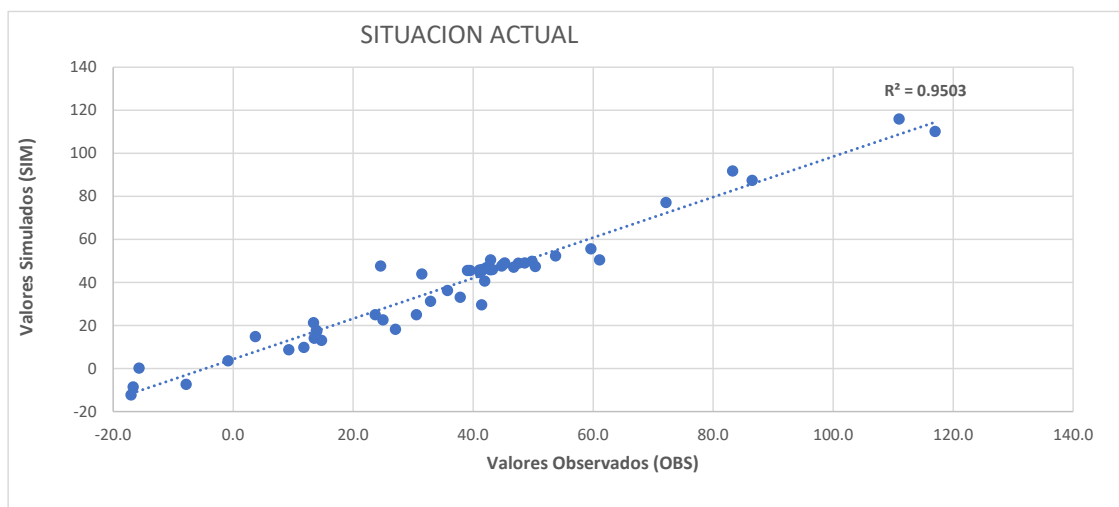
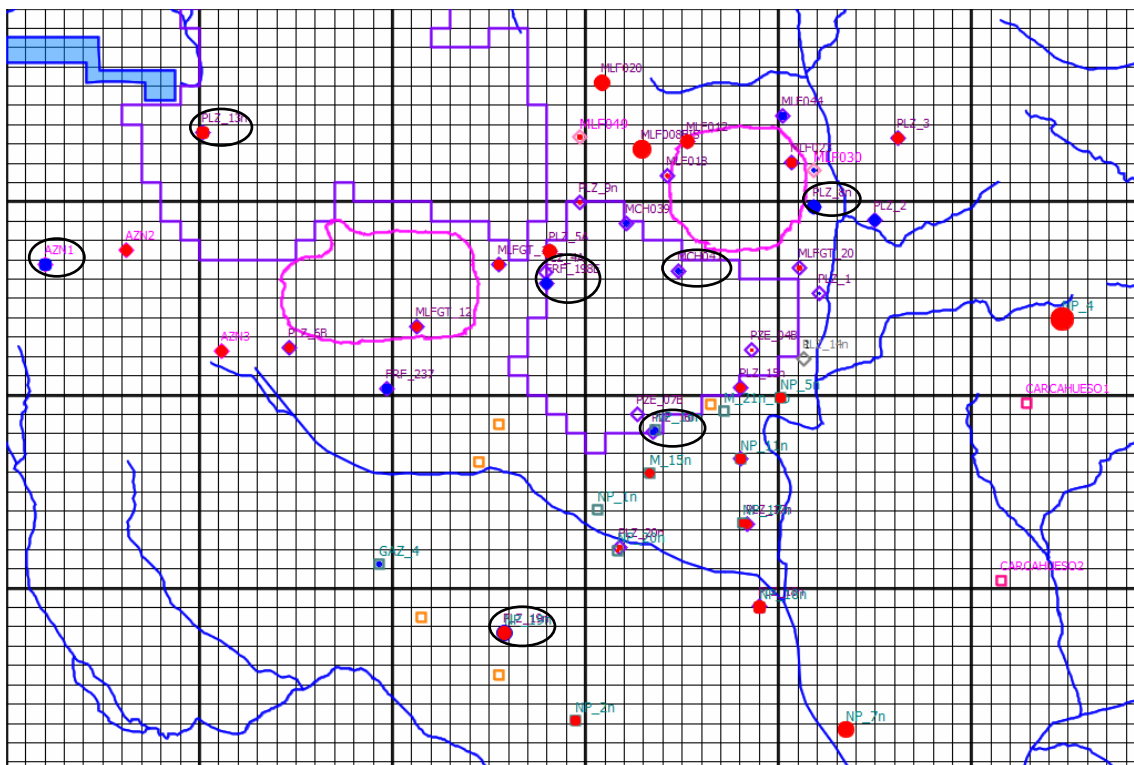


Figura 22. Correlación entre los valores observados (OBS) y los valores simulados (SIM). Coeficiente de Determinación

En la **Figura 23**, se muestran cartográficamente los residuos obtenidos en la revisión de la modelización. Así se puede ver los puntos (en rojo) en los que la cota de la superficie piezométrica modelizada está por encima de la observada; y los puntos (azules) en los que la superficie modelizada queda más baja que las observaciones. El tamaño del punto indica la magnitud, relativa al rango, de dicha desviación. En la misma Figura se incorpora como envolventes ovaladas la localización de los puntos en los que el residuo a aumentado entre la modelización inicial y su revisión.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Residuales obtenidos en el Modelo Revisado

Como se ha comentado anteriormente, con las correcciones aplicadas al modelo, se mejora el comportamiento de la modelización en la mayoría de los puntos de observación considerados, consiguiendo unos estadísticos referidos al error comparativo entre poblaciones mucho mejores que antes, y que entran en la consideración de aceptables para las exigencias paramétricas de este tipo de estudio (Tabla 15). Sin embargo, hay una serie de puntos (ocho en total) en los que el residuo se ha visto incrementado, salvo el **AZN5** que queda muy alejado hacia el Oeste (véase **Figura 23**). El análisis puntual de éstos desemboca en que al menos en 6 de ellos se han identificado anomalías locales que dificultan su aproximación a las consideraciones generales del modelo.

Así del punto **FRF-198E**, piezómetro histórico heredado de la antigua explotación, se desconoce el estado actual de sus filtros e incluso la localización original de los mismos. Los puntos **NP-19n** y **AZN5**, se encuentran en zonas en las que se producen riegos agrícolas en su entorno

inmediato, y que podrían no corresponder volumétricamente a los referidos en las concesiones administrativas consultadas.

Los puntos **PLZ-8** y **PLZ-13**, se encuentran en ambientes de muy baja permeabilidad donde la piezometría tiene un gradiente considerable (más del 30%), sufriendo además grandes variaciones en los periodos estacionales. Este hecho limita la precisión del modelo en este sector, ya que pequeñas variaciones modifican la geometría de la superficie piezométrica alterando significativamente la coordenada de control (Z).

El punto **AZN1** es un punto localizado en el núcleo urbano de Aznalcóllar. Se genera un polígono de recarga para simular las pérdidas de la red urbana informada por la empresa suministradora de agua, pero con la información disponible se reparte dicha pérdida de forma uniforme sobre la superficie del casco urbano. Sin embargo, cabe esperar que esta situación no sea así, pero se desconoce qué sectores tienen más pérdidas y cuales menos, o incluso dónde hay pérdidas puntuales importantes. Parece que, aunque el modelo responde correctamente a las pérdidas generales del núcleo urbano, los puntos situados en su interior reciben una influencia zonal diferente, que afectaría de forma diferencial a uno u otro de los dos puntos existentes en el casco urbano.

4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Tras el ajuste y calibración del modelo MTB (20200601) se ha realizado un nuevo análisis de sensibilidad basado en la realización de sucesivas corridas del modelo en régimen estacionario, puesto que las modificaciones han sido numerosas y se han probado muchas posibilidades de solución.

Durante dicho proceso se han modificado parámetros hidráulicos (Permeabilidad) y valores de Recarga y/o conductancia en ríos, observando cómo afecta cada cambio al conjunto del sistema y a través fundamentalmente de la comparativa entre los valores simulados y los observados.

4.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA RECARGA

Se ha realizado un análisis de sensibilidad de la recarga, variando sistemáticamente el valor de recarga atribuido a cada material (mm/año) en más y menos 20%, sin alterar los valores de recarga del resto de materiales (Tabla 16). De esta forma, ha sido posible conocer cuáles de estas recargas pesan más sobre los algoritmos de cálculo de la modelización, así como cuán sensible es el modelo ante los posibles cambios que se pudieran producir.

Tabla 16. Parametrización de la Recarga (RCH) según materiales – Modelo Revisado (20200601)

COD. MATERIAL	DEFINICIÓN DEL TIPO DE SUELO	RCH (-20%) mm/año	RCH mm/año	RCH (+20%) mm/año
AA-AB-AC-AD-AE	NATURAL (Norte)	4.63	5.78	6.94
BA	PLF (Escombrera Norte, Aforto, D.A)	15.50	19.38	23.26
BB	PLF (Escombrera E_CVS y Cantera)	18.28	22.85	27.42
BC	PLF (Escombrea E_RIO)	915.17	1,144	1372.76
BD	PLF (Escombrea E_PIZ.N)	6.43	8.03	9.64
CA	Cantera	15.55	19.44	23.33
CB	Charca Roja	66.18	82.72	99.26
CC	Resto zonas intermedias	66.18	82.72	99.26
OA	Entorno de la Corta de Aznalcóllar	0.71	0.89	1.06
OB	Entorno de la Corta de Los Frailes	0.56	0.70	0.84
DA	MTB libre (herbáceo)	81.32	101.7	121.99
DB	MTB libre (Olivar/Frutales)	30.91	38.64	46.37
EA	MTB Confinado (herbáceo)	37.53	46.91	56.29
EB	MTB Confinado (Olivar/Frutales)	29.53	36.91	44.30
FF	Aluvial	5.65	7.07	8.48
GA	Pérdida Urbana de Aznalcóllar	92.00	115.0	138.00

Así con, una comparativa de estadísticos globales se identifican las alteraciones máximas que se producen en el modelo, ha sido posible identificar a qué recargas de materiales el modelo es más sensible. En la Tabla 17 se muestran los estadísticos de comparación obtenidos para cada una de las 32 corridas realizadas frente a las del modelo revisado (20200601), y el porcentaje de desviación de cada una sobre el mismo.

Tabla 17. Análisis de Sensibilidad de la Recarga para todas las corridas realizadas. Para los Estadísticos RMSE – NRMSE – RES – RES (ABS) Modelo Revisado (20200601)

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ESTADÍSTICOS	Error cuadrático Medio		Error cuadrático Medio Normalizado		Promedio de Residuales		Promedio de Residuales (absolutos)	
	RMSE	D% RMSE	NRMS	D% NRMS	RES	D% RES	RES ABS	D% RES ABS
MODELO (20200601)	6.54	100%	0.049	100%	-2.22	100%	4.86	100%
CORR_1 (Ax*1.2)	6.75	103%	0.050	103%	-2.46	111%	5.04	104%
CORR_2 (Ax*0.8)	6.90	105%	0.052	105%	-3.61	163%	5.29	109%
CORR_3 (BA*1.2)	6.77	103%	0.051	103%	-2.45	111%	5.05	104%
CORR_4 (BA*0.8)	6.64	101%	0.050	101%	-2.26	102%	4.94	102%
CORR_5 (BB*1.2)	6.71	103%	0.050	103%	-2.40	108%	5.00	103%
CORR_6 (BB*0.8)	6.70	102%	0.050	102%	-2.32	104%	5.00	103%
CORR_7 (BC*1.2)	7.05	108%	0.053	108%	-4.09	184%	5.41	111%
CORR_8 (BC*0.8)	6.71	103%	0.050	103%	-1.97	89%	5.07	104%
CORR_9 (BD*1.2)	6.95	106%	0.052	106%	-3.73	168%	5.35	110%
CORR_10 (BD*0.8)	6.70	102%	0.050	102%	-2.33	105%	5.00	103%
CORR_11 (CA*1.2)	6.96	106%	0.052	106%	-3.73	168%	5.35	110%
CORR_12 (CA*0.8)	6.70	102%	0.050	102%	-2.35	106%	4.99	103%
CORR_13 (CB*1.2)	6.97	106%	0.052	106%	-3.77	170%	5.36	110%
CORR_14 (CB*0.8)	6.69	102%	0.050	102%	-2.31	104%	4.99	103%
CORR_15 (CC*1.2)	7.00	107%	0.052	107%	-3.78	170%	5.38	111%
CORR_16 (CC*0.8)	6.65	102%	0.050	102%	-2.30	104%	4.97	102%
CORR_17(OA*1.2)	6.95	106%	0.052	106%	-3.72	168%	5.35	110%
CORR_18 (OA*0.8)	6.95	106%	0.052	106%	-3.72	168%	5.35	110%
CORR_19 (OB*1.2)	6.95	106%	0.052	106%	-3.72	168%	5.35	110%
CORR_20 (OB*0.8)	6.95	106%	0.052	106%	-3.72	168%	5.35	110%
CORR_21 (DA*1.2)	7.14	109%	0.053	109%	-4.17	188%	5.52	114%
CORR_22 (DA*0.8)	EL MODELO NO CONVERGE							
CORR_23 (DB*1.2)	6.98	107%	0.052	107%	-3.85	173%	5.42	112%
CORR_24 (DB*0.8)	6.74	103%	0.050	103%	-2.22	100%	5.03	103%
CORR_25 (EA*1.2)	7.00	107%	0.052	107%	-4.43	199%	5.78	119%
CORR_26 (EA*0.8)	6.72	103%	0.050	103%	-2.19	99%	4.99	103%
CORR_27 (EB*1.2)	EL MODELO NO CONVERGE							
CORR_28 (EB*0.8)	6.94	106%	0.052	106%	-3.67	165%	5.31	109%
CORR_29 (FF*1.2)	7.31	112%	0.055	112%	-3.74	168%	5.36	110%
CORR_30 (FF*0.8)	7.18	110%	0.054	110%	-3.70	167%	5.34	110%
CORR_31 (GA*1.2)	7.31	112%	0.055	112%	-4.23	190%	5.58	115%
CORR_32 (GA*0.8)	7.18	110%	0.054	110%	-3.23	145%	5.44	112%

De los resultados obtenidos se concluye que:

- El aumento de la recarga en un 20% en cada una de las zonas definidas, en general, implica un incremento de los estadísticos de referencia entorno al 5%, sin llegar a representar un impacto significativo sobre el funcionamiento del modelo. Los únicos polígonos que no alteran significativamente el modelo son A, BA y BB. Sin embargo, cuando se reduce en un 20% la recarga en los polígonos definidos, la mayoría de las simulaciones no presentan modificaciones, salvo en el caso de los polígonos A, OA, OB, EB, FF y GA.
- Los materiales que más condicionan el funcionamiento del modelo, llegando a no converger para las reducciones de 20% en su recarga, son las zonas con agricultura herbácea sobre Mioceno Transgresivo Basal (MTB), tanto para el caso del acuífero libre (DA), como para su área confinada (EA). Esto es atribuible a su gran extensión y a la elevada tasa de recarga que poseen. Para conocer mejor la sensibilidad del modelo a estos cambios, se realizan corridas iterativas aumentando progresivamente esta recarga para ver en qué punto deja de funcionar el modelo, siendo el límite admisible de 10% para los materiales DA y de 4% para los materiales EA.
- El modelo también se muestra sensible a la recarga en el casco urbano de Aznalcóllar (GA), donde se reproducen las pérdidas de la red de suministro y saneamiento local. El hecho de haber obtenido el mejor ajuste posible en el *modelo 20200601* hace pensar que el dato referido, recibido directamente de la empresa de suministro, está ciertamente bien aproximado, ya que de no ser correcto el modelo no hubiera podido ajustar correctamente en la zona.

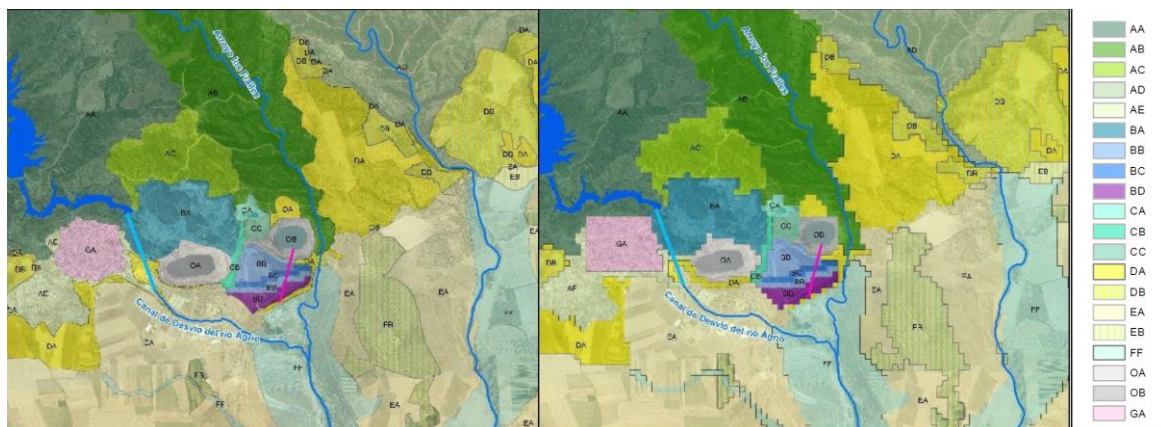


Figura 24 Zonificación de las zonas de recarga por infiltración de agua de lluvia.

Adicionalmente, para el análisis de sensibilidad realizado de esta condición de contorno, se ha calculado cuánto varían las salidas hacia la red superficial (Ríos+Embalse+Contraembalse) respecto al aumento de la recarga en cada una de las hipótesis simuladas, al igual que cuánto varían el resto de salidas del balance, obteniéndose así la sensibilidad de este modelo a la entrada neta de agua en el sistema subterráneo (véase Tabla 18).

Tabla 18. Análisis de Sensibilidad de la Recarga ($\pm 20\%$). Variación de las ENTRADAS por RCH y las SALIDAS por RIOS-EMBALSE-CONTRAEMBALSE (DRN-CHD).

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD (RECARGA)	ENTRADAS POR RCH EN EL MODELO (hm ³ /año)	SALIDAS POR LOS RÍOS+EMB+CONT (hm ³ /año)	RIOS+EMB+CON/RCH (%)	Δ RCH (hm ³ /año)	Δ DRN-CHD (hm ³ /año)	OTRAS SALIDAS Del BALANCE (hm ³ /año)	DESVÍO RESPECTO A LA MODELIZACIÓN REALIZADA
MODELO (20200601)	9.90	7.08	71.50%	0.00	0	2.83	100%
CORR_1 (A*1.2)	10.43	7.60	72.8%	0.53	0.52	2.83	100.20%
CORR_2 (A*0.8)	9.38	6.56	69.9%	-1.05	-1.04	2.82	99.80%
CORR_3 (BA*1.2)	9.91	7.08	71.4%	0.53	0.52	2.83	100.20%
CORR_4 (BA*0.8)	9.90	7.07	71.5%	-0.02	-0.01	2.82	99.80%
CORR_5 (BB*1.2)	9.91	7.08	71.4%	0.01	0.00	2.83	100.10%
CORR_6 (BB*0.8)	9.90	7.08	71.5%	-0.01	0.00	2.82	99.90%
CORR_7 (BC*1.2)	9.94	7.08	71.2%	0.04	0.00	2.86	101.30%
CORR_8 (BC*0.8)	9.87	7.08	71.7%	-0.08	0.00	2.79	98.70%
CORR_9 (BD*1.2)	9.90	7.08	71.5%	0.04	0.00	2.83	100%
CORR_10 (BD*0.8)	9.90	7.08	71.5%	0.00	0.00	2.83	100%
CORR_11 (CA*1.2)	9.90	7.08	71.5%	0.00	0.00	2.83	100%
CORR_12 (CA*0.8)	9.90	7.08	71.5%	0.00	0.00	2.83	100%
CORR_13 (CB*1.2)	9.91	7.08	71.4%	0.00	0.00	2.83	100.10%
CORR_14 (CB*0.8)	9.90	7.08	71.5%	-0.01	0.00	2.82	99.90%
CORR_15 (CC*1.2)	9.91	7.08	71.4%	0.01	0.00	2.83	100.10%
CORR_16 (CC*0.8)	9.90	7.08	71.5%	-0.01	0.00	2.82	99.90%
CORR_17 (OA*1.2)	9.90	7.08	71.5%	0.00	0.00	2.83	100%
CORR_18 (OA*0.8)	9.90	7.08	71.5%	0.00	0.00	2.83	100%
CORR_19 (OB*1.2)	9.90	7.08	71.5%	0.00	0.00	2.83	100%
CORR_20 (OB*0.8)	9.90	7.08	71.5%	0.00	0.00	2.83	100%
CORR_21 (DA*1.2)	10.09	7.24	71.7%	0.18	0.16	2.85	100.90%
CORR_22 (DA*0.8)	EL MODELO NO CONVERGE						
CORR_23 (DB*1.2)	9.98	7.15	71.6%	0.17	0.14	2.83	100.30%
CORR_24 (DB*0.8)	9.83	7.01	71.3%	-0.16	-0.14	2.82	99.70%
CORR_25 (EA*1.2)	10.74	7.90	73.6%	0.91	0.89	2.84	100.50%
CORR_26 (EA*0.8)	EL MODELO NO CONVERGE						
CORR_27 (EB*1.2)	10.13	7.30	72.1%	0.39	0.37	2.83	100%
CORR_28 (EB*0.8)	9.68	6.86	70.8%	-0.44	-0.44	2.83	100%
CORR_29 (FF*1.2)	9.95	7.13	71.6%	0.27	0.27	2.83	100%
CORR_30 (FF*0.8)	9.86	7.03	71.3%	-0.10	-0.09	2.83	100%
CORR_31 (GA*1.2)	9.93	7.09	71.4%	0.08	0.06	2.84	100.50%
CORR_32 (GA*0.8)	9.87	7.06	71.5%	-0.06	-0.03	2.81	99.50%
MAX	10.74	7.90	73.55%	0.91	0.89	2.86	101.30%
PROM	9.93	7.10	71.52%	0.00	0.00	2.83	100.05%
MIN	9.38	6.56	69.93%	-1.05	-1.04	2.79	98.70%
RANGO	1.36	1.34	3.62%	1.97	1.93	0.07	2.60%

De la Tabla 18 se concluye que aunque el rango de oscilación de recarga sea relativamente holgado (entre 10,74 y 9,07 hm³/año), representado una variación del $\pm 9\%$ de la recarga sobre la modelización original, ésta no repercute en más del $\pm 1,3\%$ sobre el agua no drenada por los ríos, ya que el sistema se tampona con los red de drenaje saliendo más o menos volumen en función de la disponibilidad de agua en el medio.

4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA CONDUCTANCIA

Siguiendo las recomendaciones del IGME, se realiza un análisis de sensibilidad respecto a las conductancias para la condición de contorno DRAIN, que ha sido la utilizada para simular los cursos fluviales del modelo, con una variación de más/menos el 20% sobre los valores aplicados en el modelo. No se realiza el análisis de sensibilidad para la condición de contorno RIVER, al no haberse podido utilizar en la presente modelización. No obstante, las dinámicas de los ríos y arroyos son intermitentes, llevando agua apenas seis meses al año y permaneciendo el resto del tiempo completamente secos, quedando así sus lechos colgados por encima de la superficie piezométrica, situación que se adapta mejor conceptualmente a la herramienta DRAIN.

Estas conductancias son incorporadas al modelo siguiendo una ecuación que relaciona la longitud del río que pasa sobre cada celda, la permeabilidad del lecho en cada una de ellas, y el ancho del curso fluvial, que se parametriza en 2, 5 y 20 m según el tipo de río o arroyo, tal y como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Ecuación utilizada para la determinación de la Conductancia (m³/día) en las celdas con cursos fluviales definidas como DRAIN.

RIOS		
Cota Cauces	MODEL TOP (Topográfico 50.000+Vuelo MLF)	
Ancho (w)	variable (20m-5m-2m)	m
Espesor (e)	fijo	1 m
Longitud celda (L)	según trazado	m
Permeabilidad lecho (K)	variable (PQ-CVS-RIO...)	m/día
Conductancia (C)	$[C= K * L * w / e]$	
Conductancia (C) en MF	$((Kz * COND) * ObjectSectionIntersectLength) * ANCHOMAX) / 1.$	

En los cursos con desarrollo de depósito aluvial asociado, se multiplica la conductancia por un factor de 18, asumiendo que el intercambio de agua a través de dicho aluvial es mucho mayor que desde el río en sí.

Para este análisis de sensibilidad se hacen dos simulaciones adicionales a la original, con conductancias más/menos el 20% de la original. Así la comparativa de los estadísticos entre cada una de las modelizaciones realizadas con las observaciones de campo (superficie piezométrica en la red de piezómetros disponible), permite conocer la sensibilidad del modelo frente a la horquilla variable de valores de conductancia utilizados.

En la Tabla 20 se muestran las variaciones de los estadísticos principales del modelo hidrogeológico al provocar los cambios mencionados en las conductancias de los ríos.

Tabla 20. Análisis de Sensibilidad- CONDUCTANCIA – Modelo Revisado (20200601)

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DRAN/RIVER	Error cuadrático Medio		Error cuadrático Medio Normalizado		Promedio de Residuales		Promedio de val abs de Residuales	
	RMSE	D% RMSE	NRMS	D% NRMS	RES	D% RES	RES ABS	D% RES ABS
MODELO (20200601)	6.54	100%	0.049	100%	-2.22	100%	4.86	100%
CORR_1 (DRN COND*1.2)	6.70	102%	0.050	102%	-2.36	106%	5.00	103%
CORR_2 (DRN COND*0.8)	6.71	102%	0.050	102%	-2.37	107%	5.00	103%

Se puede comprobar que el modelo es poco sensible para las variaciones de $\pm 20\%$ de la conductancia en ríos; es decir, que no hay una respuesta significativa del modelo a la mayor o menor capacidad de entrada o de salida de agua desde la red fluvial al medio subterráneo.

4.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA PERMEABILIDAD

Para conocer el funcionamiento en el modelo de la variable permeabilidad, se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad basado en aumentar y disminuir uno a uno todos los valores de permeabilidad asignados en la parametrización del dominio simulado (salvo los valores asignados al Agua de las cortas por entenderse que son valores que no están sujetos a este análisis).

Para ello se han empleado una horquilla de variación del $\pm 20\%$, y se han observado los estadísticos que se obtienen para cada una de ellas, conociendo así cuál es el peso relativo de la permeabilidad de cada material en el modelo completo. En la Tabla 21 se muestran los estadísticos de comparación (simulación frente a observación) para cada una de las corridas realizadas, y su desviación en tanto por ciento respecto al modelo revisado (20200601).

Tabla 21. Análisis de Sensibilidad- PERMEABILIDAD – Modelo Revisado.

CORRECCIÓN DE LA MODELIZACIÓN	Error cuadrático Medio		Error cuadrático Medio Normalizado		Promedio de Residuales		Promedio de val abs de Residuales	
	RMSE	D% RMSE	NRMS	D% NRMS	RES	D% RES	RES ABS	D% RES ABS
MODELO (20200601)	6.54	100%	0.049	100%	-2.22	100%	4.86	100%
CORR_1 (K PQx1.2)	6.84	104%	0.051	104%	-2.55	115%	5.04	104%
CORR_2 (K PQx0.8)	6.62	101%	0.049	101%	-2.17	98%	4.97	102%
CORR_3 (K PIZ_Nx1.2)	6.70	102%	0.050	102%	-2.32	105%	4.99	103%
CORR_4 (K PIZ_Nx0.8)	6.73	103%	0.050	103%	-2.41	109%	5.05	104%
CORR_5 (K CVSx1.2)	6.75	103%	0.050	103%	-1.72	77%	5.07	104%
CORR_6 (K CVSx0.8)	6.88	105%	0.051	105%	-3.12	141%	5.13	106%
CORR_7 (K FRAx1.2)	6.75	103%	0.050	103%	-2.12	95%	5.07	104%
CORR_8 (K FRAx0.8)	8.26	126%	0.062	126%	-5.2	234%	6.40	132%
CORR_9 (K DAC_CLFx1.2)	6.64	101%	0.050	101%	-1.95	88%	5.00	103%
CORR_10 (K DAC_CLFx0.8)	6.95	106%	0.052	106%	-2.88	130%	5.17	106%
CORR_11 (K DAC_CAzx1.2)	6.68	102%	0.050	102%	-2.23	100%	4.93	101%
CORR_12 (K DAC_CAzx0.8)	6.83	104%	0.051	104%	-2.54	114%	5.09	105%
CORR_13 (K SULx1.2)	6.55	100%	0.049	100%	-2.15	97%	4.91	101%
CORR_14 (K SULx0.8)	6.94	106%	0.052	106%	-2.62	118%	5.14	106%
CORR_15 (K RIOx1.2)	6.74	103%	0.050	103%	-2.06	93%	4.98	102%
CORR_16 (K RIOx0.8)	6.77	103%	0.051	103%	-2.73	123%	5.03	103%
CORR_17 (K LODx1.2)	6.74	103%	0.050	103%	-2.06	93%	4.98	102%
CORR_18 (K LODx0.8)	6.77	103%	0.051	103%	-2.73	123%	5.03	103%
CORR_19 (K MTBx1.2)	6.64	101%	0.050	101%	-2.1	95%	4.94	102%
CORR_20 (K MTBx0.8)	6.82	104%	0.051	104%	-2.66	120%	5.14	106%
CORR_21 (K MARx1.2)	6.69	102%	0.050	102%	-2.23	100%	4.97	102%
CORR_22 (K MARx0.8)	6.74	103%	0.050	103%	-2.5	113%	5.04	104%
CORR_23 (K ALVx1.2)	6.71	102%	0.050	102%	-2.36	106%	5.00	103%
CORR_24 (K ALVx0.8)	6.71	102%	0.050	102%	-2.36	106%	5.00	103%
CORR_25 (K ESCx1.2)	6.71	102%	0.050	102%	-2.36	106%	5.00	103%
CORR_26 (K ESCx0.8)	6.71	102%	0.050	102%	-2.36	106%	5.00	103%

Analizando los resultados de las modelizaciones realizadas alterando la permeabilidad: se comprueba que la reducción de un 20% en la permeabilidad de las zonas de Fracturas (K FRAx0.8) es la que experimenta una alteración mayor sobre el modelo, con un incremento de hasta el 26% en el RMSE, y del 32% en el promedio de los absolutos de los residuos.

Las otras correcciones que alteran en más de un 5% los estadísticos analizados, son las reducciones del 20% en la permeabilidad del Complejo Vulcano Sedimentario (K CVSx0.8), de las dacitas del sector de la Corta de los Frailes (K DAC_CLFx0.8), y de los sulfuros masivos (K_SULx0.8).

Por el contrario, las alteraciones que provocan menos cambio en la modelización son: la reducción en la permeabilidad del complejo Pizarroso-Cuarcítico (K PQx0.8), y los incrementos del 20% en las permeabilidades de las Dacitas de la zona de Corta Aznalcóllar (K DAC_CAZx1.2), del acuífero Mioceno Transgresivo Basal (K MTBx1.2), de las margas miocenas (K MARx1.2) y del relleno de Lodos de Corta Aznalcóllar (K LODx1.2). Si bien estos últimos materiales están muy localizados por lo que se entiende no deben afectar a la globalidad del modelo.

A partir de estas observaciones parece que el modelo es menos susceptible a cierto incremento en las permeabilidades que a la reducción de las mismas, salvo para el caso de los materiales del Grupo PQ.

5 ESTUDIO DE AFECCIONES

5.1 AFECCIÓN A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La afección a las aguas subterráneas que se desprende de la modelización realizada se limita a la depresión de los niveles piezométricos del entorno del proyecto, ocasionada por el achique de mina y el cono circundante que se generará a partir del mismo. La cuantificación numérica y geométrica de dicho descenso es clave para valorar la afección.

Se realiza el cálculo de la aportación de agua subterránea al proyecto (Corta de Los Frailes en situación actual y Mina Subterránea en el futuro), y se modelizan las geometrías de las superficies piezométricas del entorno para cada una de las situaciones valorada en la modelización: Situación actual; Situación con la Corta de los Frailes vacía, que es la situación observada en el pasado con niveles más bajos; y Situación en Explotación, que es la máxima afección que se realizará durante la vida del proyecto.

A continuación, en Tablas 22, 23 y 24 se muestran los balances del sistema conforme a los escenarios simulados: Situación actual (SIT.ACTUAL), Corta de los Frailes vacía (CLF VACÍA) y en fase de Explotación (EXPLOTACIÓN).

Tabla 22 Balance de agua en SIT.ACTUAL para todo el dominio de simulación (Reg.Estacionario) - Modelo Revisado

	Origen/destino	Condición de Controno	SIT. ACTUAL (Sept. 2019)	
			Q (m ³ /día)	Vol (hm ³ /año)
1.1	Recarga por infiltración de Lluvia en zonas Naturales	RCH	26,316	9.61
1.2	Recarga por infiltración de Lluvia en el PLF	RCH	101	0.04
1.3	Inf. Profunda Escombrera Norte, Dique Agrio y Aforo	RCH	121	0.04
1.4	Inf. Profunda Escombrera Este	RCH	580	0.21
1.5	Arroyo Los Frailes	WEL	648	0.24
	Total ENTRADAS	---	27,767	10.14
2.1	Ríos	DRN	18,279	6.68
2.2	Embalse (98.1 m ³ /año)	CHD	238	0.09
2.3	Contraembalse (75 m ³ /año)	CHD	861	0.31
2.B	Bombeos	WEL	5,903	2.16
2.A	AZN (13.62 m ³ /año) *	CHD	431	0.16
2.F	CLF (-17.5 m ³ /año) *	CHD	1,691	0.62
2.G	Galería de Investigación *	DRT	364	0.13
	Total SALIDAS	---	27,767	10.14
3.0	APORT. Superficiales y Sub-Superficiales *		5,068	1.85
	TOTAL CORTAS (*)	---	7,554	2.76

Tabla 23 Balance de agua con CLF VACÍA para todo el dominio de simulación (Reg.Estacionario) - Modelo Revisado

Cod	Origen/destino	Condición de Controno	CLF VACÍA	
			Q (m ³ /día)	Vol (hm ³ /año)
1.1	Recarga por infiltración en zonas Naturales	RCH	26,317	9.61
1.2	Recarga por infiltración en el PLF	RCH	101	0.04
1.3	Inf. Profunda Escombrera Norte, Dique Agrio y Aforo	RCH	121	0.04
1.4	Inf. Profunda Escombrera Este	RCH	580	0.21
1.5	Arroyo Los Frailes	WEL	648	0.24
	Total ENTRADAS	---	27,767	10.14
2.1	Ríos	DRN	17,852	6.52
2.2	Embalse (98.1 m ³ /año)	CHD	200	0.07
2.3	Contraembalse (75 m ³ /año)	CHD	842	0.31
2.B	Bombeos	WEL	5,903	2.16
2.A	AZN (10 m ³ /año) *	CHD	152	0.06
2.F	CLF (-160 m ³ /año) *	CHD	2,816	1.03
2.G	Galería de Investigación *	DRT	2.2	0.001
	Total SALIDAS		27,767	10.14
3.0	APORT. Superficiales y Sub-Superficiales *		5,068	1.85
	TOTAL CORTAS (*)	---	8,039	2.94

Tabla 24 Balance de agua en EXPLOTACIÓN para todo el dominio de simulación (Reg.Estacionario) - Modelo Revisado

Cod	Origen/destino	Condición de Control	EXPLOTACIÓN	
			Q (m ³ /día)	Vol (hm ³ /año)
1.1	Recarga por infiltración en zonas Naturales	RCH	26,317	9.61
1.2	Recarga por infiltración en el PLF	RCH	101	0.04
1.3	Inf. Profunda Escombrera Norte, Dique Agrio y Aforo	RCH	121	0.04
1.4	Inf. Profunda Escombrera Este	RCH	580	0.21
1.5	Arroyo Los Frailes	WEL	648	0.24
1.A	AZN (10 mnm)	CHD	250	0.09
	Total ENTRADAS	---	28,017	10.23
2.1	Ríos	DRN	17,385	6.35
2.2	Embalse (98.1 mnm)	CHD	143	0.052
2.3	Contraembalse (75 mnm)	CHD	811	0.30
2.B	Bombes	WEL	5,903	2.16
2.C	Galerías-Cámaras CLF (-444 mnm) *	DRN	3,774	1.38
	Total SALIDAS	---	28,017	10.23
3.0	APORT. Superficiales y Sub-Superficiales *		5,068	1.85
	TOTAL CORTAS (*-1.A)	---	8,592	3.14

Comparando estos balances del Modelo Revisado con los del Modelo Inicial, se observa que el mayor cambio se produce en las entradas por “Recarga por infiltración de Lluvia en zonas Naturales”, debido a la reducción de la tasa de recarga en la zona de margas y aluvial, repercutiendo de forma directa en la salida hacia la red superficial (2.1+2.2+2.3), sin llegar a detectarse cambios importantes en el modelo conceptual de funcionamiento del sistema.

A continuación, en las Figuras 25, 26 y 27 se muestran las superficies piezométricas de cada uno de los 3 escenarios simulados, mientras que en La lámina 9 del Anexo I se muestran los descensos previstos para la fase de explotación.

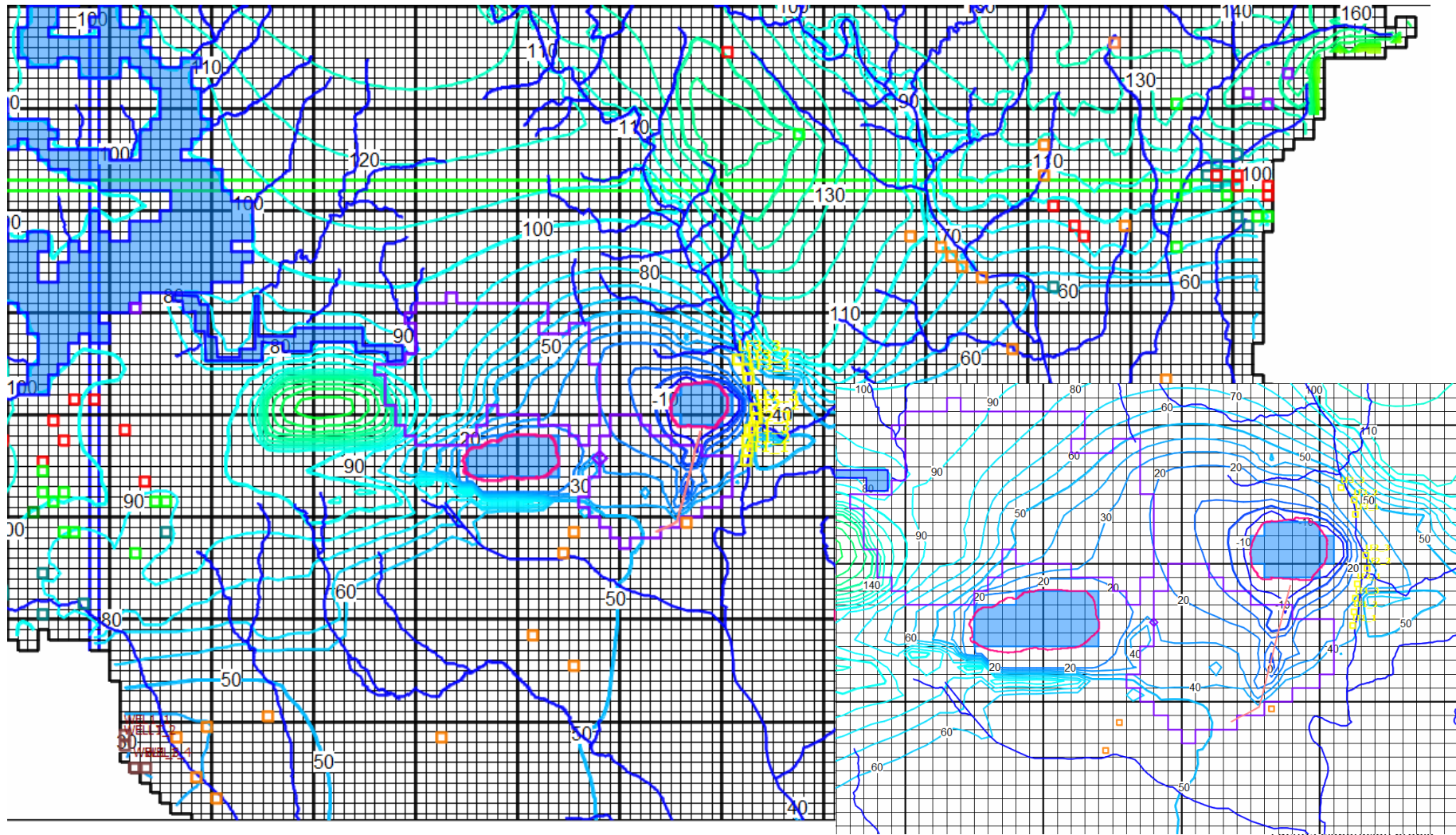


Figura 25 Piezometría estimada en el escenario en SIT. ACTUAL (Régimen Estacionario) – Modelo Revisado



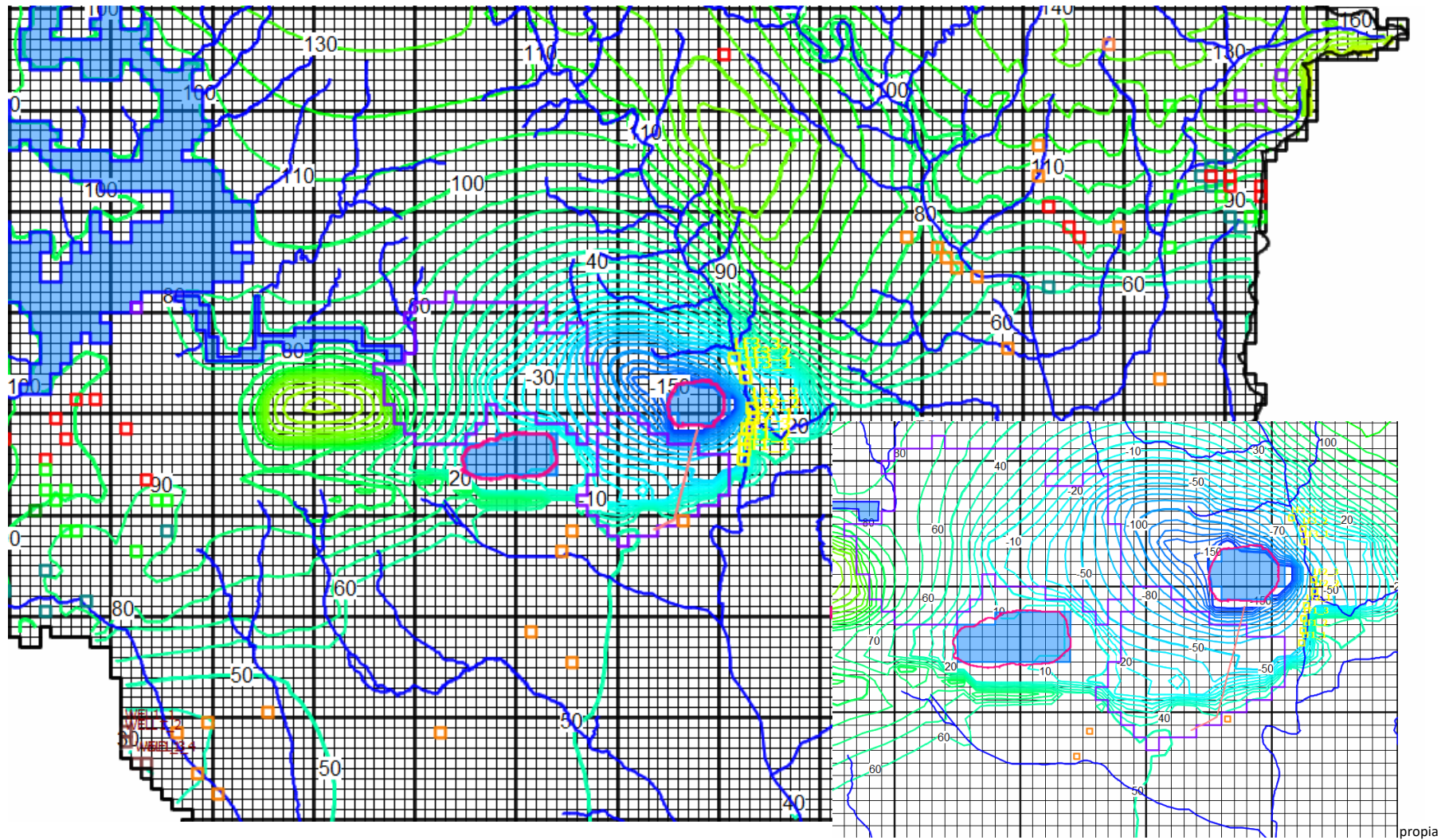
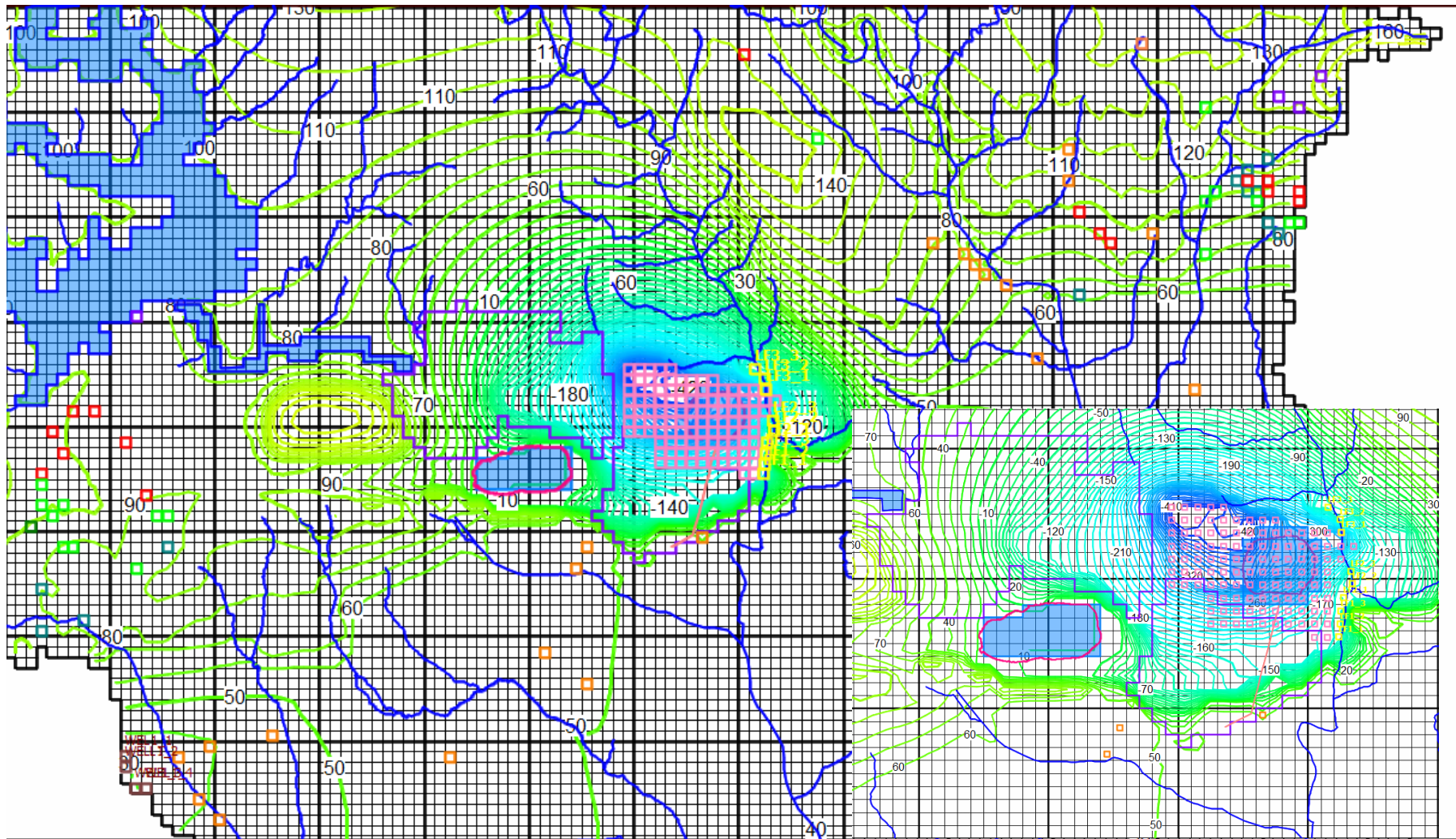


Figura 26 Piezometría estimada en el escenario de CLF Vacía (Régimen Estacionario) – Modelo Revisado



Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Piezometría estimada en el escenario de EXPLORACIÓN (Régimen Estacionario) – Modelo Revisado



5.2 AFECCIÓN A MASAS DE AGUA SUPERFICIAL

Tras el ajuste realizado, no se detectan cambios significativos en lo relativo a la afección a Masas de Aguas Superficiales, respecto al modelo original (Véase Lámina 8 del Anexo I).

Tabla 25 Afección a las masas de agua superficial en el dominio de simulación - Modelo Inicial

ZB	Código Msup	SIT. ACTUAL		CLF VACÍA		AFECCION		EXPLOTACIÓN		AFECCIÓN	
		m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año
21	ES050MSPF011006005	905	0.33	905	0.33	0	0.00	908	0.33	-3	0.00
22	ES050MSPF011006004	1,773	0.65	1,772	0.65	1	0.00	1,772	0.65	1	0.00
23	ES050MSPF011100008	867	0.32	849	0.31	18	0.01	828	0.30	39	0.01
24	ES050MSPF011100089	3,458	1.26	3,358	1.23	100	0.04	3,118	1.14	339	0.12
25	ES050MSPF011006003	725	0.26	597	0.22	128	0.05	495	0.18	230	0.08
26	ES050MSPF011006002	7,155	2.61	6,884	2.51	271	0.10	6,533	2.39	622	0.23
27	ES050MSPF011002040	14,931	5.45	15,009	5.48	-78	-0.03	15,183	5.55	-252	-0.09
Total Salidas Red Superficial		28,814	10.89	29,374	10.73	440	0.16	28,837	10.53	976	0.36

XX Salidas de flujo subterráneo hacia los Ríos (DRN)

XX Salidas de flujo subterráneo hacia los Ríos (DRN) y hacia Embalse o Contraembalse (CHD)

XX Afección estimada a las aguas superficiales

Tabla 26 Afección a las masas de agua superficial en el dominio de simulación - Modelo Revisado

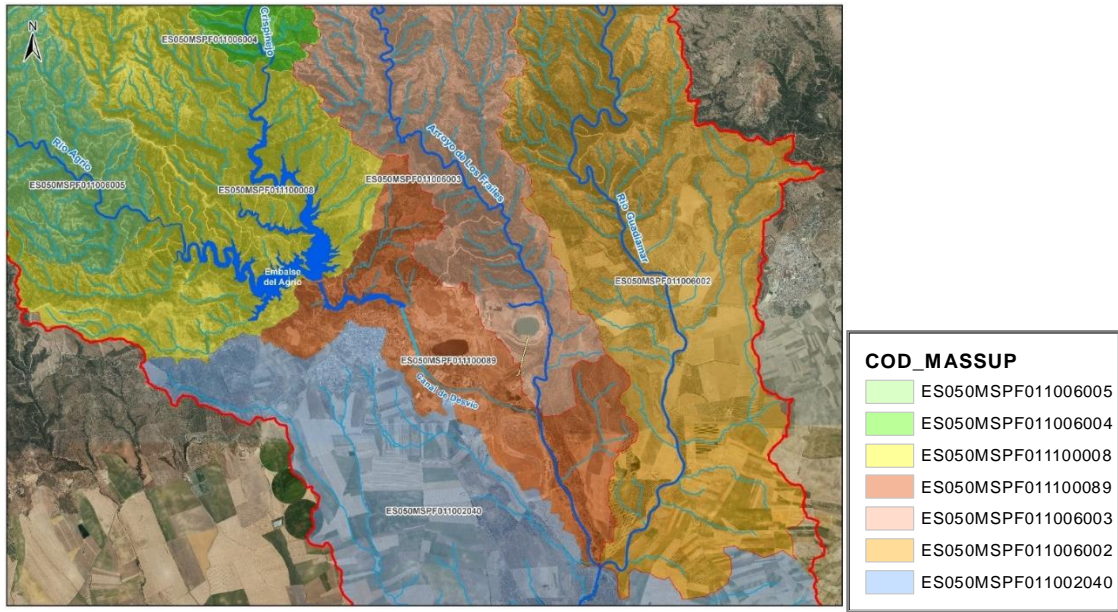
ZB	Código Msup	SIT. ACTUAL		CLF VACÍA		AFECCION		EXPLOTACIÓN		AFECCIÓN	
		m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año	m³/día	hm³/año
21	ES050MSPF011006005	905	0.33	905	0.33	0	0.00	905	0.33	0	0.00
22	ES050MSPF011006004	1,773	0.65	1,773	0.65	0	0.00	1,772	0.65	1,4	0.00
23	ES050MSPF011100008	864	0.32	845	0.31	19	0.01	814	0.30	50	0.02
24	ES050MSPF011100089	1,769	0.65	1,646	0.60	123	0.04	1,483	0.54	286	0.10
25	ES050MSPF011006003	643	0.23	529	0.19	114	0.04	454	0.17	188	0.07
26	ES050MSPF011006002	4,524	1.65	4,318	1.58	206	0.08	4,070	1.49	453	0.17
27	ES050MSPF011002040	8,918	3.26	8,899	3.25	19	0.01	8,841	3.23	77	0.03
Total Salidas Red Superficial		19,396	7.08	18,915	6.91	482	0.18	18,340	6.72	1,056	0.39

XX Salidas de flujo subterráneo hacia los Ríos (DRN)

XX Salidas de flujo subterráneo hacia los Ríos (DRN) y hacia Embalse o Contraembalse (CHD)

XX Afección estimada a las aguas superficiales

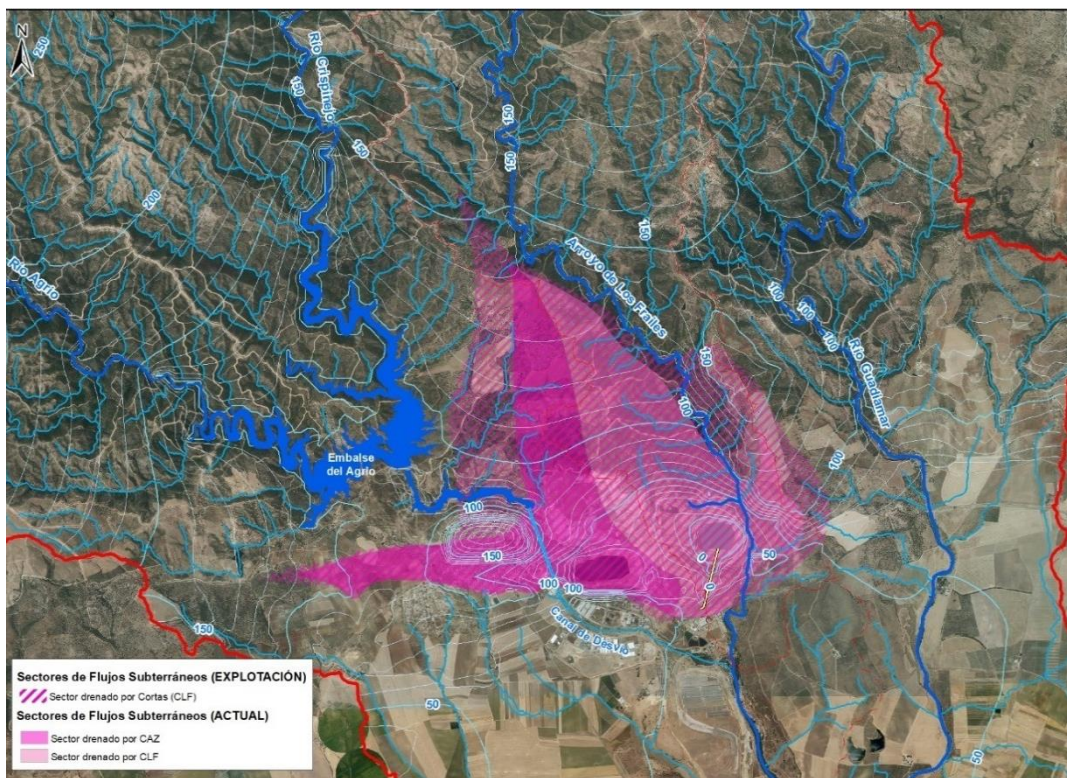
Como se detalla en la Tabla 25 y en la Tabla 26, la puesta en marcha del PLF no afectaría al régimen hídrico el sector septentrional del modelo: **ríos Crispinejo** (ES050MSPF011006004) y **Cañaveroso** (ES050MSPF011006005). Sin modificarse su condición de “ganador”, la reducción de la recarga del sistema realizada durante esta revisión, produce una reducción en las salidas naturales de tipo difusas hacia el **Contraembalse del Agrio** (ES050MSPF011100089) pero la afección relativa sobre esta masa se reduce ligeramente. No se detectan modificaciones significativas en las salidas al **embalse del Agrio** (ES050MSPF011100008), llegándose a reducir ligeramente la afección en Fase de Explotación. Como era de esperar, la mayor reducción de las salidas se produce en el **arroyo de los Frailes** (ES050MSPF011006003) y, fundamentalmente, en el **río Guadiamar** a su paso por el PLF (ES050MSPF011006002) pero a nivel de afección el modelo ajustado tiene menos incidencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Localización de las masas de agua superficial situadas en el ámbito simulado

En la Figura 29 se superpone la superficie que actualmente es drenada hacia las cortas (CAZ en rosa fuerte y CLF en rosa claro) frente a la superficie que se estima que será drenada en fase de explotación (zona rayada en rosa), debido al aumento del cono de bombeo por el vaciado de CLF y el desarrollo de las labores subterráneas, siendo en dicho escenario CLF el receptor final del flujo subterráneo en este sector del ámbito simulado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Incremento de la zona drenada por las Cortas de ACTUAL a EXPLOTACIÓN - Modelo Revisado

5.3 AFECCIÓN A TERCEROS

La afección teórica sobre terceros no aparece definida en ninguna guía o manual, pero obviamente el hecho de la afección depende de la depresión del nivel piezométrico en cada punto y de la capacidad de captar de la obra una vez producido ese descenso. Establecer un criterio que cuantifique a partir de cuánto es “Afección”, debe contar también con las oscilaciones periódicas de nivel que se producen entre los periodos secos y húmedos climáticos interanuales.

Para establecer un criterio de afección a terceros, se realiza un análisis de oscilaciones estacionales medias del entorno del proyecto. Se toman tres puntos del acuífero Mioceno y otros tres puntos del sistema Paleozoico, aprovechando los que tienen las series de medición más largas y pretendiendo que tengan una distribución lo más abierta posible alrededor de la zona de proyecto (Figura 30).



Figura 30 Localización de los puntos de control considerados en el análisis de oscilaciones. En verde los de paleozoico y en amarillo los de mioceno.

Se tabulan los ascensos y descensos producidos en cada cambio estacional identificado (dos al año), y se obtienen las medias de sus valores absolutos. Al ser muy similares los promedios de los puntos de uno y otro sistema acuífero, se obtiene una media única para todos ellos. Así la

oscilación media entre verano e invierno de los puntos estudiados en los últimos 4 años de observación se establece en 5,17 metros (Tabla 27).

Tabla 27 Cálculo de la oscilación promedio del sistema a partir de los niveles pico y valle de cada punto de control en los diferentes veranos e inviernos de la serie existente

Z de Npz	VER-1	INV-1	VER-2	INV-2	VER-3	INV-3	VER-4	INV-4	VER-5
NP2	43.69	47.96	44.73	48.63	40.36	47.55	44.5		
NP3		38.97	34.22	36.63	32.95	35.36	29.48	35.88	31.05
NP4	25.46	33.43	21.88	26.71	22.4	28.06	21.39	26.09	20.02
198E	24.5	26.64	25.21	29.94	28.63	31.63	29.09	31.51	30.33
S181	10.03	17.69	9.93	14.78	12.18				
PLZ3		43.08	32.08	43.69	39.73	45.06	34.05	38.09	34.68
Diferencias	OSC-1	OSC-2	OSC-3	OSC-4	OSC-5	OSC-6	OSC-7	OSC-8	PROM ABS
NP2	4.27	3.23	3.9	8.27	7.19	3.05			4.99
NP3		4.75	2.41	3.68	2.41	5.88	6.4	4.83	4.34
NP4	7.97	11.55	4.83	4.31	5.66	6.67	4.7	6.07	6.47
198E	2.14	1.43	4.73	1.31	3	2.54	2.42	1.18	2.34
S181	7.66	7.76	4.85	2.6					5.72
PLZ3		11	11.61	3.96	5.33	11.01	4.04	3.41	7.19
PROM FINAL									5.17

Se establece como valor umbral de afección un tercio de la oscilación media calculada, considerándose por tanto que los descensos inferiores a **1,72 m** no provocan afección apreciable en las captaciones, dada la importante oscilación que sufren en régimen natural.

De las 575 captaciones que conforman el total de 491 expedientes de concesión de agua subterránea existentes dentro del modelo realizado, un total de 4 captaciones sufren descensos teóricos mayores a 1,72 metros durante la Fase de Vaciado, y un total de 16 en la Fase de Explotación.

Se generan así 4 tablas según afección y según fase: Captaciones afectadas en fase de Vaciado (Tabla 28) y Captaciones afectadas en Fase de Explotación (Tabla 29); y las captaciones no afectadas para ambas fases, que por su gran extensión y su baja repercusión, se incluyen en el Anexo II y su distribución espacial en la Lámina 10.1 y 10.2 del ANEXO I.

Considerando que nada tiene que ver un mismo descenso en sondeos profundos que en pozos someros, se ha establecido el siguiente criterio para determinar el grado de afección; afección severa, cuando la relación entre el descenso y la profundidad de la captación es **superior al 10%**; afección moderada cuando está **entre el 5 y el 10%**; y afección leve, cuando **no supera el 5%**.

Tabla 28 Características de las captaciones con grado de afección a Terceros. Fase de Vaciado - Modelo Revisado

	Nº Exp-Año	FINCA	Tipo	USOS	VOL (m³/año)	SUP (ha)	DIAM (mm)	PROF (m)	Descenso m
1	8761-2008	Huerta de Germina	Pozo	Doméstico, Riego	1,139	0.18	1800	4	4.29
2	18803-1988	Dehesa del Conde	Pozo	Doméstico, Ganadero, Riego	72,569	24	7500	14	3.31
3	8761-2008	Huerta de Germina	Pozo	Doméstico, Riego	1,139	0.18	1500	3	2.95
4	938-2012	Pago de Espantarratas	Sondeo	Ganadero, Riego	1,450	0.959	140	70	2.13

Afección a Terceros (leve)
 Afección a Terceros (moderada)
 Afección a Terceros (severa)

Tabla 29 Características de las captaciones con grado de afección a terceros. Fase de Explotación – Modelo Revisado

	Nº Exp-Año	FINCA	Tipo	USOS	VOL (m³/año)	SUP (ha)	DIAM (mm)	PROF (m)	Descenso m
1	18800-1988	La Atalayuela	Pozo	Ganadero	40475.46	0	1000	2.4	6.09
2	8761-2008	Huerta de Germina	Pozo	Doméstico, Riego	1139	0.18	1800	4	8.64
3	8761-2008	Huerta de Germina	Pozo	Doméstico, Riego	4300	0.18	1500	3	5.87
4	18800-1988	La Atalayuela	Pozo	Ganadero	40475.46	0	1000	4	5.76
5	6344-2007	Matachica	Pozo	Riego	140	1.3	4000	5	3.07
6	18803-1988	Dehesa del Conde	Pozo	Doméstico, Ganadero, Riego	3650	24	7500	14	6.98
7	938-2012	Pago de Espantarratas	Sondeo	Ganadero, Riego	1450	0.959	140	70	4.24
8	4329-2016	Lo Nuestro	Sondeo	Riego	438	0.292	140	50	2.08
9	1711-2002	Estacada Larga	Sondeo	Riego	2655	2.215	180	70	1.83
10	308-1988	Carcahueso	Sondeo	Doméstico, Ganadero, Riego	406755	180	300	130	2.82
11	308-1988	Carcahueso	Sondeo	Doméstico, Ganadero, Riego	406755	180	200	130	2.76
12	4197-1988	Mojón Gordo	Sondeo	Ganadero	15400	0	400	180	3.10
13	4197-1988	Mojón Gordo	Sondeo	Ganadero	15400	0	400	180	2.78
14	4196-1988	Mirandilla	Sondeo	Ganadero	72569	0	400	180	2.67
15	308-1988	Carcahueso	Sondeo	Doméstico, Ganadero, Riego	406755	180	200	130	1.90
16	308-1988	Carcahueso	Sondeo	Doméstico, Ganadero, Riego	406755	180	300	245	3.52

Afección a Terceros (leve)
 Afección a Terceros (moderada)
 Afección a Terceros (severa)

Por último, indicar que el punto de abastecimiento de las Urbanizaciones de Los Encinares, Los Vicarios, Los Ranchos y La Ribera, situado a más de 8 kilómetros de la zona de Proyecto, no sufre afección alguna en ninguna de las fases consideradas, siendo el descenso teórico para cada una de dichas fases de 0,02 m.

6 CONCLUSIONES

Tras abordar los requerimientos solicitados por el IGME en el informe de Evaluación del Documento “*Modelo Hidrogeológico de Caracterización de las Aguas Subterráneas en el Ámbito del Proyecto Los Frailes y su Zona de Influencia*”, se han conseguido mejoras significativas en el modelo final realizado.

Básicamente, se mejora la calidad de la modelización y se aclaran cuestiones que parecían no haber sido suficientemente resueltas en el modelo inicial y el informe asociado a éste.

En primer lugar, se han implementado en el presente documento todos los cambios requeridos o recomendados en el informe del IGME, que aparecen enumerados en la Tabla 1 del presente documento.

Con la consecución de estos cambios se realiza en definitiva un nuevo modelo (modelo revisado), muy similar al anterior, pero a priori mejor conseguido en cuanto a detalles definición y más parecido a la realidad observada en el medio.

Realizada la evaluación del nuevo modelo se pone de manifiesto que la calibración de la nueva modelización alcanza niveles de similitud con el medio observado aceptables para este tipo de trabajos. Esto se desprende de los valores requeridos en los estadísticos comparativos habituales entre valores simulados y observados (Tabla 15). Siendo para esta modelización el Error Residual Cuadrático Medio (RMSE) de **6,54**; y el Error Residual Cuadrático Medio Normalizado (NRMSE) de **0,049**.

Este documento recoge un análisis de sensibilidad del modelo para los parámetros de Recarga, Conductancia y Permeabilidad, consistente en la variación sistemática de cada parámetro un $\pm 20\%$ en el modelo, para ver cuán sensible es el modelo a los cambios, y cuán representativo es cada parámetro alterado sobre el mismo.

En lo que respecta al análisis de sensibilidad de recarga, se identifican las recargas de los cultivos de herbáceas y el área urbana de Aznalcóllar como los de mayor influencia sobre el conjunto del modelo. También es significativo que las modificaciones de recarga apenas se reflejan en el balance del modelo, ya que la red de drenaje tampona el sistema evacuando los excedentes.

En cuanto al análisis de la conductancia, los cambios son muy poco significativo el reflejo en el modelo de las alteraciones numéricas de conductancia en las horquillas mencionadas.

El análisis de sensibilidad de permeabilidades informa que el modelo es más sensible a algunas de las reducciones en la permeabilidad que a su incremento. El material más influyente sobre los estadísticos globales del modelo al reducir su permeabilidad es la zona de fracturas del CVS (FRA), y en menor medida, la propia masa mineral (SUL), las dacitas asociadas a ésta (DAC_CLF) y las tobas que las engloban (CVS).

Las afecciones a las aguas subterráneas supondrán una depresión de los niveles piezométricos de la zona de proyecto, y de forma indirecta una reducción de las entradas a los ríos de **0,39 hm³/año**.

Respecto a las afecciones a terceros, del total de captaciones de aguas que se existen en el dominio de simulación (575), en Fase de Explotación, sólo se prevé afectar al generar un descenso piezométrico teórico superior a 1/3 de la oscilación estacional (1,72 m), a **16 captaciones**, siendo considerada dicha afección como severa en 6 de ellas, moderada en 1 y leve en los 9 restantes. Puntualizar que las afecciones severas se producen en las captaciones superficiales con una profundidad inferior a los 5 metros.

12 de enero de 2020

ANEXOS



