



Escuela de Caminos

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
UPC BARCELONATECH

ENSAYO DE TRAZADORES EN LA PLANTA PILOTO DE PALAMÓS

Trabajo realizado por:

JESUS GUILLERMO, AGUIRRE RAMOS

Dirigido por:

JESÚS CARRERA RAMÍREZ

LURDES MARTINEZ LANDA

MAARTEN WILLEM SAALTINK

Máster en:

Ingeniería del Terreno

Barcelona, 28 de setiembre del 2022

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

TRABAJO FINAL DE MASTER

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por el apoyo y motivación para seguir estudiando

A mis tutores Jesús Carrera, por permitirme formar parte de este proyecto, por todo el conocimiento brindando y por la paciencia durante este aprendizaje, a Lurdes M. por la buena disposición de enseñarme, dedicación y tiempo durante toda la realización de este proyecto; y a Maarten W. por su buena labor como profesor, colaborar y ayudarme a finalizar el presente.

RESUMEN

Dentro del proyecto RESTORA (Recarga gestionada de acuíferos y uso de sustratos orgánicos para acelerar la renaturalización del agua), y con el objetivo de investigar el uso de sustratos orgánicos para acelerar la renaturalización de las aguas, se ha construido un laboratorio de campo en el interior de la EDAR de Palamós, que consiste en seis réplicas de sistema de recarga SAT que imitan la infiltración y flujo de un acuífero, cada sistema cuenta con barreras reactivas de distinta composición, un sistema es usado como referencia ya que no cuenta con barrera.

Se ha realizado un ensayo de trazadores durante los meses de octubre a diciembre del año 2021, el objetivo del ensayo es analizar la efectividad de los materiales que componen las barreras reactivas en cuanto a eliminación de contaminantes, estos han sido simulados mediante trazadores conservativos, con distinta capacidad de adsorción a la materia orgánica y con capacidad de biodegradación (rodamina WT, amino G, benceno, tolueno, etilbenceno, orto-xileno y quelato de cobre).

Durante el ensayo se han recolectado muestras de cada trazador en todos los sistemas, luego han sido analizadas, y con estos datos se han elaborado curvas de llegada en concentración (mg/L ó $\mu\text{g/L}$) vs. volumen recargado acumulado (m^3). Adicionalmente se ha diseñado un modelo numérico que simula el transporte de solutos con los procesos de advección, dispersión, adsorción, intercambio entre la zona móvil e inmóvil y reacciones de degradación, y mediante el ajuste de los datos de las curvas de llegada con las curvas del modelo, se han obtenido el valor de los parámetros de capacidad de almacenamiento, constante de desintegración e intercambio de flujo másico entre las zonas móvil e inmóvil.

Con la comparación de estos parámetros y la interpretación de las curvas de llegada para cada trazador y en cada sistema, se distinguen las distintas respuestas que han tenido las barreras reactivas y que tanto ha influenciado la composición de estas.

ABSTRACT

Within the RESTORA project (Managed recharge of aquifers and the use of organic substrates to accelerate the renaturation of water), and with the aim of investigating the use of organic substrates in order to accelerate the renaturation of water, a field laboratory has been built within the establishments of WWTP in Palamós, which consists of six replicas of the SAT recharge system that mimic the infiltration and groundwater flow of an aquifer, each system has a reactive barrier with different composition, one system is used as a reference because does not have a barrier.

A tracer test has been carried from October to December of the year 2021, the aim of the test is analyzing the effectiveness of the materials that compose the reactive barrier in terms of eliminating contaminants, these have been simulated using conservative tracers with a different adsorption capacity to organic matter and biodegradation capacity (rhodamine WT, amino G, benzene, toluene, ethylbenzene, ortho-xylene and cooper chelate)

During the test, samples of each tracer have been collected in every system, then they have been analyzed, with these data, breakthrough curves concentration (mg/L or $\mu\text{g/L}$) vs. accumulated recharge volume (m^3) have been elaborated. Additionally, a numerical model has been designed that simulates the transport of solutes with the processes of advection, dispersion adsorption, exchange between the mobile and immobile zone and degradation reactions involved, and by adjusting the data of the breakthrough curves with the curves from the numerical model, the value of the following parameters: storage capacity, disintegration constant and exchange mass flow between the mobile and immobile zones, have been obtained.

With the comparison of these parameters and the interpretation of breakthrough curves for each tracer and every system, the different responses that the reactive barriers have had and how much their composition has been influenced are compared.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	3
CAPÍTULO 2: SITUACIÓN	4
2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DEPURADORA	4
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RECARGA ARTIFICIAL	5
CAPÍTULO 3: ENSAYO DE TRAZADORES EN LA PLANTA PILOTO DE PALAMÓS.....	9
3.1. PLANIFICACIÓN DEL ENSAYO.....	10
3.1.1. Elección del trazador.....	10
3.1.2. Preparación de cocteles.....	13
3.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE TRAZADORES	14
3.2.1. Puntos de muestreo.....	15
3.2.2. Recolección de muestras	15
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO	18
4.1. BALANCE DE MASAS	18
4.3. ALMACENAMIENTO	19
4.3.1. Partición entre fases	19
4.3.2. Adsorción	20
4.3.2.1. Coeficiente de Distribución.....	20
4.3.3. Absorción	21
4.3.3.1. Coeficiente de Partición Octanol/Agua (K_{ow})	21
4.3.3.2. Coeficiente de Partición de Carbono Orgánico (KOC).....	21
4.3.4. Variación de almacenamiento	22
4.4. FLUJO ADVECTIVO NETO	22
4.5. FLUJO DISPERSIVO NETO.....	23
4.6. BALANCE DE MASA DE LOS TÉRMINOS DE TRANSPORTE (CONDICIONES DE BORDE).....	23
4.7. DESINTEGRACIÓN DE PRIMER ORDEN	24
4.8. TRATAMIENTO DEL INTERCAMBIO ENTRE ZONAS MÓVIL E INMÓVIL	25
4.8.1. Flujo másico entre las zonas móvil e inmóvil	25
4.8.2. Balance de masas en la zona inmóvil, esquema explícito.....	26
4.8.3. Solución analítica para el balance de masas en la zona inmóvil	26
4.8.4. Solución centrada para el balance de masas de la zona inmóvil	27
4.8.5. Solución centrada para el balance de masas de la zona móvil, con flujo explícito.....	28
4.9. ECUACIONES PROGRAMADAS.....	29
CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....	31
5.1. CURVAS DE LLEGADA.....	31

5.2. CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS	49
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
6.1. CONCLUSIONES	67
6.2. RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Composición porcentual de las barreras reactivas del sistema de recarga artificial.	8
Tabla 3.1: Trazadores utilizados en el cóctel con sus propiedades.	11
Tabla 3.2: Composición de los cócteles, sistemas en el que se inyectan y volumen de agua del filtro de arenas en el que se diluyen	12
Tabla 3.3: Cantidad de trazador utilizado en cada cóctel.	12
Tabla 3.4: Particularidades de cada análisis en las muestras recolectadas	16
Tabla 5.1: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para la Rodamina WT	34
Tabla 5.2: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Amino G.....	36
Tabla 5.3: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Benceno.....	39
Tabla 5.4: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Tolueno.....	42
Tabla 5.5: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Etilbenceno.....	44
Tabla 5.6: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Orto-xileno	46
Tabla 5.7: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Cu EDTA	49
Tabla 5.8: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para la Rodamina WT	52
Tabla 5.9: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para Amino G.....	54
Tabla 5.10: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Benceno.....	57
Tabla 5.11: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Tolueno.....	59
Tabla 5.12: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Etilbenceno.....	61
Tabla 5.13: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Orto-xileno	64
Tabla 5.14: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Cu EDTA	66

Lista de Figuras

Figura 2.1: Situación de la EDAR de Palamós	4
Figura 2.2: Vista general de los sistemas de recarga artificial	6
Figura 3.1: Preparación de los cócteles	13
Figura 3.2 : Puntos muestreados en el ensayo	15
Figura 3.4: Puntos de muestreo de la sección A y Oblícuos con las bombas de muestreo instaladas	17
Figura 4.1: Discretización del medio y procesos involucrados en el transporte de solutos	19
Figura 5.1: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T1	32
Figura 5.2: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T2	32
Figura 5.3: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T3	32
Figura 5.4: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T4	33
Figura 5.5: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T5	33
Figura 5.6: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T6	33
Figura 5.7: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T1	34
Figura 5.8: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T2	35
Figura 5.9: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T3	35
Figura 5.10: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T4	35
Figura 5.11: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T5	36
Figura 5.12: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T6	36
Figura 5.13: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T1	37
Figura 5.14: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T2	37
Figura 5.15: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T3	38
Figura 5.16: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T4	38
Figura 5.17: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T5	38
Figura 5.18: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T6	39
Figura 5.19: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T1	40
Figura 5.20: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T2	40
Figura 5.21: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T3	40
Figura 5.22: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T4	41
Figura 5.23: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T5	41
Figura 5.24: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T6	41
Figura 5.25: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T1	42
Figura 5.26: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T2	42
Figura 5.28: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T4	43
Figura 5.29: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T5	43
Figura 5.30: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T6	44

Figura 5.31: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T1	44
Figura 5.32: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T2	45
Figura 5.33: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T3	45
Figura 5.34: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T4	45
Figura 5.35: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T5	46
Figura 5.36: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T6	46
Figura 5.37: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T1	47
Figura 5.38: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T2	47
Figura 5.39: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T3	47
Figura 5.40: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T4	48
Figura 5.41: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T5	48
Figura 5.42: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T6	48
Figura 5.43: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T1.....	49
Figura 5.44: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T2.....	50
Figura 5.45: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T3.....	50
Figura 5.46: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T4.....	50
Figura 5.47: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T5.....	51
Figura 5.48: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T6.....	51
Figura 5.49: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T1	52
Figura 5.50: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T2	53
Figura 5.51: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T3	53
Figura 5.52: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T4	53
Figura 5.53: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T5	54
Figura 5.54: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T6	54
Figura 5.55: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T1	55
Figura 5.56: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T2	55
Figura 5.57: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T3	55
Figura 5.58: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T4	56
Figura 5.59: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T5	56
Figura 5.60: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T6	56
Figura 5.61: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T1	57
Figura 5.62: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T2	57
Figura 5.63: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T3	58
Figura 5.64: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T4	58
Figura 5.65: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T5	58
Figura 5.66: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T6	59
Figura 5.67: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T1	59
Figura 5.68: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T2	60

Figura 5.69: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T3	60
Figura 5.70: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T4	60
Figura 5.71: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T5	61
Figura 5.72: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T6	61
Figura 5.73: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T1.....	62
Figura 5.74: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T2.....	62
Figura 5.75: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T3.....	62
Figura 5.76: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T4.....	63
Figura 5.77: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T5.....	63
Figura 5.78: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T6.....	63
Figura 5.79: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T1	64
Figura 5.80: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T2	64
Figura 5.81: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T3	65
Figura 5.82: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T4	65
Figura 5.83: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA, SAT: T5	65
Figura 5.84: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA, SAT: T6	66

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural, escaso e indispensable para la vida humana y el medio ambiente. La crisis mundial del agua provoca conflictos que, con frecuencia se deben al mal uso y a la gestión inadecuada del agua. A escala mundial, la falta de agua tiene un coste de 485.000 millones de euros al año, según la OMS (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2008).

Más allá de la contaminación provocada por el hombre, el descenso en los niveles de agua contribuye a la intrusión marina en acuíferos costeros, provoca también una pérdida de la contribución de agua subterránea a manantiales, arroyos y humedales, disminuyendo una parte importante de su valor ambiental. (Konikow & Kendy, 2005).

El agua recuperada es el proceso de convertir las aguas residuales en agua que se puede reutilizar para otros fines, esta es vista actualmente como una alternativa de fuente de agua, especialmente para usos no potables. Las innovaciones de estas técnicas aplicadas a plantas de tratamiento para mejorar la calidad de los efluentes, es por lo tanto una necesidad urgente. (Molins-Delgado & Díaz-Cruz, 2015).

Aumentar los recursos hídricos disponibles a través de la recarga artificial es considerada una buena opción, la técnica denominada "Managed Aquifer Recharge" MAR (Recarga Gestionada de Acuíferos), consiste en la introducción artificial de agua de recarga adicional en el sistema de aguas subterráneas por infiltración. La Recarga Artificial (RA) consiste en la estimulación de la filtración del agua a través de la zona vadosa y su posterior recorrido a lo largo del acuífero. (Dillon, y otros, 2006).

Las características del SAT (Soil Aquifer Treatment), lo convierten en una técnica eficiente y rentable para mejorar la calidad del agua de recarga, mientras se incrementan las reservas de agua dulce; recargan humedales y aumenta el intercambio de agua con los ríos (Asano & Cotruvo, 2004).

A pesar de sus beneficios, la implementación del MAR, todavía está en debate. La mayoría de contaminantes emergentes de preocupación “Contaminants of emerging concern” (CECs), productos farmacéuticos y de cuidado personal, drogas ilícitas, micro y nano plásticos entre otros y las bacterias de resistencia antibiótica son recalcitrantes para los tratamientos actuales de aguas residuales. Como resultado los componentes de los efluentes típicos de las “Waste Water Treatment Plant” (WWTPs) incluyen patógenos y (CECs) (Amy & Drewes, 2007) (Díaz-Cruz & Barceló, 2008).

Abordando estas preocupaciones, (Valhondo, y otros, 2014) diseñó como parte del proyecto ENSAT, un sistema de recarga que contiene unas barreras reactivas con una composición conocida, con diversos tipos de superficie de sorción como materia orgánica, arcilla, óxidos de hierro, y carbono orgánico, esto con el fin de analizar el tiempo de retención de los solutos y el rango de estados redox en los sistemas y evaluar la efectividad de cada barrera, para considerar si existe un incremento considerable de la degradación de los compuestos recalcitrantes.

El CSIC, a través del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), gestiona un laboratorio de campo construido en el interior de la EDAR de Palamós que administra el Consorcio de Aguas Costa Brava Girona, este consiste en seis réplicas de sistemas de recarga SAT con el fin de ver el comportamiento de la eficacia de las barreras reactivas y el comportamiento de los patógenos. Los sistemas imitan la infiltración y el flujo a lo largo del acuífero. Uno de los sistemas es usado como referencia, ya que no cuenta con barrera, y el resto de sistemas tienen variaciones particulares en cuanto al tipo de barrera reactiva. (Valhondo, y otros, 2019)

El presente estudio se enmarca dentro del proyecto RESTORA (REcarga gestionada de acuíferos y uso de SusTratos ORgánicos para Acelerar la renaturalización del agua), con el objetivo de investigar la recarga gestionada de acuíferos y el uso de sustratos orgánicos para acelerar la renaturalización del agua en cuanto a contaminantes emergentes , micro-plásticos, genes de resistencia antibiótica e indicadores patógenos. La parte experimental de este proyecto se lleva a cabo en los SATs anteriormente descritos.

Se ha planteado la necesidad de realizar el ensayo de trazadores para comparar las distintas respuestas de cada sistema SAT, a la inyección de una misma mezcla de trazadores y así tener un mejor entendimiento del comportamiento del proceso de transporte de distintos contaminantes que serían simulados con trazadores elegidos de acuerdo a propiedades específicas, esto con la finalidad de evaluar la efectividad de las barreras reactivas.

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo general es analizar el comportamiento de diferentes tipos de contaminantes en los seis sistemas de recarga artificial con barreras reactivas distintas , a través del diseño de un ensayo de trazadores que han sido seleccionados a partir de la similitud en el comportamiento del objetivo de análisis, con la medida de la concentración obtenida de muestras extraídas en distintos puntos de muestreo (O, A2, B2 y Ex) en cada sistema, se elaboran curvas de llegada , y posteriormente se introducen estos datos en un modelo numérico establecido que simula el transporte de solutos con las particularidades descritas, y se determinan el valor de ciertos parámetros a través del ajuste del modelo con los datos del muestreo, esto para entender las diferencias en las respuestas de las barreras reactivas en cada sistema a la inyección de la misma mezcla inicial de trazadores.

Dentro de este objetivo general, mi trabajo ha consistido en:

- Analizar las muestras de los trazadores fluorescentes (Rodamina WT y Amino-G) para la determinación de las concentraciones en (mg/L) de las muestras.
- Elaborar las curvas de llegada en concentración (mg/L ó $\mu\text{g/L}$) vs. volumen recargado acumulado (m^3); de los siguientes trazadores inyectados (Rodamina WT, Amino-G, Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Orto-xileno y Quelato de Cobre EDTA).
- Diseñar un modelo experimental que simule el transporte de solutos con los procesos de advección, dispersión, adsorción, intercambio entre la zona móvil e inmóvil y reacciones de degradación, con el fin de determinar los valores de los parámetros de capacidad de almacenamiento en la zona móvil e inmóvil " β_m, β_{im} ", constante de desintegración en zona móvil e inmóvil " λ_m, λ_{im} " y el intercambio de flujo másico entre ambas zonas "I" en cada sistema de recarga artificial.
- Interpretar el ensayo de trazadores con las curvas de llegada obtenidas a partir del modelo numérico experimental de simulación de transporte de solutos

CAPÍTULO 2: SITUACIÓN

2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DEPURADORA

La zona de estudio se encuentra dentro de las instalaciones de la EDAR de Palamós, ubicada geográficamente en la comarca del Baix Empordà (Girona, España) (Figura 2.1). Esta planta recibe agua de los municipios de Mont-ras, Palafrugell, Vall de Llobrega, Palamós, Calonge y Sant Antoni de Calonge, con unos 90000 habitantes durante el año, llegando a triplicar la población en los meses de verano. Su caudal de diseño es de 33000 m³/d, con un tiempo de tratamiento de 24h.

El Baix Empordà tiene un típico clima Mediterráneo, con veranos con elevadas temperaturas e inviernos moderados, los meses más fríos y con mayor probabilidad de heladas son los comprendidos entre noviembre y marzo. Las máximas precipitaciones registradas acontecen durante los meses de otoño y las mínimas en verano (fuente: Servicio Metereológico de Catalunya)

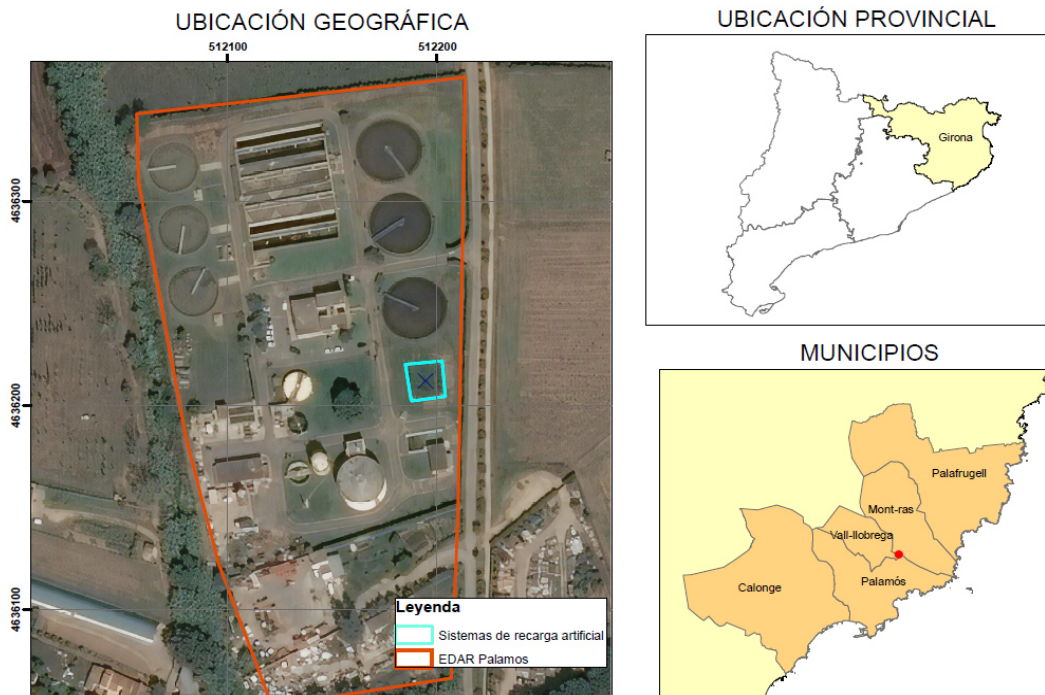


Figura 2.1: Situación de la EDAR de Palamós

Los procesos para la depuración del agua residual que se llevan a cabo en esta EDAR son: un pretratamiento compuesto por un desarenador y rejillas, luego estas aguas pasan por un tratamiento primario compuesto por tres decantadores circulares, siguiendo el proceso las aguas pasan por un tratamiento secundario biológico con fangos activados con recirculación y decantadores secundarios. El sistema de recarga artificial ha sido instalado junto a la salida del efluente de la EDAR.

2.3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RECARGA ARTIFICIAL

El sistema de recarga artificial está compuesto por seis estructuras de hormigón impermeabilizadas, idénticas e independientes, (de ahora en adelante T1, T2, T3, T4, T5 y T6) formadas por un canal que representa el acuífero de 15 m de longitud por 2.34 m de ancho (35.7 m²) enterrado 1.5 m, sobre el que se coloca un cajón de 1.5 m de largo y 2.34 de ancho (3.51 m²) y 1.15 m de altura, conectado con el acuífero a través de su base, que representa la balsa de recarga (Valhondo, y otros, 2019) (Figura 2.2 y 2.3)

El agua de recarga se bombea desde un pequeño depósito (10 m³) comunicado desde su base con el canal de salida del efluente de la EDAR, y se distribuye por la superficie de la zona de recarga a través de unas tuberías de riego perforadas ubicadas geométricamente uniformes sobre la superficie de recarga (Valhondo, y otros, 2019). Para el bombeo desde el depósito se utilizan bombas dosificadoras PRIUS. La medida del volumen de agua de entrada y salida a cada sistema se hace con caudalímetros electromagnéticos ISOIL MS600 en la entrada, y contadores volumétricos Zenner en la salida. En la descarga de los sistemas se puede regular el nivel mediante el desplazamiento en la vertical de la tubería de descarga.

Los 6 sistemas están preparados para funcionar de forma independiente, aunque, de forma habitual, tienen el mismo esquema de funcionamiento en cuanto a flujo (en cada periodo de recarga), para poder comparar las diferencias debidas a la composición de las barreras reactivas o a la presencia de plantas.

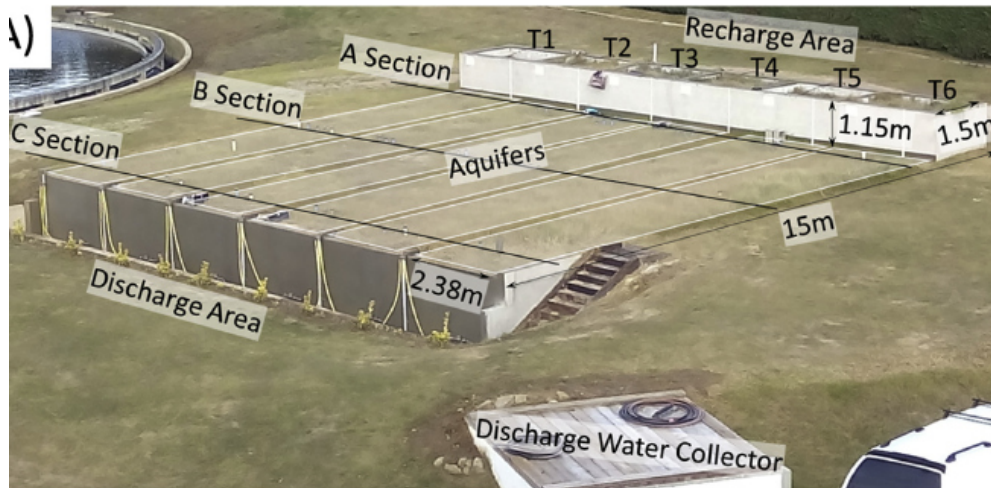


Figura 2.2: Vista general de los sistemas de recarga artificial. (Valhondo, y otros, 2019)

Los puntos de control del sistema se encuentran distribuidos desde la zona no saturada, bajo la superficie de recarga, con dos lisímetros a diferentes profundidades (L1 a 75 cm y L2 a 25cm) (Figura 2.3.). En la base de la barrera reactiva, en la capa de grava, se ha instalado un piezómetro totalmente ranurado con el objetivo de muestrear el agua que acaba de atravesar la barrera reactiva (O). A lo largo del acuífero, a tres distancias de la zona de recarga, hay 9 piezómetros agrupados en 3 secciones: sección A a 1.5 m, sección B a 6.5 m y sección C a 12.5 m. Cada una de estas secciones se componen de 3 piezómetros con 10cm de longitud de zona ranurada, abiertas 1 en la base (entre 0.1 y 0.2 m), 2 en la parte central (0.6 a 0.7 m) y 3 en la parte superior del acuífero (1.2 a 1.3 m).

En la parte final del acuífero, para favorecer la descarga, se ha instalado una capa de grava de 30 cm de ancho que atraviesa el acuífero en toda su potencia. En la base de la estructura, atravesando el muro de descarga, se instaló una tubería de acero ranurada a través de la cual descargan los sistemas. Esta tubería, en su parte exterior tiene una válvula que permite el muestreo (punto EX). Este punto de muestreo EX recoge tanto las aguas de circulación superficial como profundas de los sistemas, considerándose una medida integrada del agua que circula al final del acuífero, a diferencia de los otros puntos que son medidas puntuales.

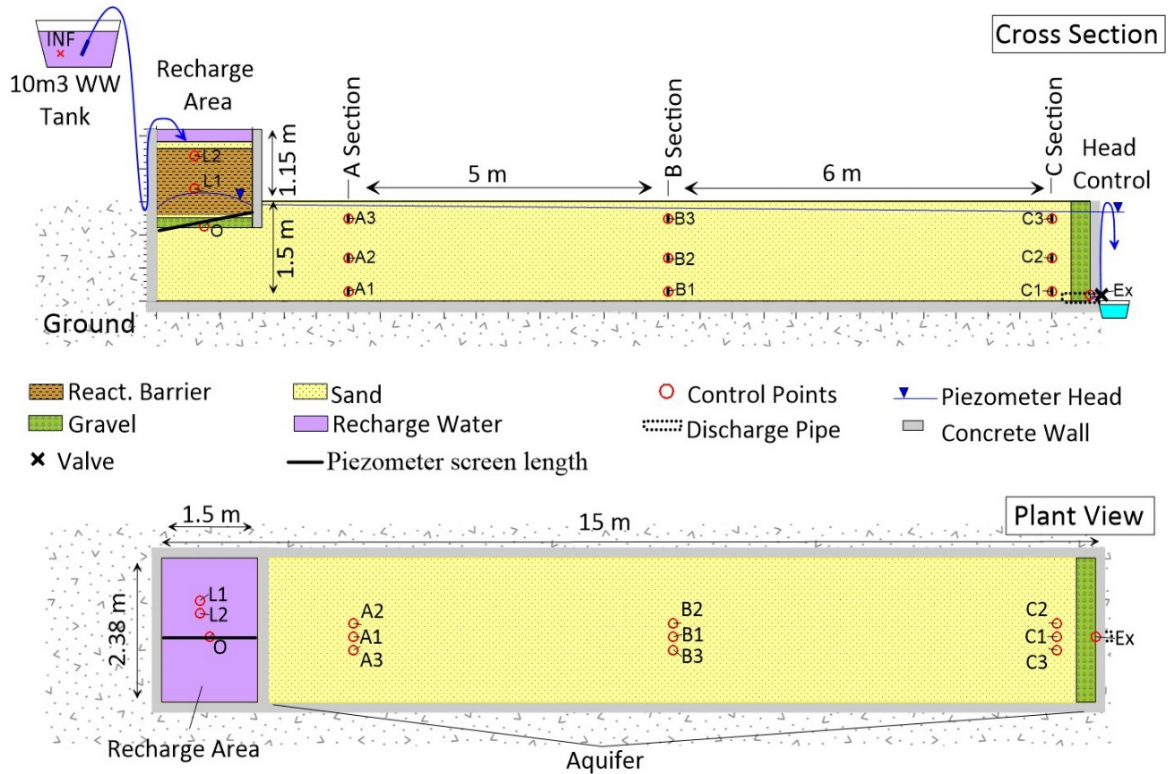


Figura 2.3: Sección vertical y en planta de los sistemas de recarga artificial con barreras reactivas, geometría y puntos de observación.

Las barreras reactivas se colocan en la base de las balsas de recarga (Figura 2.3) y tienen una potencia de 1m. La composición de las barreras reactivas ha sido diseñada con distintos materiales mezclados en diferentes proporciones, con el objetivo de estudiar la eficiencia de los materiales que las componen en cuanto a la eliminación de contaminantes. El sistema T2 está completamente formado por arena y se toma como de referencia. La composición de las barreras se muestra en la tabla 2.1.

Las barreras se cubren con una capa de entre 15-20 cm de arena con el objetivo de evitar su erosión y la flotación de los materiales más ligeros. En la base de cada barrera se instalada una capa de 15 cm de grava sobre la que se coloca 5 cm de arena, con el propósito de evitar la mezcla del material de la barrera con el material del tanque y favorecer la distribución del agua de recarga hacia el acuífero. En la parte final de cada sistema se encuentra una capa vertical de gravas de un espesor de 30 cm, con la finalidad de favorecer el drenaje de salida. (Valhondo, y otros, 2019)

Tabla 2.1: Composición porcentual de las barreras reactivas del sistema de recarga artificial.

Composición de las Barreras reactivas	
T1	50% arena, 50% materia orgánica
T2	100 % arena
T3	50% arena, 30% materia orgánica, 10% biochar, 8% zeolitas, 2% arcillas
T4	50% arena, 32% materia orgánica, 10% biochar, 8% zeolitas
T5	49% arena, 49% materia orgánica, 1% Hierro en la mitad inferior
T6	50% arena, 40% materia orgánica, 10% biochar

CAPÍTULO 3: ENSAYO DE TRAZADORES EN LA PLANTA PILOTO DE PALAMÓS

Al utilizar trazadores que se adsorben en la materia orgánica (biofilm + compost + astillas) cuando las barreras están empezando a funcionar (mucho madera, poco biofilm) y dos años después de su funcionamiento (mucho biofilm, poca madera), podremos, por comparación de los resultados, saber cuánto biofilm ha crecido en este periodo. El ensayo que se presenta en este documento es el que se realiza en la fase inicial, ya que las barreras empezaron a funcionar en febrero de 2021 y este ensayo se realizó en septiembre de este mismo año. Por este motivo tenemos que buscar trazadores que nos ayuden con nuestros objetivos:

- **Objetivo 1:** Información del transporte en zonas móviles. Tiempo de circulación, porosidad y dispersión. Propiedad: no le afecta nada y circula a través de la porosidad primaria (móvil). Trazador: metal EDTA Cu, Azul Dextrano.
- **Objetivo 2:** Caracterización de la cantidad de MO presente en los sistemas (madera + Biofilm). Propiedad: se adsorbe en la MO. Trazador: Amino G (baja capacidad de adsorción), Rodamina WT (alta capacidad de adsorción). Trazadores fluorescentes.
- **Objetivo 3:** Distinguir entre zona móviles e inmóviles. Trazadores: conservativos (zonas móviles) y fluorescentes (zonas inmóviles).
- **Objetivo 4:** Degradación de la MO. Fuente de carbono orgánico fácilmente degradable. Trazador: BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno).
- **Objetivo 5:** Movimiento en un SAT de partículas de tipo coloidal (patógenos y microplásticos que se emulan, por su tamaño, con microesferas de carboxilato 0.2 μm).

En el presente capítulo se describe la realización del ensayo de trazadores y se divide en dos apartados:

- En el primero, de planificación, se explica el criterio de elección de trazador, el cálculo de sus masas para cumplir los objetivos, preparación de los cócteles.
- En el segundo, de ejecución, en el que se describe la inyección y muestreo de los trazadores.

3.1. PLANIFICACIÓN DEL ENSAYO

3.1.1. Elección del trazador

Para la elección de los trazadores ideales deben satisfacer lo siguiente:

- Que cumpla con las propiedades necesarias para conseguir los objetivos del ensayo:
 - Trazador conservativo, que no se quede retenido ni reaccione con el medio
 - Trazadores con distinta capacidad de adsorción a la materia orgánica (MO)
 - Con capacidad de biodegradación
 - Con un tamaño semejante a bacterias o microplásticos para emular su movimiento por un sistema SAT

- Que sea estable en las condiciones del medio en el que lo vamos a inyectar
- Que no se encuentre en el sistema o que esté en cantidades muy pequeñas
- Que no interaccione con los otros trazadores
- Que sean solubles
- Fáciles de manipular y conservar en las condiciones del experimento.
- Que sea fácil de analizar en diferentes órdenes de magnitud y con mucha precisión en cantidades pequeñas
- Que los sistemas se puedan recuperar, que desaparezcan completamente, para volver a funcionar de forma normal después del ensayo.

En la Tabla 3.1, se resumen los trazadores escogidos en función de sus características, que cumplen las propiedades anteriores y cada uno de los objetivos.

Es importante mencionar que en el presente trabajo no se ha realizado ningún tipo de análisis con los datos de los resultados de los trazadores de Microesferas de Carboxilato de 0.20 μ m y Azul Dextrano 2000.

Tabla 3.1: Trazadores utilizados en el cóctel con sus propiedades.

Trazador	Característica	Objetivo
Rodamina WT	Trazador fluorescente con alta capacidad de adsorción a la MO	Información del transporte en zonas inmóviles
Amino-G	Trazador fluorescente con baja capacidad de adsorción a la MO	Información del transporte en las zonas inmóviles y móviles.
Cu-EDTA (ácido etilendiamintetracético)	Complejo metálico, no se adsorbe, es muy conservativo, presenta baja toxicidad y es poco presente de forma natural	Información de la velocidad del transporte en zonas móviles
Microesferas de Carboxilato –(0.20µm)	Tienen el tamaño de un virus y bacterias y microplásticos	Capacidad de simular virus y bacterias, transporte de partículas coloidales
Azul Dextrano 2000	No se adhiere a la materia orgánica	Información del transporte en zonas móviles
BTEX (Benceno/Etilbenceno/Tolueno/Xileno),	Se volatilizan fácilmente, se presenta como una fuente de carbono orgánico	Información de la actividad de degradación microbiana

Para cumplir con los objetivos de los trazadores en zonas móviles e inmóviles, caracterización de la cantidad de MO, y biodegradación del carbono orgánico, tanto en la zona de barrera como en el acuífero, se muestrearán los trazadores hasta la zona de descarga del acuífero, punto EX (Figura 2.3).

Tanto las microesferas de carboxilato como el azul dextrano se usarán de forma experimental, solo en la zona de barrera de 1 sistema las microesferas (SAT3) y dos sistemas el azul dextrano (SAT2 y SAT3, el sistema de referencia sin barrera reactiva y la barrera con todos los componentes, respectivamente), llegando los muestreos hasta la sección A (primera sección del acuífero después del paso por la barrera).

De esta forma confeccionamos 3 mezclas de trazadores que se detallan en la tabla 3.4. y se identifican como Coctel 1 a la mezcla base que se repite en todos (EDTA-Cu + Amino-G + Rodamina WT + BTEX), sobre esta base se añade el azul dextrano (Coctel 2) y azul dextrano y microesferas (Coctel 3).

Tabla 3.2: Composición de los cócteles, sistemas en el que se inyectan y volumen de agua del filtro de arenas en el que se diluyen. (50 litros por sistema).

Cóctel	Volumen dilución (l)	Sistema en el que se inyecta	Composición
Cóctel 1	200	T1, T4, T5 y T6	BASE: EDTA-Cu + Amino-G + Rodamina WT + BTEX
Cóctel 2	50	T2	BASE + Azul Dextrano
Cóctel 3	50	T3	BASE + Azul D. + Microesferas

El cálculo de la cantidad de cada trazador se muestra en la Tabla 3.5, en los anejos 1 y 2 se explican en detalle estos cálculos.

Tabla 3.3: Cantidad de trazador utilizado en cada cóctel.

Trazador (g)	Coctel 1	Coctel 2	Coctel 3
Rodamina WT	5.57	1.37	1.37
Amino-G	547.17	137.05	137.02
Cu-EDTA	771.17	192.87	192.79
Benceno	54.76	13.69	13.69
Tolueno	54.76	13.69	13.69
Etilbenceno	54.76	13.69	13.69
Xileno	54.77	13.69	13.69
A. Dextrano	-	48.1	48.1

3.1.2.Preparación de cocteles

Los trazadores se preparan antes de venir al campo en el laboratorio midiendo las cantidades precisas y se transportan en recipientes diferentes por trazador y cóctel (Figura 3.1), siguiendo las cantidades calculadas (Tabla 3.5). En el campo se preparan los bidones con la cantidad de agua en la que se diluirán los trazadores para formar las concentraciones de cada compuesto que se inyectarán en cada sistema. Para la preparación de los cócteles se utiliza el agua del efluente del secundario de la planta después de pasar por un filtro de arenas, para no mezclar con agua de diferente naturaleza y quitar la turbidez que pueda afectar a la medida inicial de los trazadores.



Figura 3.1: Preparación de los cócteles. A) medida de los trazadores en laboratorio. B) sonicando las microsferas antes de mezclarlas con el resto de trazadores para formar el cóctel 3. C) dilución y homogeneización de los trazadores en el volumen de agua para formar los cócteles, poco tiempo antes de la inyección.

3.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE TRAZADORES

Se considera la ejecución del ensayo desde que se comienza a inyectar en simultáneo a cada tanque hasta que se detienen las bombas por completo, en total son 56 días 13 horas con 50 minutos, comienza el día 13 de octubre del 2021 (22:10:00 horas) y finaliza el día 09 de diciembre del 2021

Antes de comenzar la inyección:

- Preparados los bidones con 3 cócteles y el 4º con 300 l de agua del filtro de arenas
- Se programan los caudalímetros de la recarga para tomar las medidas cada 15 s, con el objetivo de tener con detalle el volumen de coctel inyectado por sistema. Así, conociendo la concentración, y el volumen de cóctel inyectado, podremos calcular la masa de cada trazador inyectada en cada sistema.
- Se toman las muestras de cada trazador de los cócteles

Para la inyección de los seis tanques en simultáneo:

- Se detiene el funcionamiento de las bombas sumergibles y se cambian los filtros por unos que previamente se hayan limpiado
- Se colocan las aspiraciones de las bombas dentro del bidón del cóctel que toque a cada sistema
- Luego se comienza con la aspiración de las bombas en los recipientes con los trazadores (cóctel 1 con una capacidad de 200 l., cóctel 2 y 3 en recipientes de 50 l.).
- Se mantiene el caudal de la recarga para no modificar el flujo de los sistemas.
- Luego las bombas sumergibles de cada uno de los tanques empiezan a aspirar las aguas del filtro de arenas del recipiente con 300 l (unos 50 l por sistema).
- Luego de haber inyectado esta mezcla, se detiene el funcionamiento de las bombas sumergibles, y se comienza la recarga normal desde el depósito del tratamiento secundario, manteniendo siempre el caudal de recarga
- Seguidamente se realiza el cambio de frecuencia para la medida normal de los contadores (volumen de recarga).

3.2.1. Puntos de muestreo

Los puntos que se controlan dentro de cada sistema son (Figura 3.2):

- INF; es el agua del depósito del secundario de la EDAR
- O; piezómetro oblicuo situado bajo la barrera reactiva (BR). Muestra el agua que acaba de atravesar la BR.
- A2; punto del acuífero situado a 1.5 m del muro de recarga.
- B2; punto del acuífero situado a 8 m del muro de recarga.
- EX; punto de descarga del sistema situado en la base del acuífero. Recolecta el agua que ha circulado por el sistema a distintas velocidades (agua de circulación superficial + agua de circulación profunda)

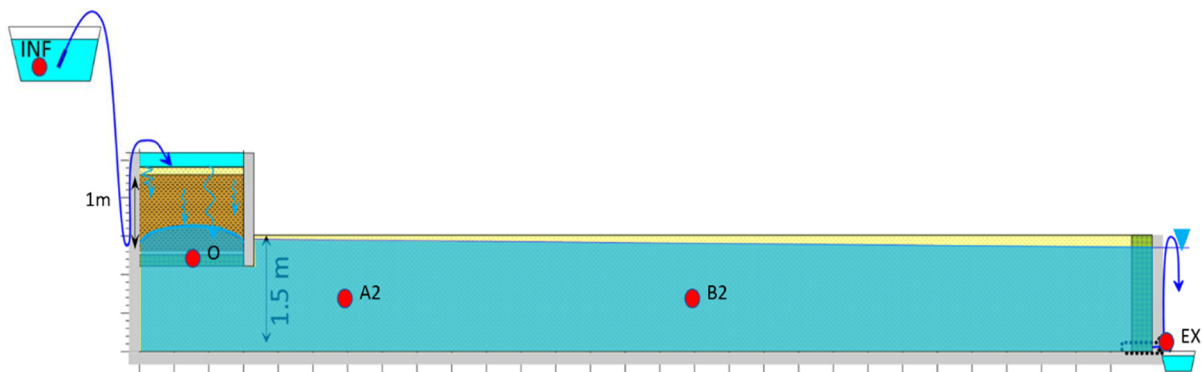


Figura 3.2 : Puntos muestreados en el ensayo. El punto INF es el agua del depósito del secundario, que se va muestreando desde antes de la inyección. El piezómetro oblicuo (O), se muestrea como el agua que acaba de pasar por la barrera reactiva. Los puntos de control del acuífero a diferentes distancias de la zona de inyección (recarga) son el A2, B2, EX. Este último punto integra el agua de descarga del acuífero, mezclando las aguas superficiales y las profundas.

3.2.2. Recolección de muestras

El proceso de recolección de muestras inicia con la muestra del cóctel (entrada del trazador a los sistemas). Los muestreos son más intensos al principio del ensayo, y hasta que se considera que ha pasado el pico del trazador por cada punto de observación (Figura 3.3). Para el diseño del muestreo nos hemos basado en ensayos de trazadores conservativos realizados en fases previas del funcionamiento de los sistemas de recarga. Posteriormente las muestras se van espaciando en el tiempo.

Para facilitar el trabajo y evitar errores durante el muestreo se preparan unos kits de muestreo para cada tanque, que contienen los envases para cada muestra rotulados con el código de muestra, junto con un cuaderno de campo en el que se rellena en una tabla diaria los datos de la muestra que se ha cogido: día/hora/parámetros físico-químicos, alcalinidad y observaciones a tener en cuenta durante el ensayo y en la interpretación de los datos. Para evitar la contaminación cruzada entre sistemas, cada punto de muestreo tiene instalada su propia bomba (Figura 3.4).

Dentro de la organización de las muestras está también la coordinación con los laboratorios, que son los que nos indican cómo recoger, conservar y entregar las muestras que analizarán. En la tabla 3.6 muestran los detalles de cada muestra.

Tabla 3.4: Particularidades de cada análisis en las muestras recolectadas

Características	Carbono Orgánico Disuelto (DOC)	Cationes (Cu-EDTA)	Aniones	Microesferas de Carboxilato	Trazadores Fluorescentes (Rodamina WT Amino-G)	BTEX
Volumen de muestra (ml.)	20	20	40	1.8	2	50
Tipo de envase	Frascos de vidrio de 25 ml.	Tubos cónicos para Falcon de 25 ml.	Tubos cónicos para Falcon de 50 ml	Tubo Eppendorf	Tubo Eppendorf	Frascos de vidrio de 50 ml.
Filtrado	0.2 μ m	0.2 μ m	0.2 μ m	No	No	No
Acidificación	0.2ml HCl	0.6ml HNO ₃	No	0.1ml CH ₂ O	No	No
Conservación	Nevera	Nevera	Nevera	Nevera	Nevera (Sin contacto con la luz)	Nevera
Lugar de Análisis	CSIC	CSIC	EDAR del Besós		CSIC	Universidad de Barcelona (CCT)

Cada muestra debe tener un rótulo que indique cierta información como la manera de extracción, la procedencia de la muestra, la fecha y el número de muestra:

-INF2110DD-00 / Muestras obtenidas por el piezómetro oblicuo

-TX02110DD-00 / Muestras con contenido de trazadores (cóctel)

-(Coctel211000) / Muestras obtenidas directamente del cóctel (antes del proceso de inyección).

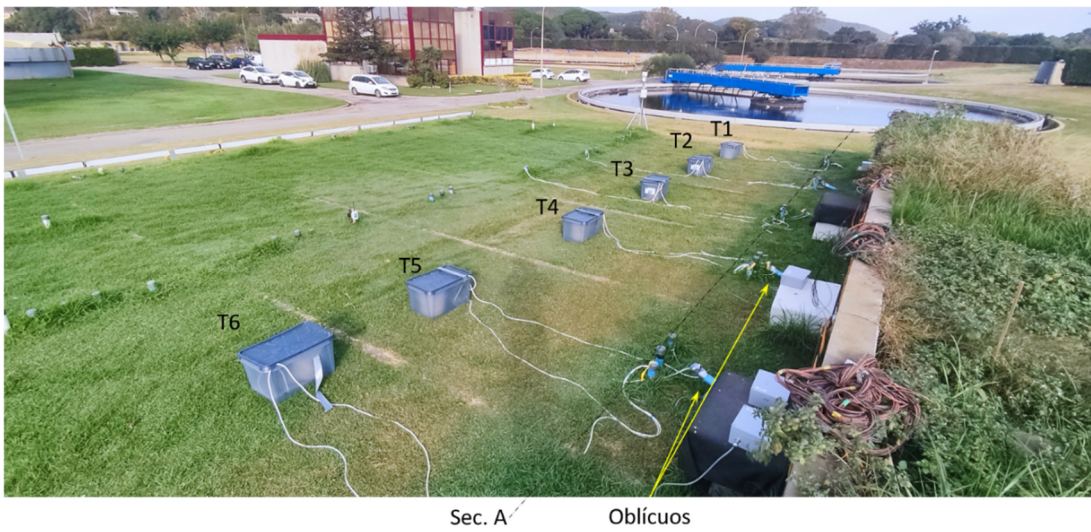


Figura 3.4: Puntos de muestreo de la sección A y Oblicuos con las bombas de muestreo instaladas

CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

En el presente capítulo se describe las ecuaciones que gobiernan el transporte de solutos en los sistemas de recarga artificial en Palamós, con estas mismas ecuaciones se ha realizado un modelo numérico en una hoja de cálculo Excel, que trata de representar los procesos que tienen lugar en cada uno de los sistemas. Habitualmente suele escribirse estas ecuaciones como derivadas parciales que expresan la conservación de masa de solutos. Sin embargo, debido a que la solución presentada es numérica, se ha preferido expresar el balance de masas directamente de forma numérica.

4.1. BALANCE DE MASAS

El balance masas expresa que la variación de la masa del soluto en cada celda viene dada por las contribuciones del flujo provocado por advección, dispersión, el intercambio entre la zona móvil e inmóviles y los procesos de degradación.

Suponemos que el medio poroso (porosidad ϕ) tiene una parte móvil (ϕ_m) y otra inmóvil (ϕ_{im}). Las porosidades móvil e inmóvil están referidas al volumen total del medio, lo que puede conducir a alguna confusión, pero resulta conveniente agrupar ambas porosidades tal como muestra la siguiente expresión ($\phi = \phi_m + \phi_{im}$).

Como su nombre indica, los procesos de transporte entre celdas (advección y dispersión) solo tienen lugar en la fracción móvil. La fracción inmóvil intercambia con la móvil mediante procesos de difusión, por lo que puede verse como una zona de almacenamiento diferido.

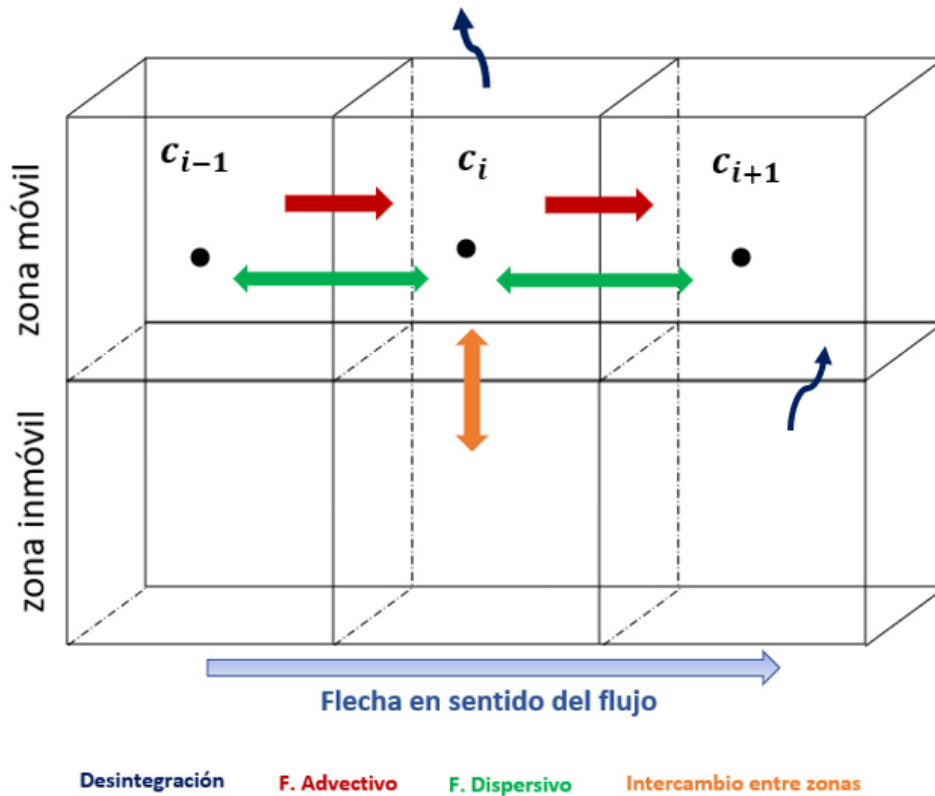


Figura 4.1: Discretización del medio y procesos involucrados en el transporte de solutos

4.3. ALMACENAMIENTO

4.3.1. Partición entre fases

Es primordial tener presente el concepto, que el soluto queda distribuido entre la fase acuosa y las fases sólidas, mediante dos mecanismos de partición que vienen a ser la absorción y la adsorción.

La definición del coeficiente de partición (K_p) es la relación entre las concentraciones de una sustancia en las dos fases de una mezcla formada por dos disolventes inmiscibles en equilibrio.

La aplicación de este concepto en medios porosos, ha de tener especial cuidado por la multiplicidad de las fases sólidas, y también por los mecanismos de retención.

4.3.2. Adsorción

La adsorción representa la retención de iones (generalmente cationes) en la superficie de los minerales, causada por mecanismos electrostáticos, formación de complejos en las superficies, y demás. La adsorción puede ser lineal, cuando la masa adsorbida es proporcional a la concentración en disolución, o no lineal. Por simplicidad supondremos adsorción lineal. La adsorción está caracterizada por el coeficiente de distribución.

4.3.2.1. Coeficiente de Distribución

El coeficiente de Distribución (K_d) es la concentración de un compuesto en fase sólida, dividida por su concentración en la fase acuosa.

$$K_d = \frac{S_i}{c_i} \quad (4.1)$$

Donde S_i (mg/g suelo) es la concentración del compuesto adsorbido en la fase sólida, c_i (mg/L) es la concentración del compuesto en la fase líquida e i es el número de la celda. Nótese que S_i se expresa por unidad de masa de sólido ($S = M_s/W_s$), donde M_s es la masa adsorbida del compuesto y W_s es la masa del sólido seco, mientras que c se expresa por unidad de volumen de agua ($c = M_w/V_w$), donde M_w es la masa del compuesto disuelto y V_w es el volumen de agua.

La densidad seca del suelo, $\rho_b (M_{\text{sólido}}/V_{\text{medio}})$, donde $M_{\text{sólido}}$ es la masa del sólido y V_{medio} es el volumen del medio poroso. Se emplea esta expresión para convertir los contenidos máscicos, en contenidos de masa en todo el volumen de la celda. La masa del soluto adsorbida en la celda i será

$$M_{s,i} = V_i \rho_b S = V_i \rho_{b,i} K_{d,i} c_i \quad (4.2)$$

La masa total del soluto en la celda i es la disuelta más la adsorbida:

$$M_i = M_{s,i} + M_{w,i} = S_i W_{s,i} + c_i V_{w,i} = c_i K_{d,i} \rho_{b,i} V_i + c_i \phi_i V_i = c_i (K_{d,i} \rho_{b,i} + \phi_i) V_i = c_i (\beta_i) V_i \quad (4.3)$$

En la ecuación 4.3 se incluye el concepto básico de capacidad de almacenamiento, $\beta_i: (K_{d,i} \rho_{b,i} + \phi_i)$, que puede definirse como la masa del soluto, tanto disuelto como adsorbido, por unidad de volumen de medio y de concentración en fase acuosa (nótese que

$\beta_i = M_i/V_i c_i$). Este parámetro está relacionado con el retardo, como se muestra a continuación

$$R_i = 1 + \frac{\rho_{b,i} K_d}{\phi_i} = 1 + \frac{K_{d,i} \rho_{b,i}}{\phi_i} = \frac{(K_{d,i} \rho_{b,i} + \phi_i)}{\phi_i} = \frac{\beta_i}{\phi_i} \quad (4.4)$$

4.3.3. Absorción

La absorción puede caracterizarse mediante dos parámetros: el Coeficiente de Partición Octanol/Agua (K_{ow}), de definición rigurosa, pero aplicabilidad limitada, y el Coeficiente de Partición de Carbono Orgánico (K_{OC}), de características opuestas.

4.3.3.1. Coeficiente de Partición Octanol/Agua (K_{ow})

Es la relación de la concentración del soluto en n-octanol y en el agua (dos disolventes inmiscibles). Es decir, $K_{ow} = c_{oct}/c_w$, donde c_{oct} es la concentración del soluto en n-octanol y c_w es su concentración en el agua. Un valor de K_{ow} alto indica hidrofobicidad (el soluto tiende a disolverse en el fluido orgánico) y, por tanto, baja movilidad y transporte en fase acuosa. Aunque la definición es correcta, el concepto es difícilmente aplicable de manera directa porque la fase orgánica no suele ser líquida.

4.3.3.2. Coeficiente de Partición de Carbono Orgánico (K_{OC})

Es la relación entre la concentración de un compuesto, absorbido o retenido por el carbono orgánico del suelo (en la fase sólida), dividido por la concentración en la fase acuosa. Es decir, $K_{OC} = S_{OC}/c_w$, donde S_{OC} es la concentración del soluto en el carbono orgánico (masa de soluto absorbido por unidad de masa de carbono orgánico). Al igual que el K_{ow} , un alto K_{OC} sugiere hidrofobicidad. Pero, a diferencia del K_{ow} , el K_{OC} no se refiere a un disolvente orgánico específico, sino a materia orgánica genérica. Esto lo hace atractivo, aunque sus valores no sean fáciles de extrapolar.

En la práctica, se puede trabajar con K_{OC} de manera análoga al coeficiente de distribución, simplemente teniendo en cuenta que S_{OC} se puede relacionar con la concentración por unidad de masa como $S = S_{OC} f_{OC}$, donde f_{OC} es la fracción másica de carbono orgánico en el suelo. De esta manera, la ecuación (4.1) sigue siendo válida para absorción a materia

orgánica, simplemente adoptando $K_d = K_{OC}f_{OC}$. Y tanto el concepto de capacidad de almacenamiento como el de retardo son válidos.

4.3.4. Variación de almacenamiento

El concepto de capacidad de almacenamiento se puede aplicar para las zona móvil e inmóvil. Las masas del soluto en la zona móvil ($M_{m,i}$), y en la zona inmóvil ($M_{im,i}$) vienen dadas por:

$$M_{m,i} = c_{m,i}\beta_{m,i}V_i \quad (4.5 a)$$

$$M_{im,i} = c_{im,i}\beta_{im,i}V_i \quad (4.5 b)$$

Por tanto, la variación de almacenamiento en ambas zonas, suponiendo constantes las capacidades de almacenamiento " β ", es:

$$\frac{dM_{m,i}}{dt} \approx \frac{M_{m,i}^{k+1} - M_{m,i}^k}{\Delta t} = \beta_{m,i}V_i \frac{c_{m,i}^{k+1} - c_{m,i}^k}{\Delta t} \quad (4.6 a)$$

$$\frac{dM_{im,i}}{dt} \approx \frac{M_{im,i}^{k+1} - M_{im,i}^k}{\Delta t} = \beta_{im,i}V_i \frac{c_{im,i}^{k+1} - c_{im,i}^k}{\Delta t} \quad (4.6 b)$$

Donde el superíndice k es el contador de tiempos.

4.4. FLUJO ADVECTIVO NETO

El flujo advectivo entre celdas está definido por la siguiente expresión $J_A = AqC$, donde A es el área transversal por donde atraviesa el fluido, q es el volumen de agua por unidad de superficie y c es la concentración del compuesto. Quedando $J_A = Qc$

El flujo neto, considerando positivas las entradas y negativas las salidas, es $J_{Ai} = J_{Ai-} - J_{Ai+}$, que se puede despejar como se muestra a continuación:

$$J_{Ai} = Q \left(\frac{c_{i-1} + c_i}{2} - \frac{c_i + c_{i+1}}{2} \right) = Q \left(\frac{c_{i-1} - c_{i+1}}{2} \right) \quad (4.7)$$

Ya que se trabaja con los valores de los caudales en el modelo numérico, es conveniente expresar las ecuaciones en función del caudal “Q”. Por lo tanto, el aporte del flujo advectivo queda definido de la siguiente manera

$$J_{Ai} = \frac{Q}{2}(c_{i-1} + c_{i+1}) \quad (4.7a)$$

4.5. FLUJO DISPERSIVO NETO

El concepto utilizado para describir el flujo dispersivo es a través de la Ley de Fick, que vendría a ser el coeficiente de dispersión multiplicado por el gradiente de la concentración.

El flujo dispersivo entre la celda i y la celda i+1, siguiendo el mismo criterio de signos del flujo advectivo para entradas y salidas en la celda queda definido $J_{Di} = J_{Di-} - J_{Di+}$.

Si la discretización, áreas y coeficiente de dispersión son constantes, se obtiene la fórmula tradicional.

$$J_{Di} = AD \left(\frac{c_{i+1} - 2c_i + c_{i-1}}{\Delta x} \right) \quad (4.8)$$

4.6. BALANCE DE MASA DE LOS TÉRMINOS DE TRANSPORTE (CONDICIONES DE BORDE)

Escribimos primero el balance de masa en la zona móvil incluyendo los procesos de flujo advectivo y flujo dispersivo. De momento, se consideran los procesos de degradación e intercambio con la zona inmóvil como un término fuente-sumidero “f”. La ecuación de balance de masas queda definida de la siguiente manera:

$$\frac{V_i \beta_{m,i} (c_{m,i}^{k+1} - c_{m,i}^k)}{\Delta t} = \frac{Q}{2} (c_{m,i-1}^k - c_{m,i+1}^k) + \left(\frac{AD}{\Delta x} \right)_{i-1/2} (c_{i-1}^k - c_i^k) + \left(\frac{AD}{\Delta x} \right)_{i+1/2} (c_{i+1}^k - c_i^k) + f = L(c^k) + f$$

Despejando $c_{m,i}^{k+1}$

$$c_{m,i}^{k+1} = c_{m,i}^k + \frac{\Delta t Q}{2V_i \beta_{m,i}} (c_{m,i-1}^k - c_{m,i+1}^k) + \frac{\Delta t}{V_i \beta_{m,i}} \left(\left(\frac{AD}{\Delta x} \right)_{i-1/2} (c_{i-1}^k - c_i^k) + \left(\frac{AD}{\Delta x} \right)_{i+1/2} (c_{i+1}^k - c_i^k) \right) + \frac{f \Delta t}{V_i \beta_{m,i}}$$

Para simplificar esta ecuación, definimos $Q_D = Q\Delta t/V_i\beta_{m,i}$

$$c_{m,i}^{k+1} = \frac{Q_D}{2}(c_{m,i-1}^k - c_{m,i+1}^k) + \frac{\Delta t}{V_i\beta_{m,i}} \left(\left(\frac{AD}{\Delta X} \right)_{i-1/2} (c_{i-1}^k - c_i^k) + \left(\frac{AD}{\Delta X} \right)_{i+1/2} (c_{i+1}^k - c_i^k) \right) + \frac{f\Delta t}{V_i\beta_{m,i}} \quad (4.9)$$

Para imponer las condiciones de contorno, suponemos que el flujo dispersivo es nulo a través del contorno. Por ello, en la primera celda para el flujo advectivo sería $J_{A1} = Q \left(c_b - \frac{c_i + c_{i+1}}{2} \right)$

$$c_{m,1}^{k+1} = \frac{Q_D}{2}(2C_b - C_{m,1}^k + C_{m,2}^k) + \frac{\Delta t}{V_1\beta_{m,1}} \left(\frac{AD}{\Delta X} \right)_{1+1/2} (C_{m,2}^k - C_{m,1}^k) + \frac{f\Delta t}{V_1\beta_{m,1}} \quad (4.10)$$

Análogamente con el mismo criterio se realiza la determinación del flujo advectivo para la última celda $J_{AN} = Q \left(\frac{c_{N-1} + c_N}{2} - c_N \right)$

$$c_{m,i}^{k+1} = \frac{Q_D}{2}(c_{m,N-1}^k - c_{m,N}^k) + \frac{\Delta t}{V_N\beta_{m,N}} \left(\frac{AD}{\Delta X} \right)_{N-1/2} (c_{N-1}^k - c_N^k) + \frac{f\Delta t}{V_i\beta_{m,i}} \quad (4.11)$$

Las ecuaciones 4.10 y 4.11 representan el balance de masas en la primera y última celda teniendo consideración de las condiciones de borde.

4.7. DESINTEGRACIÓN DE PRIMER ORDEN

Expresa la masa de soluto que se “desintegra” por causa de las reacciones químicas que acontecen durante el proceso de transporte, la formulación que se presenta será válida tanto para las consideradas zonas móviles como para las zonas inmóviles.

Esta formulación surge a partir de la siguiente expresión $\frac{dM_i}{dt} = -V_i r_i$, donde r_i es la masa que se “desintegra” por unidad de volumen de medio y por unidad de tiempo.

Se plantea este proceso a través de la desintegración de primer orden, la cual supone que $r_{m,i}$ es proporcional a la masa disuelta y adsorbida, quedando $r_i = \lambda_i\beta_i c_i$.

Se introduce un nuevo término, la constante de desintegración λ_i ($1/T$), inverso del tiempo de reacción $t_{Ri} = 1/\lambda_i$, la contribución al balance, teniendo en cuenta lo anteriormente descrito se expresa:

$$\frac{dM_i}{dt} = -V_i r_i = -V_i \beta_i \frac{d c_i}{dt} = -V_i \beta_i \lambda_i c_i \quad (4.12)$$

Esta contribución al balance de masas, se irá adicionando al remanente del transporte de solutos producido por los flujos advectivo y dispersivo en la zona móvil, e intercambio entre zonas móvil e inmóvil; y se aproxima de manera explícita, esto puede llegar a resultar en inestabilidades, si λ_i tiene un valor muy pequeño (t_{Ri} comparable con Δt).

Dado que la solución durante un intervalo de tiempo es $c_i(t) = c_i^k \exp(-\lambda_i t)$, se puede integrar la velocidad de reacción en el tiempo, de manera que:

$$M_i^{k+1} - M_i^k = -V_i \beta_i c_i^k (1 - \exp(-\lambda_i \Delta t)) \quad (4.13)$$

4.8. TRATAMIENTO DEL INTERCAMBIO ENTRE ZONAS MÓVIL E INMÓVIL

4.8.1. Flujo másico entre las zonas móvil e inmóvil

Como se menciona en la sección 4.2, suponemos que la porosidad puede diferenciarse entre la porosidad móvil, donde hay flujos advectivos y dispersivos; y la porosidad inmóvil, donde se considera que no hay flujo de agua. Estas dos zonas intercambian masa del soluto por difusión. Las zonas inmóviles pueden considerarse dentro del sistema a las biopelículas, y los trozos de madera existentes en los sistemas de recarga artificial.

El flujo de masa intercambiada por unidad de volumen de medio y de tiempo entre ambas zonas ($F_{m,i}$, positivo cuando es de la zona móvil a la inmóvil) puede expresarse como proporcional a la diferencia de concentración, como se muestra a continuación:

$$F_{m,i} = \frac{A_{m,i} D_m}{L_{m,i}} (c_i^k - c_{i,im}^k) = I V_i (c_{m,i}^k - c_{im,i}^k) \quad (4.14)$$

Donde $A_{m,i}$ representa al área específica de intercambio, D_m es el coeficiente de difusión molecular, y $L_{m,i}$ es la longitud característica del espesor de la zona inmóvil.

Para geometrías suaves puede considerarse que $\phi_{im} \approx A_{m,in} L_{m,in}$

Por lo tanto, este intercambio del flujo másico entre zonas, se puede expresar de la siguiente manera $I = \frac{A_{m,in} D_m}{L_{m,in}} = \frac{A_{m,in} L_{m,in} D_m}{L_{m,in} L_{m,in}} = \frac{\phi_{im} D_m}{L_{m,in}^2}$

4.8.2. Balance de masas en la zona inmóvil, esquema explícito

En la zona inmóvil sólo ocurre los procesos de degradación, partición e intercambio con la zona móvil. La ecuación del balance de masas queda definida de la siguiente manera:

$$\frac{V_i \beta_{im,i}}{\Delta t} (c_{im,i}^{k+1} - c_{im,i}^k) = -V_i \beta_{im,i} \lambda_{im,i} C_{im,i}^k + I V_i (c_{m,i}^k - c_{im,i}^k) \quad (4.15)$$

Despejando $c_{im,i}^{k+1}$ queda

$$c_{im,i}^{k+1} = c_{im,i}^k (1 - \lambda_{im,i} \Delta t) + \frac{I V_i \Delta t}{V_i \beta_{im,i}} (C_{m,i}^k - C_{im,i}^k) \quad (4.16)$$

4.8.3. Solución analítica para el balance de masas en la zona inmóvil

La ecuación del balance de masas queda definida de la siguiente manera para una solución analítica:

$$\beta_{im} \frac{dc_{im}}{dt} = -\beta_{im} \lambda_{im} c_{im} + I (c_m - c_{im}) \quad \text{ó} \quad \frac{dc_{im}}{dt} = -(\lambda_{im} + \frac{I}{\beta_{im}}) c_{im} + \frac{I}{\beta_{im}} c_m$$

Si se aproxima c_m entre t^k y t^{k+1} como $c_m = c_m^k + \frac{\Delta c_m}{\Delta t} t$

Donde $\Delta c_m = c_m^{k+1} - c_m^k$. El coeficiente $\alpha_{im} = \lambda_{im} + I/\beta_{im}$ es el inverso del tiempo característico. La solución se muestra en la expresión 4.17

$$c_{im}(t) = c_{im}^k e^{-\alpha_{im}t} + \frac{I}{\beta_{im,i}} \left[c_m^k \frac{1 - e^{-\alpha_{im}t}}{\alpha_{im}} + \frac{\Delta c_m}{\Delta t} \left(\frac{t}{\alpha_{im}} - \frac{1}{\alpha_{im}^2} (1 - e^{-\alpha_{im}t}) \right) \right] \quad (4.17)$$

Se puede verificar esta expresión

$$\frac{dc_{im}(t)}{dt} = -\alpha_{im} c_{im}^k e^{-\alpha_{im}t} + \frac{I}{\beta_{im,i}} \left[c_m^k e^{-\alpha_{im}t} + \frac{\Delta c_m}{\Delta t} \left(\frac{1}{\alpha_{im}} - \frac{e^{-\alpha_{im}t}}{\alpha_{im}} \right) \right]$$

$$\frac{dc_{im}(t)}{dt} = -\alpha_{im} c_{im}(t) + \frac{I}{\beta_{im,i}} \left[c_m^k (1 - e^{-\alpha_{im}t}) + \frac{\Delta c_m}{\Delta t} \left(t - \frac{1}{\alpha_{im}} (1 - e^{-\alpha_{im}t}) \right) \right] + \frac{I}{\beta_{im,i}} \left[c_m^k e^{-\alpha_{im}t} + \frac{\Delta c_m}{\Delta t} \left(\frac{1}{\alpha_{im}} - \frac{e^{-\alpha_{im}t}}{\alpha_{im}} \right) \right]$$

$$\frac{dc_{im}(t)}{dt} = -\alpha_{im} c_{im} + \frac{I}{\beta_{im,i}} \left(c_m^k + \frac{\Delta c_m}{\Delta t} t \right)$$

Evaluando en t^{k+1} , queda

$$c_{im}^{k+1} = c_{im}^k e^{-\alpha_{im}\Delta t} + \frac{I}{\beta_{im,i}} \left[c_m^k \frac{1 - e^{-\alpha_{im}\Delta t}}{\alpha_{im}} + \frac{c_m^{k+1} - c_m^k}{\Delta t} \left(\frac{\Delta t}{\alpha_{im}} - \frac{1}{\alpha_{im}^2} (1 - e^{-\alpha_{im}\Delta t}) \right) \right] \quad (4.18)$$

La ecuación 4.18 también se puede expresar de la siguiente manera:

$$c_{im}^{k+1} = c_{im}^k e^{-\alpha_{im}\Delta t} + \frac{I}{\Delta t \alpha_{im}^2 \beta_{im,i}} \left[c_m^k (1 - (1 + \Delta t \alpha_{im}) e^{-\alpha_{im}\Delta t}) + c_m^{k+1} (\Delta t \alpha_{im} - (1 - e^{-\alpha_{im}\Delta t})) \right]$$

Se pueden introducir los siguientes parámetros $A_{im} = (1 - (1 + \Delta t \alpha_{im}) e^{-\alpha_{im}\Delta t}) / \Delta t \alpha_{im}^2 \beta_{im,i}$ y $B_{im} = (\Delta t \alpha_{im} - (1 - e^{-\alpha_{im}\Delta t})) / \Delta t \alpha_{im}^2 \beta_{im,i}$ para simplificar la ecuación, quedando:

$$c_{im}^{k+1} = c_{im}^k e^{-\alpha_{im}\Delta t} + A_{im} c_m^k + B_{im} c_m^{k+1} \quad (4.19)$$

4.8.4. Solución centrada para el balance de masas de la zona inmóvil

Cuando "I" tiene un valor elevado, puede dar lugar a inestabilidades en el modelo numérico, por esto se plantea la formulación centrada, evaluando el término de intercambio en $t^{k+\theta}$

$$\frac{\beta_{im}(c_{im}^{k+1} - c_{im}^k)}{\Delta t} = -\beta_{im, \lambda_{im}} c_{im}^{k+\theta} + I (c_m^{k+\theta} - c_{im}^{k+\theta})$$

Definiendo los siguientes parámetros: $I_{Dim} = I \Delta t / \beta_{im,i}$; $a_{Dim} = \lambda_{im} \Delta t + I_{Dim}$ y aproximando $c_{im}^{k+\theta} = \theta c_{im}^{k+1} + (1 - \theta) c_{im}^k$, queda

$$c_{im}^{k+1} = \left(1 - \frac{a_{D,im}}{(1 + \theta a_{D,im})}\right) c_{im}^k + \frac{I_{Dim}}{(1 + \theta a_{D,im})} (\theta c_m^{k+1} + (1 - \theta) c_m^k) \quad (4.20)$$

Se pueden introducir los siguientes nuevos parámetros para tratar de simplificar la expresión anterior (4.20), $A_{im} = (1 - (1 - \theta) a_{Dim}) / (1 + \theta a_{Dim})$ y $B_{im} = I_{Dim} / (1 + \theta a_{D,im})$ resultando la ecuación:

$$c_{im}^{k+1} = A_{im} c_{im}^k + B_{im} (\theta c_m^{k+1} + (1 - \theta) c_m^k) \quad (4.21)$$

4.8.5. Solución centrada para el balance de masas de la zona móvil, con flujo explícito

En la zona móvil los procesos de flujo advectivo, flujo dispersivo, partición, desintegración e intercambio con la zona inmóvil dan lugar al transporte de solutos (Figura 4.1). La ecuación de balance de masas queda definida de la siguiente manera:

$$\frac{V_i \beta_m (c_m^{k+1} - c_m^k)}{\Delta t} = L(c_m^k) - V_i \beta_m \lambda_m c_m^{k+\theta} - I V_i (c_m^{k+\theta} - c_{im}^{k+\theta}) \quad (4.22)$$

Se analiza por separado el caso en el cual este término es tratado explícitamente y centrado.

Despejando c_m^{k+1}

$$c_m^{k+1} = \frac{L(c_m^k) \Delta t}{V_i \beta_m} + c_m^k - \lambda_{m,i} \Delta t c_m^{k+\theta} - \frac{I \Delta t}{\beta_m} (c_m^{k+\theta} - c_{im}^{k+\theta})$$

Introduciendo los términos $I_{Dm} = I \Delta t / \beta_m$; $a_{Dm} = \lambda_{m,i} \Delta t + I_{Dm} = \alpha_m \Delta t$, queda

$$c_m^{k+1} = \frac{L(c_m^k) \Delta t}{V_i \beta_m} + c_m^k - a_{Dm} (\theta c_m^{k+1} + (1 - \theta) c_m^k) + I_{Dm} (\theta c_{im}^{k+1} + (1 - \theta) c_{im}^k)$$

Introduciendo las siguientes expresiones con motivo de simplificar la ecuación (4.22)

$$A_{im} = (1 - (1 - \theta) a_{Dim}) / (1 + \theta a_{Dim}) \quad \text{y} \quad B_{im} = I_{Dim} / (1 + \theta a_{D,im})$$

$$c_m^{k+1} = \frac{L(c_m^k) \Delta t}{V_i \beta_m} + c_m^k - a_{Dm} (\theta c_m^{k+1} + (1 - \theta) c_m^k) + I_{Dm} (\theta (A_{im} c_{im}^k + B_{im} (\theta c_m^{k+1} + (1 - \theta) c_m^k)) + (1 - \theta) c_{im}^k)$$

$$c_m^{k+1} = \frac{L_D(c_m^k) + (1 - a_{Dm}(1 - \theta) + \theta(1 - \theta)I_{Dm}B_{im})c_m^k + I_{Dm}(\theta A_{im} + 1 - \theta)c_{im}^k}{(1 + \theta a_{Dm} + \theta^2 I_{Dm} B_{im})} \quad (4.23)$$

Definiendo $F = (1 + \theta a_{Dm} - \theta^2 I_{Dm} B_{im})$; $A_m = (1 - (1 - \theta)(a_{Dm} - \theta I_{Dm} B_{im}))/F$, y

$B_m = I_{Dm}(\theta A_{im} + 1 - \theta)/F$ resulta

$$c_m^{k+1} = \frac{L_D(c_m^k)}{F} + A_m c_m^k + B_m c_{im}^k \quad (4.24)$$

Para evaluar el impacto que considera a $L_D(c_m) = Q(c_{ex} - c_m)$. La ecuación de balance de masa queda:

$$\frac{V_i \beta_m (c_m^{k+1} - c_m^k)}{\Delta t} = Q(c_{ex} - c_m^{k+\theta}) - V_i \beta_m \lambda_m c_m^{k+\theta} - I V_i (c_m^{k+\theta} - c_{im}^{k+\theta})$$

Si siguiente el mismo procedimiento anterior para despejar c_m^{k+1} , se obtiene

$$c_m^{k+1} = Q_D(c_{ex} - c_m^{k+\theta}) + c_m^k - \left(\lambda_m + \frac{I}{\beta_m}\right) \Delta t c_m^{k+\theta} + \frac{I \Delta t}{\beta_m} c_{im}^{k+\theta} \quad (4.25)$$

Reemplazando $Q_D = Q \Delta t / V_i \beta_m$; $a_{Dm} = \lambda_m \Delta t + I \Delta t / \beta_m$ y $I_{Dm} = I \Delta t / \beta_m$

$$c_m^{k+1} = \frac{Q_D c_{ex} + (1 - (1 - \theta)(Q_D + a_{Dm} - \theta I_{Dm} B_{im}))c_m^k + I_{Dm}(\theta A_{im} + 1 - \theta)c_{im}^k}{(1 + \theta a_{Dm} + \theta Q_D - \theta^2 I_{Dm} B_{im})} \quad (4.26)$$

Definiendo los siguientes parámetros

$F = (1 + \theta a_{Dm} + \theta Q_D - \theta^2 I_{Dm} B_{im})$; $A_m = (1 - (1 - \theta)(Q_D + a_{Dm} - \theta I_{Dm} B_{im}))/F$, y

$B_m = I_{Dm}(\theta A_{im} + 1 - \theta)/F$

$$c_m^{k+1} = \frac{Q_D c_{ex}}{F} + A_m c_m^k + B_m c_{im}^k \quad (4.27)$$

4.9. ECUACIONES PROGRAMADAS

Las ecuaciones programadas en el modelo numérico, teniendo en consideración el balance de masa en los términos de transporte se despejan a partir de las ecuaciones (4.27) en la zona móvil, con una solución centrada y con flujo explícito.

La ecuación programada en la parte central de la zona móvil, queda de la siguiente manera, involucra las ecuaciones 4.9 y 4.27

$$c_{m,i}^{k+1} = \frac{\left[\frac{Q_D}{2} (c_{m,i-1}^k - c_{m,i+1}^k) + \left(\frac{\left(\frac{AD}{\Delta X}\right)_{i+\frac{1}{2}} (c_{m,i+1}^k - c_{m,i}^k) + \left(\frac{AD}{\Delta X}\right)_{i-\frac{1}{2}} (c_{m,i-1}^k - c_{m,i}^k) \right)}{\frac{V_i \beta_{m,i}}{\Delta t}} \right]}{F} + A_m c_m^k + B_m c_{im}^k \quad (4.28)$$

La ecuación programada para la primera celda, teniendo en cuenta las condiciones de borde, involucra las ecuaciones 4.10 y 4.27, queda definida como:

$$c_{m,1}^{k+1} = \frac{\left[\frac{Q_D}{2} (2c_b - c_{m,1}^k - c_{m,2}^k) + \left(\frac{\left(\frac{AD}{\Delta X}\right)_{1+\frac{1}{2}} (c_{m,2}^k - c_{m,1}^k) \right)}{\frac{V_1 \beta_{m,1}}{\Delta t}} \right]}{F} + A_m c_m^k + B_m c_{im}^k \quad (4.29)$$

La ecuación programada para última celda, involucra las ecuaciones 4.11 y 4.27

$$c_{m,i}^{k+1} = \frac{\left[\frac{Q_D}{2} (c_{m,N-1}^k - c_{m,N}^k) + \left(\frac{\left(\frac{AD}{\Delta X}\right)_{N-\frac{1}{2}} (c_{m,N-1}^k - c_{m,N}^k) \right)}{\frac{V_i \beta_{m,i}}{\Delta t}} \right]}{F} + A_m c_m^k + B_m c_{im}^k \quad (4.30)$$

Para la zona inmóvil del modelo numérico, la ecuación programada sigue el mismo criterio de todo lo descrito anteriormente siendo la ecuación (4.21)

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos a partir de los objetivos establecidos en el capítulo 1, se presentan los gráficos ordenados por trazadores, se pueden comparar las respuestas en las curvas de llegada y los parámetros determinados a partir del modelo numérico en los distintos sistemas de recarga artificial. Los resultados de los análisis realizados de los trazadores fluorescentes (Rodamina WT y Amino G) se muestran en el anejo 3 en tablas ordenadas por sistema de recarga (SAT T1- SAT T6), en estas tablas también se detallan los resultados de análisis de los demás trazadores utilizados en este capítulo.

5.1. CURVAS DE LLEGADA

Para la elaboración de las curvas de llegada se calcula el volumen recargado acumulado en (m^3) con los datos de los caudalímetros electromagnéticos ISOIL MS600 de cada sistema, estos registran el caudal y la hora de registro a lo largo de todo el ensayo. Cada muestra recolectada tiene un registro con la fecha y la hora exacta en el momento de su extracción, con estos datos se calcula el volumen recargado acumulado en el preciso momento de recolección de cada muestra y con los resultados de las concentraciones en unidades de (mg/l) para los trazadores Rodamina WT , Amino G y quelato de cobre EDTA y ($\mu g/l$) para los trazadores BTEX (Benceno , Tolueno, Etilbenceno y Orto-xileno) se grafican las curvas de llegada de cada trazador.

Es importante mencionar que en el día 18 de noviembre del 2021 se cerró la descarga de la depuradora y las bombas quedaron paralizadas durante aproximadamente un día y esto se ve reflejado en las curvas de llegada.

Los resultados de los análisis de las muestras de Rodamina WT se han obtenido con la recta de calibración de este trazador realizada en laboratorio.

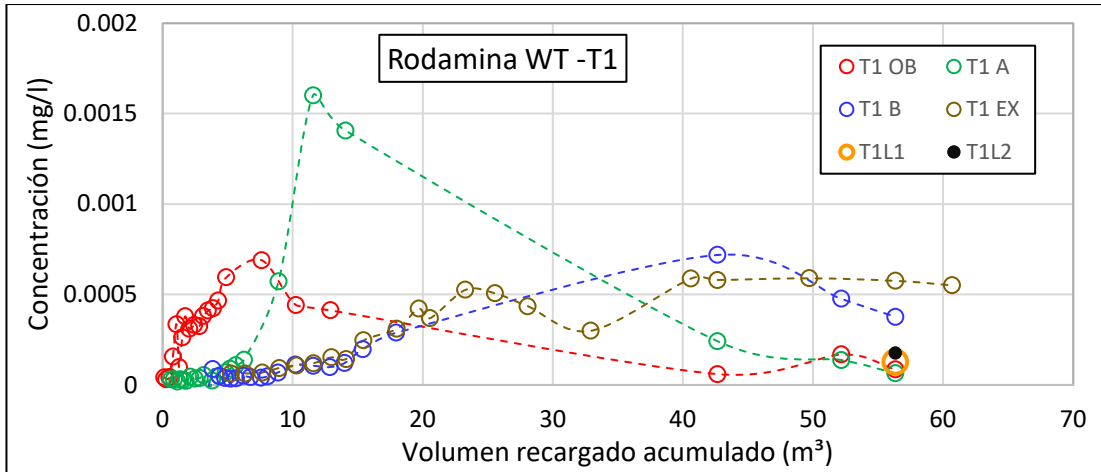


Figura 5.1: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T1

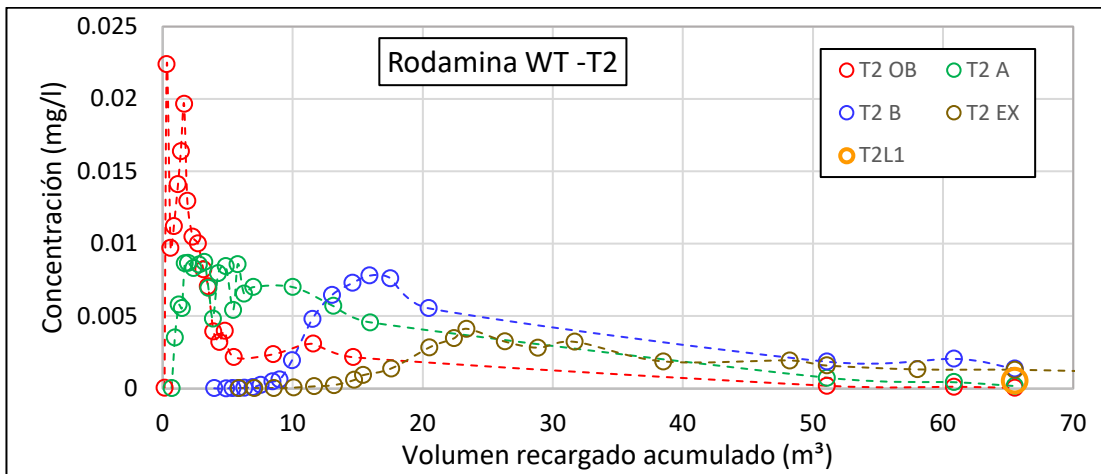


Figura 5.2: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T2

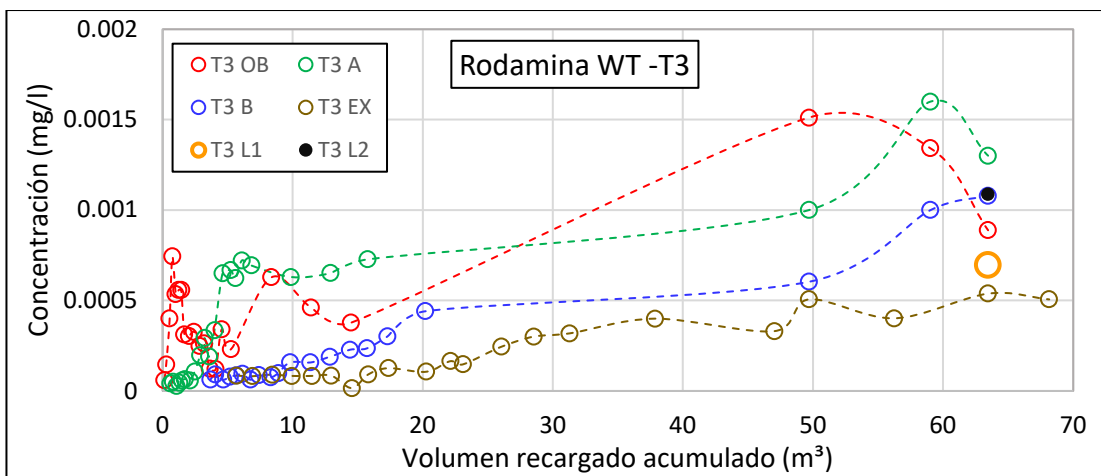


Figura 5.3: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT, SAT: T3

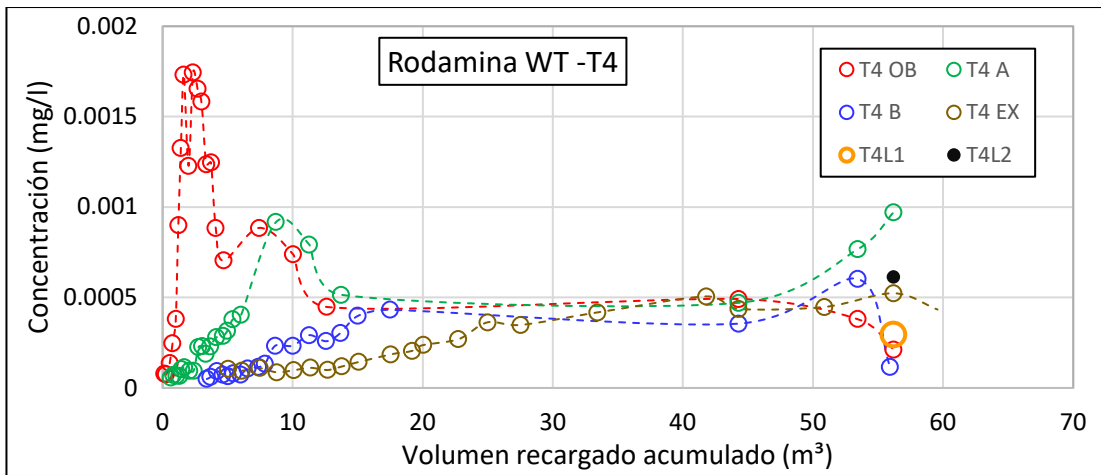


Figura 5.4: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T4

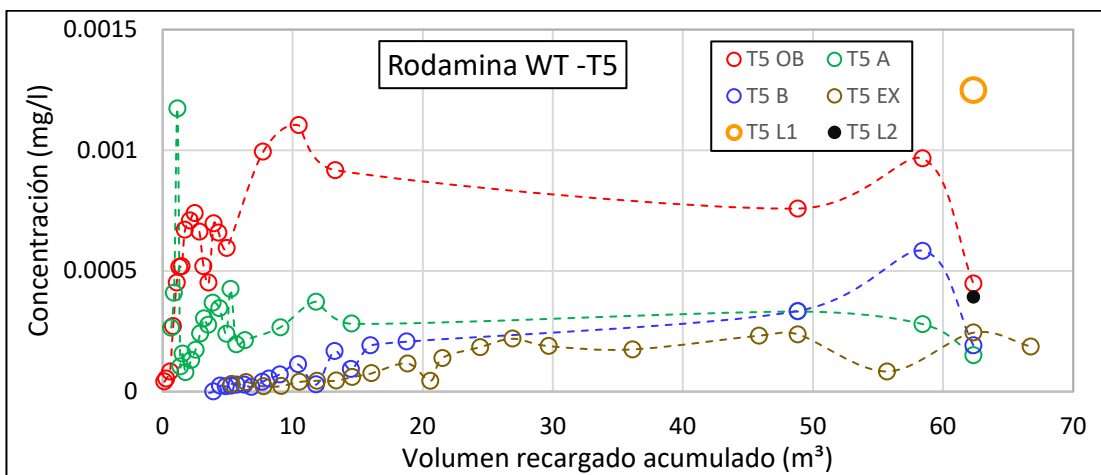


Figura 5.5: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T5

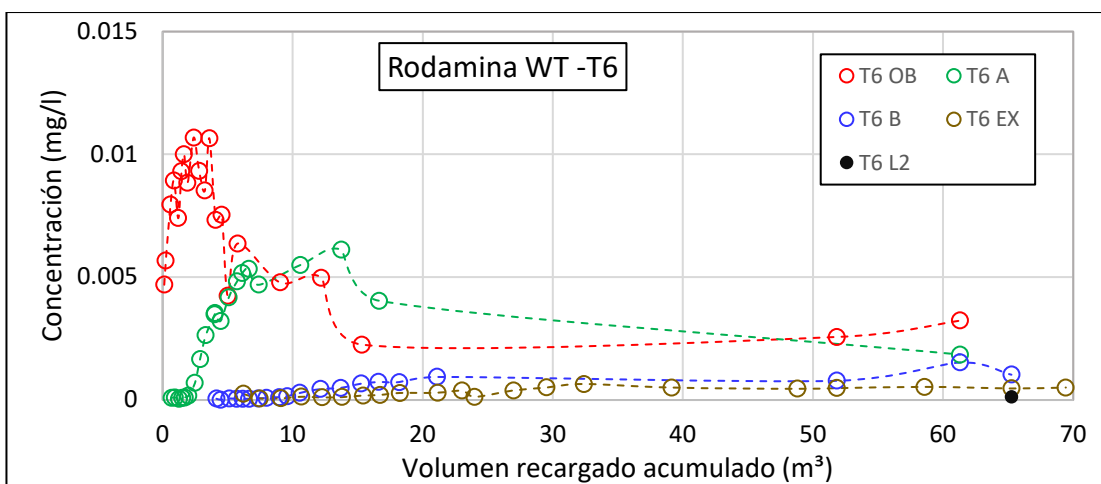


Figura 5.6: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Rodamina WT ,SAT: T6

Con las curvas de llegada en cada punto de muestreo se ha calculado una aproximación de la masa recuperada, calculando el área bajo la curva, los resultados para la Rodamina WT se muestran en la siguiente tabla. El SAT T2 (la barrera reactiva de este sistema tiene una composición completamente de arena) presentan los mayores valores de masa recuperada seguida por el sistema T6, posteriormente se puede establecer que en algunos trazadores el comportamiento de estos dos sistemas son similares.

Tabla 5.1: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para la Rodamina WT

Punto de muestro	Rodamina WT (gramos)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
O	0.015	0.117	0.057	0.030	0.051	0.206
A2	0.034	0.201	0.056	0.030	0.018	0.200
B2	0.022	0.209	0.031	0.019	0.016	0.050
Ex	0.023	0.109	0.019	0.019	0.009	0.026

Algunas muestras en el Amino G quedan fuera del rango de la recta de calibración, al presentar una señal en (mV) mayor comparada con la muestra de concentración máxima utilizada para la elaboración de recta de calibrado; estas muestras son seleccionadas para tenerlas en cuenta en un posterior tratamiento de datos.

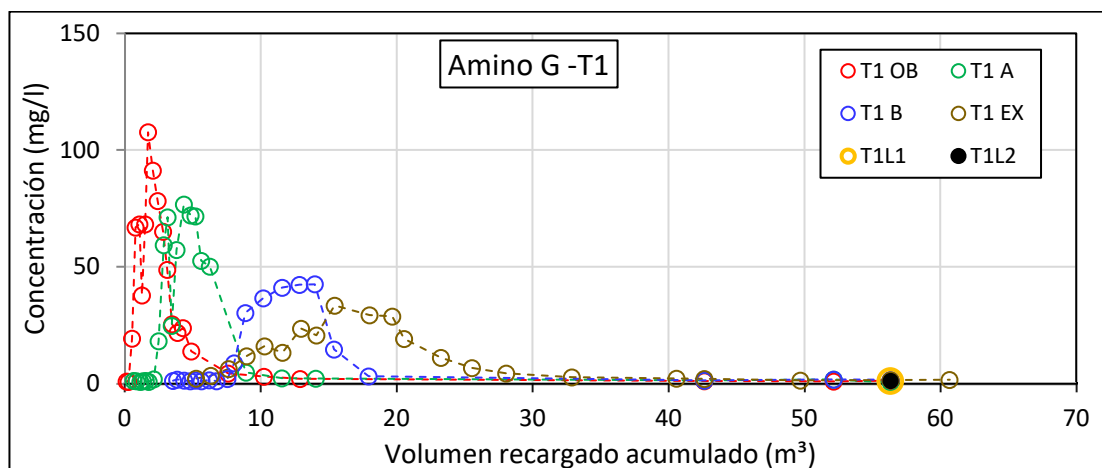


Figura 5.7: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T1

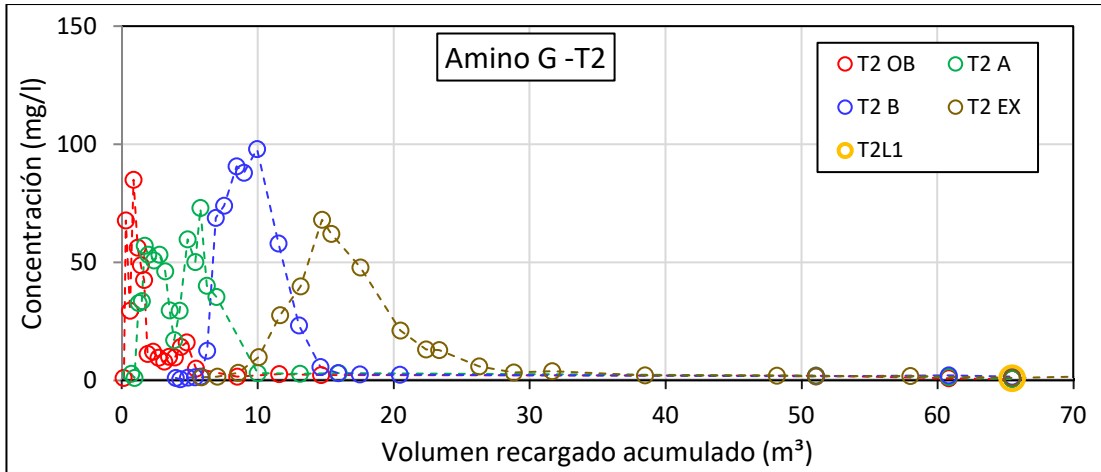


Figura 5.8: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T2

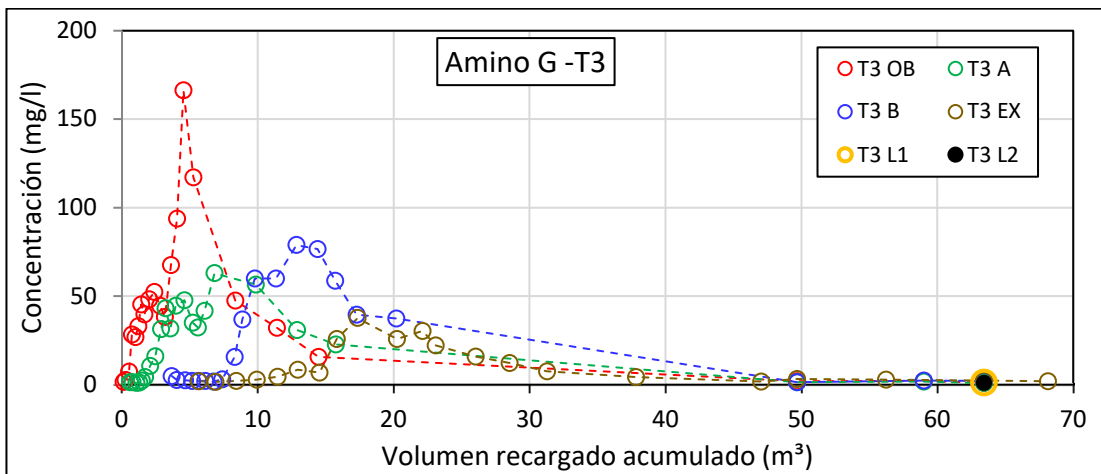


Figura 5.9: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T3

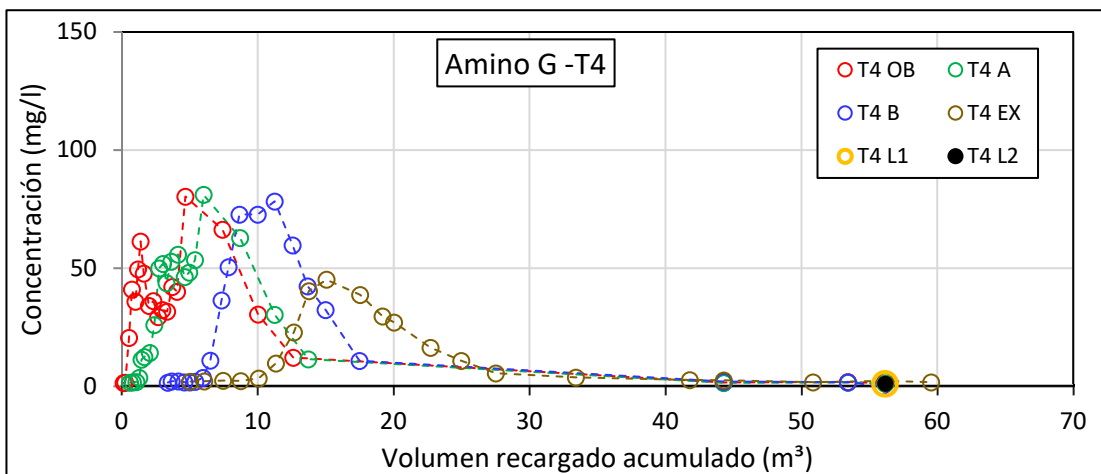


Figura 5.10: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T4

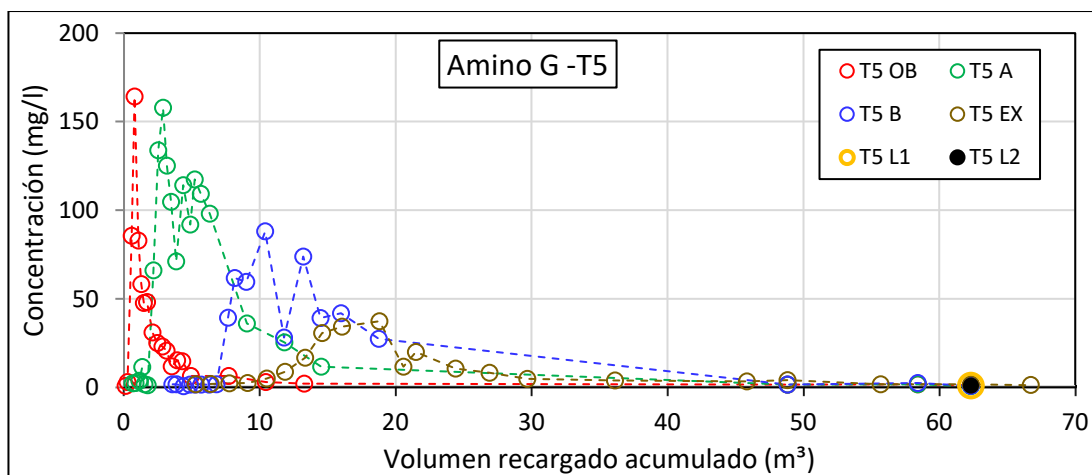


Figura 5.11: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T5

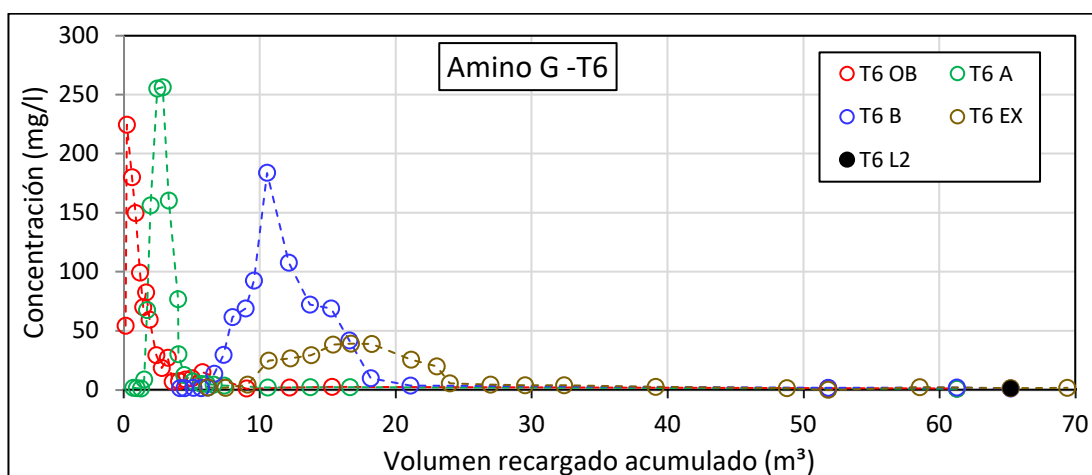


Figura 5.12: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Amino G ,SAT: T6

Se calcula la aproximación de la masa recuperada a partir de la geometría de cada curva, teniendo en cuenta que los valores de las concentraciones que están fuera de rango de la recta de calibrado coinciden con los picos de las curvas en los puntos A2 y B2 de los SAT T3 y SAT T5, la aproximación de estos resultados se hace más razonable, ya que la masa calculada en este caso sería inferior.

Tabla 5.2: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Amino G

Punto de muestra	Amino G (gramos)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
O	335.242	244.830	1119.084	794.487	300.473	427.901
A2	386.573	449.860	1010.013	786.210	1032.652	541.526
B2	369.827	604.047	1286.568	736.094	1047.784	1023.297
Ex	428.215	603.890	495.515	488.028	449.855	528.936

Para la elaboración de las curvas de los trazadores de BTEX se ha visto por conveniente establecer un valor a las concentraciones de las muestras que no han sido encontradas NF (Not Found), el valor asignado para estas muestras es de 0.0028 ($\mu\text{g/l}$). Se ha realizado este ajuste ya que se considera que estas concentraciones podrían estar por debajo del límite de detección, y al no incluirlas se estaría asumiendo un valor de 0.

Es importante mencionar que, durante el análisis de estos trazadores, el laboratorio ha establecido dos límites de detección (0.007 y 0.0014 $\mu\text{g/l}$), esto dependiendo del día en que han sido analizadas las muestras, ya que han utilizado dos mínimos distintos de líneas de calibración, a pesar de que esto se realizó con una técnica estandarizada de laboratorio.

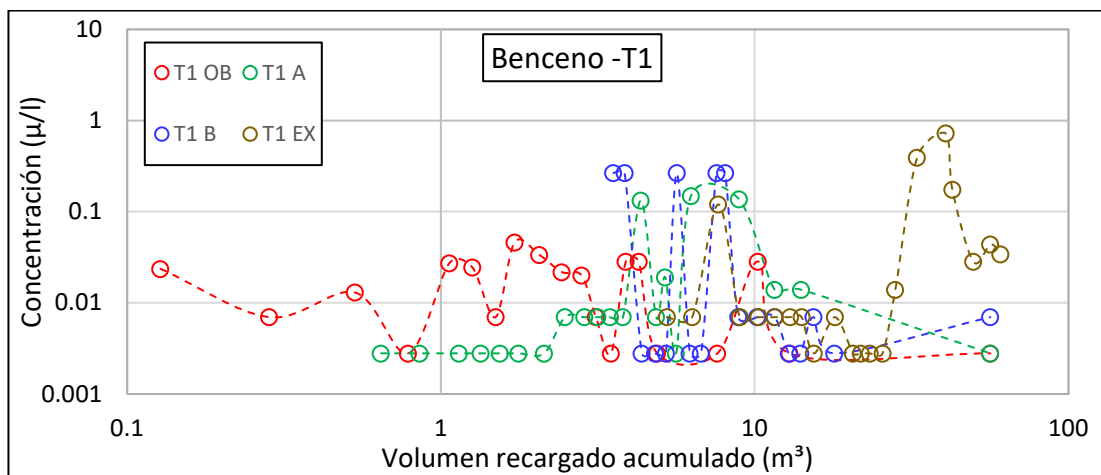


Figura 5.13: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T1

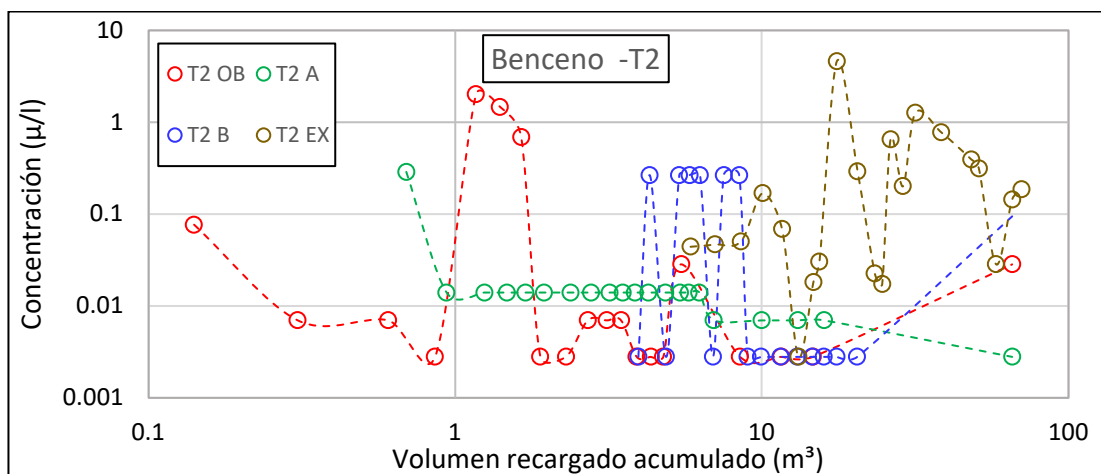


Figura 5.14: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T2

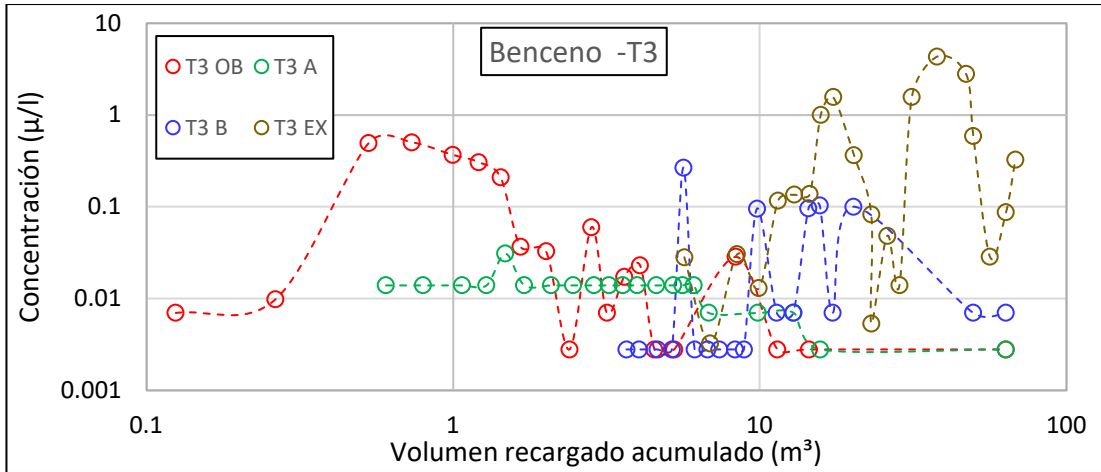


Figura 5.15: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T3

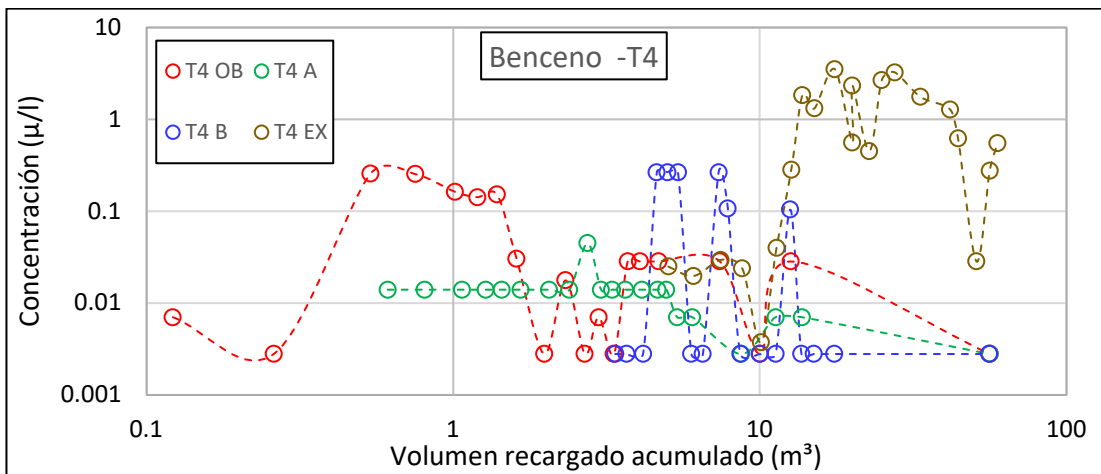


Figura 5.16: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T4

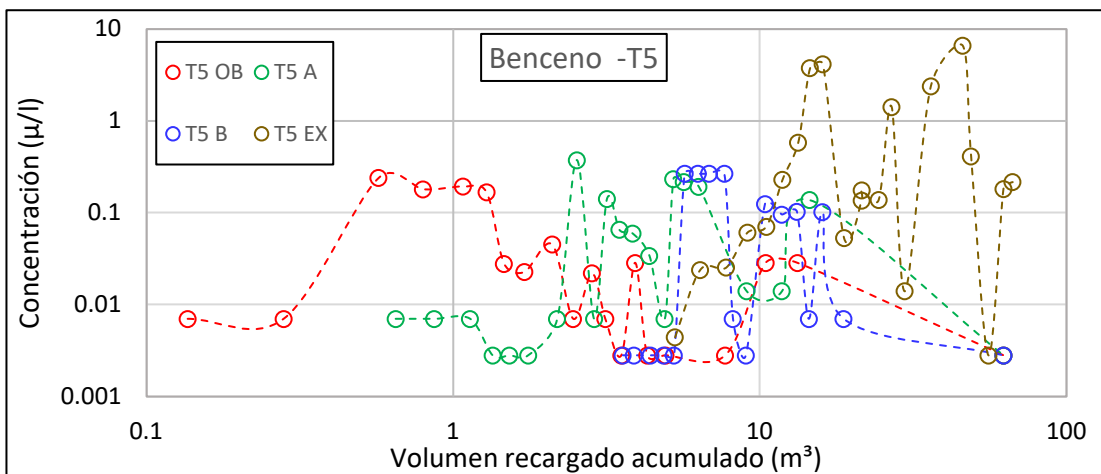


Figura 5.17: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T5

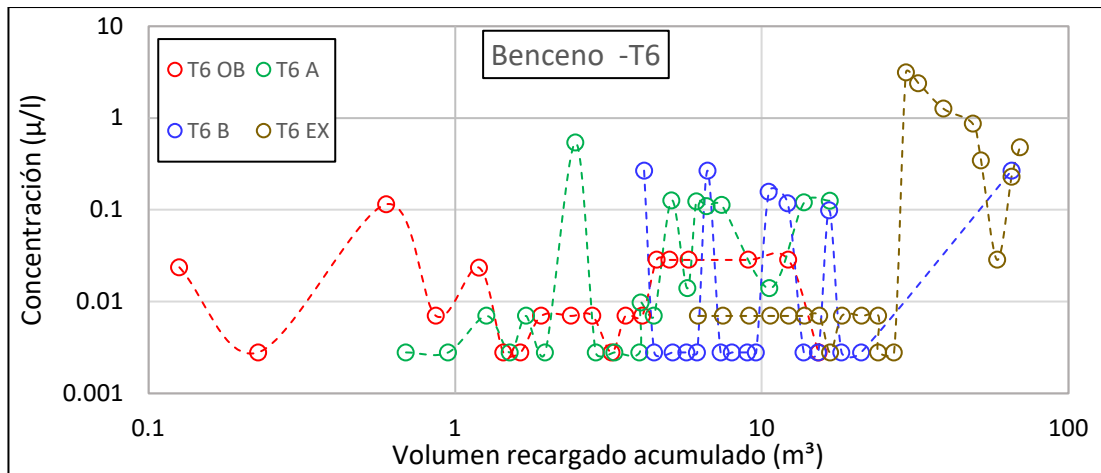


Figura 5.18: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Benceno ,SAT: T6

La Tabla 5.3 muestra que, en el punto de muestreo en el oblicuo, el SAT T2 es el que presenta la mayor cantidad de masa recuperada respecto a los otros, y la que tiene menor cantidad de masa recuperada es el SAT T1 en este mismo punto de muestreo. En el oblicuo se muestrea el agua que acaba de atravesar la barrera reactiva.

En el punto de muestreo de la zona de descarga EX, el cual muestrea el agua recolectada que ha circulado todo el sistema a distintas velocidades, el SAT T5 presenta la mayor cantidad de masa recuperada y el SAT T1 con la menor cantidad. La comparación de estos valores es dan una primera aproximación de que tanta masa de trazador se ha degradado por la barrera reactiva y en el acuífero que atraviesan para el caso de los trazadores BTEX.

Tabla 5.3: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Benceno

Punto de muestro	Benceno (miligramos)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
O	0.304	1.966	0.751	1.114	1.145	0.340
A2	1.119	0.525	0.282	0.335	4.421	1.289
B2	1.350	3.162	2.411	0.863	1.566	7.265
Ex	7.638	33.423	69.178	63.729	84.656	40.015

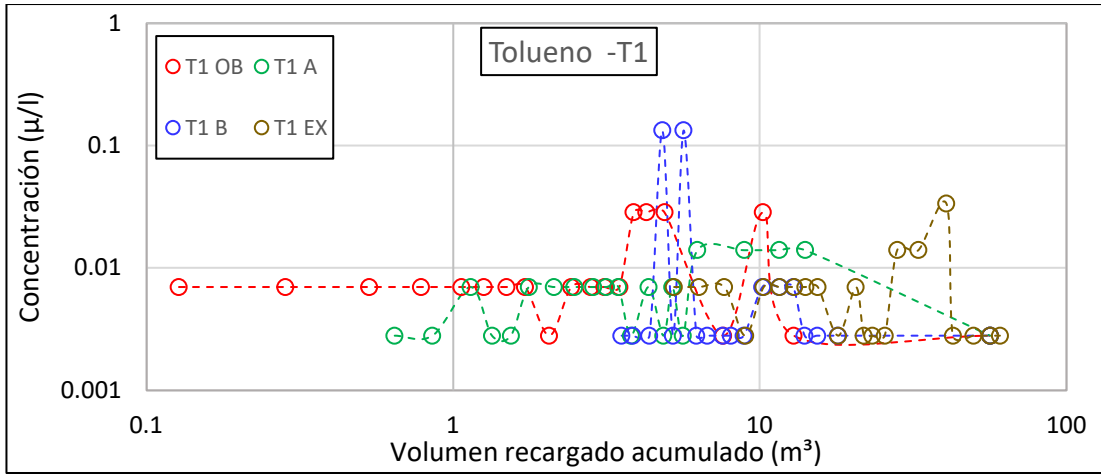


Figura 5.19: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T1

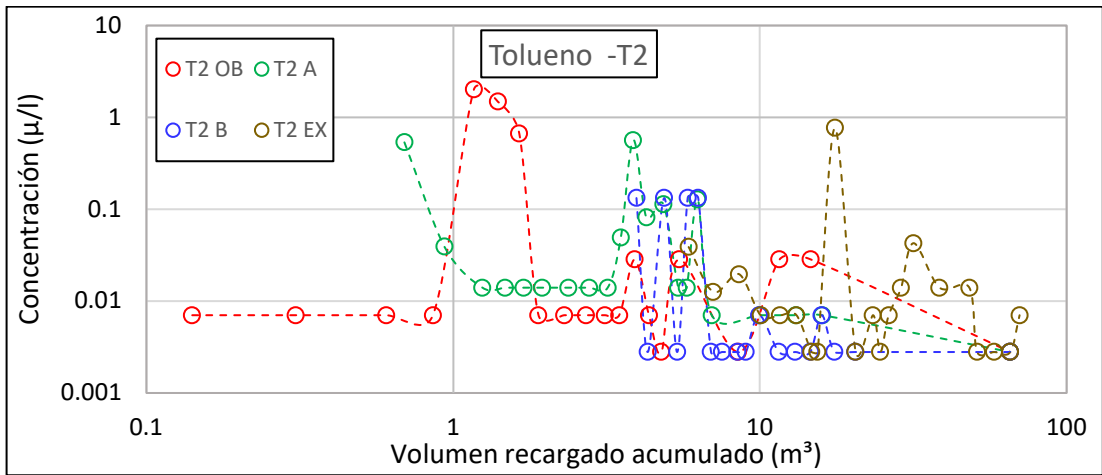


Figura 5.20: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T2

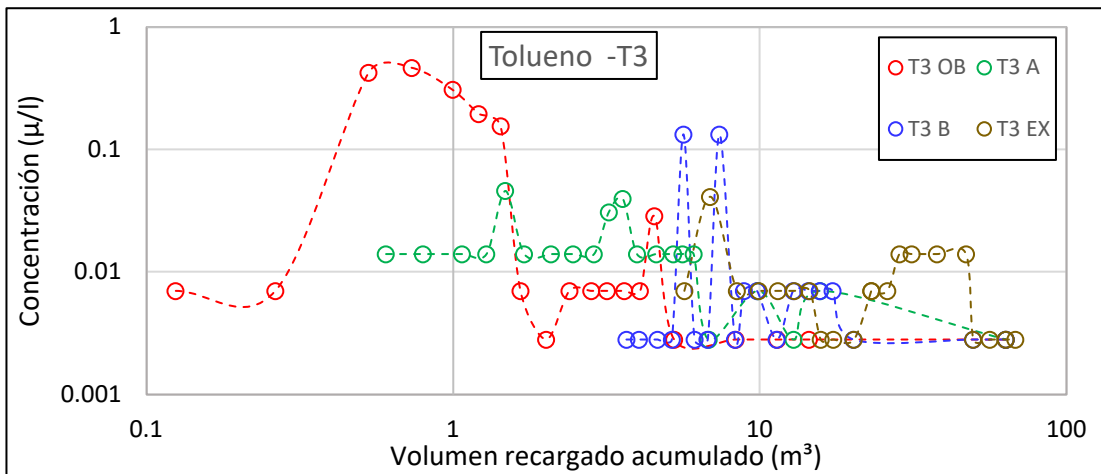


Figura 5.21: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T3

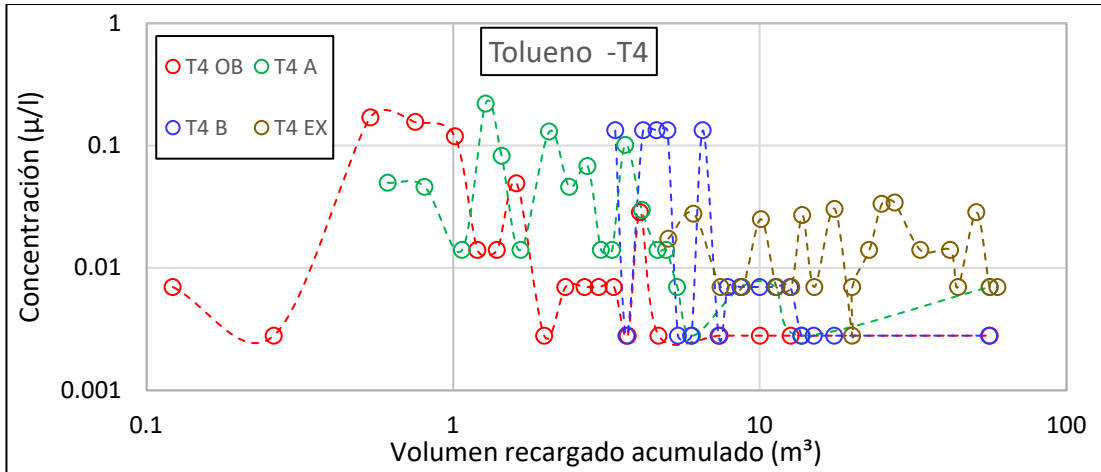


Figura 5.22: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T4

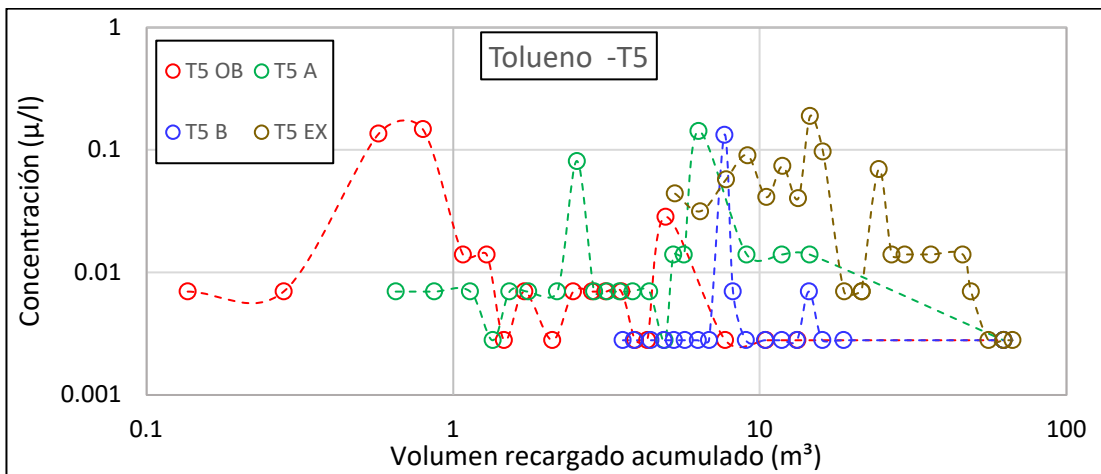


Figura 5.23: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T5

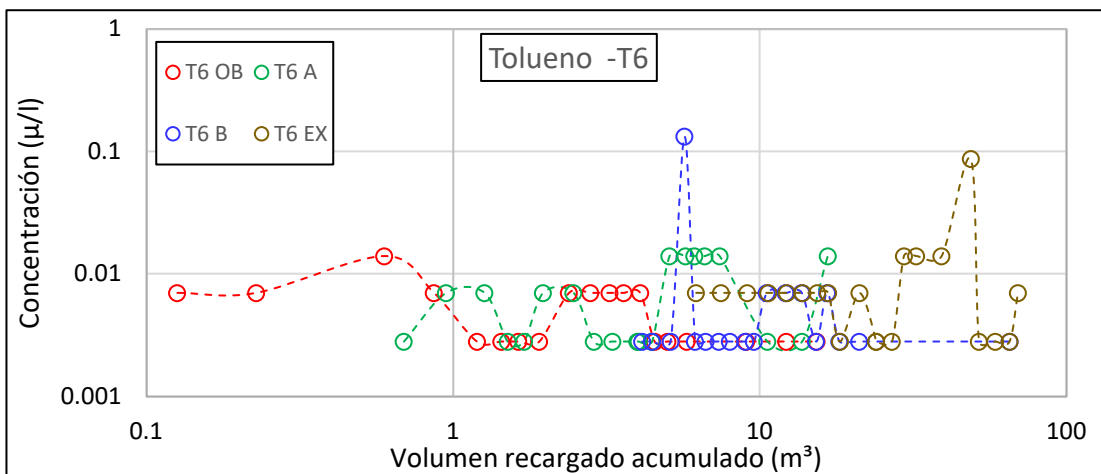


Figura 5.24: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Tolueno ,SAT: T6

Para el Tolueno en el punto de muestreo O, el que tiene mayor cantidad de masa recuperada es el SAT T2 y con menor cantidad el T6, en el punto de muestreo EX el SAT T2 muestra el mismo comportamiento con la mayor cantidad de masa recuperada y el SAT T1 con la menor cantidad.

Tabla 5.4: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Tolueno

Punto de muestreo	Tolueno (miligramos)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
O	0.305	2.089	0.559	0.297	0.303	0.058
A2	0.498	1.023	0.387	0.511	0.809	0.115
B2	0.289	0.671	0.371	0.671	0.266	0.269
Ex	0.485	2.747	0.541	0.967	1.668	0.977

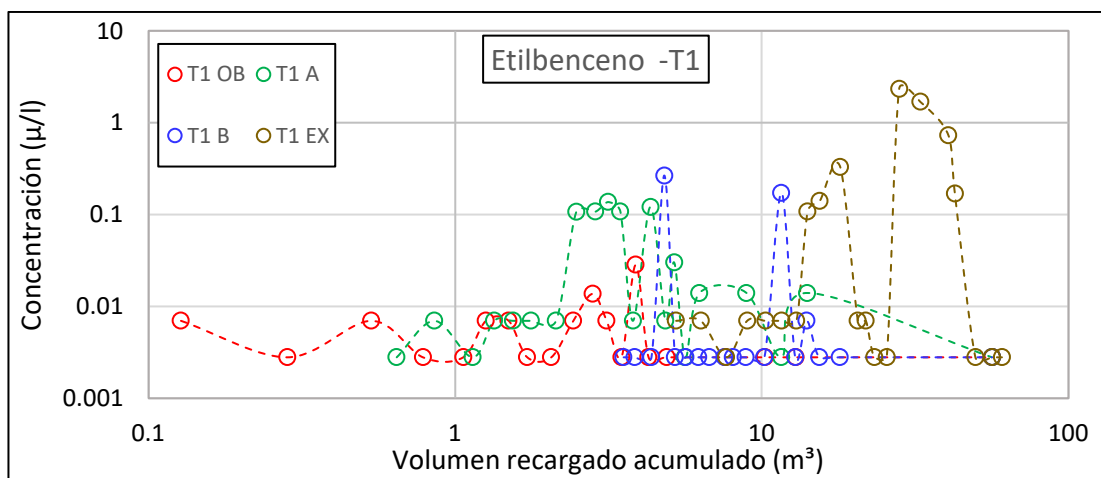


Figura 5.25: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T1

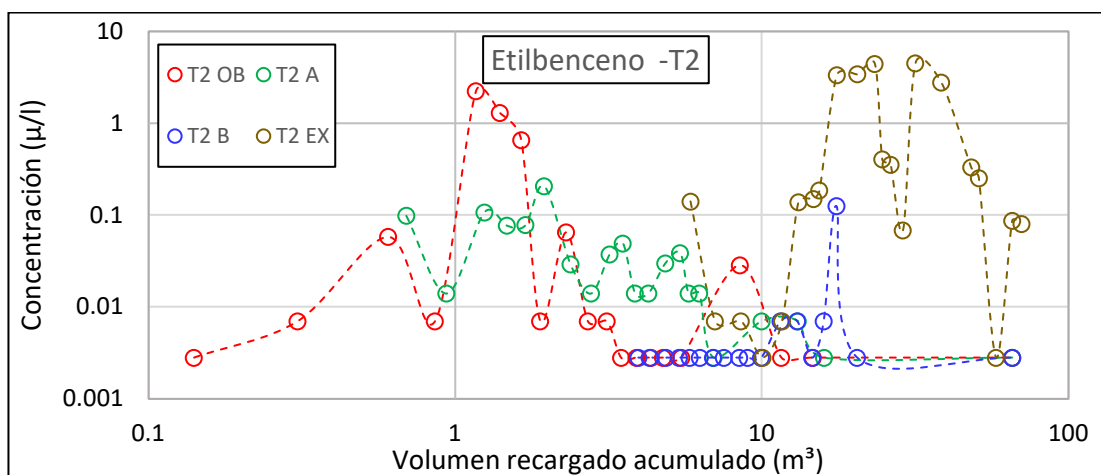


Figura 5.26: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T2

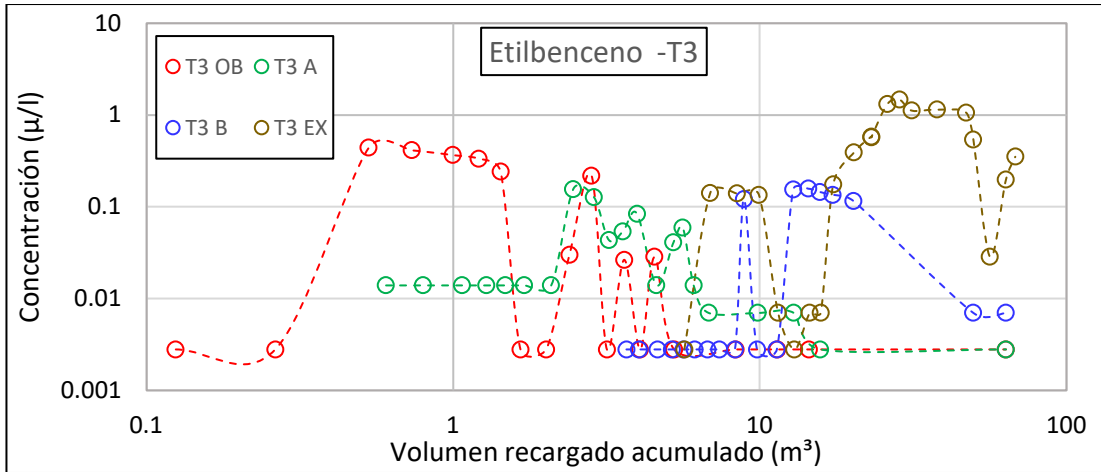


Figura 5.27: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T3

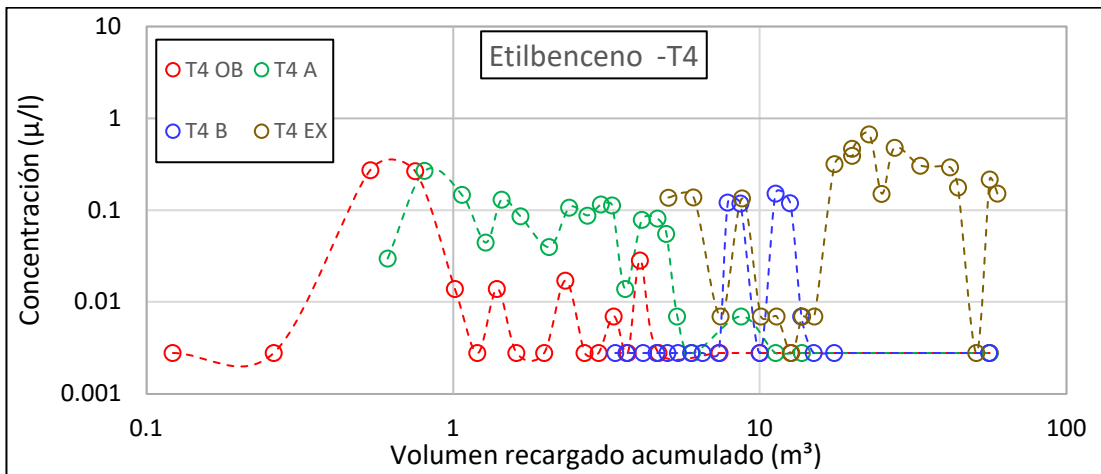


Figura 5.28: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T4

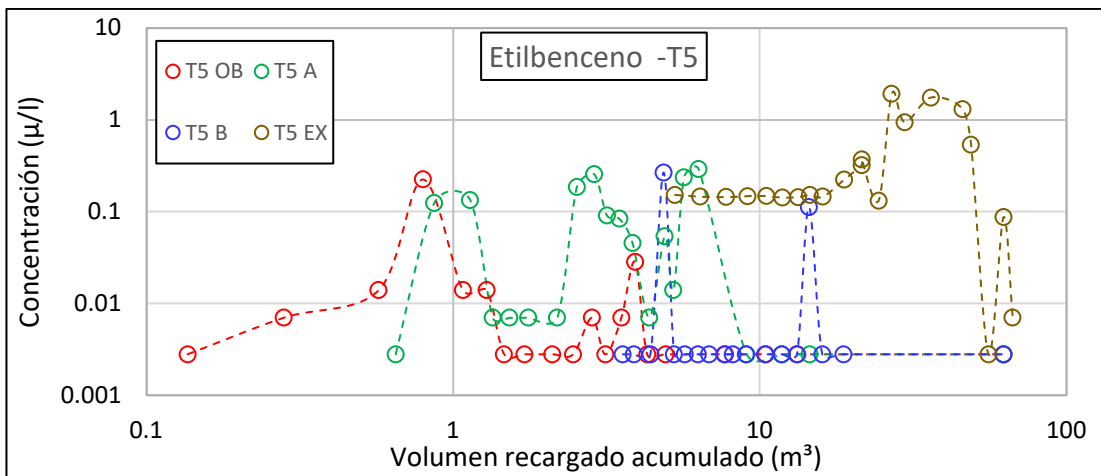


Figura 5.29: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T5

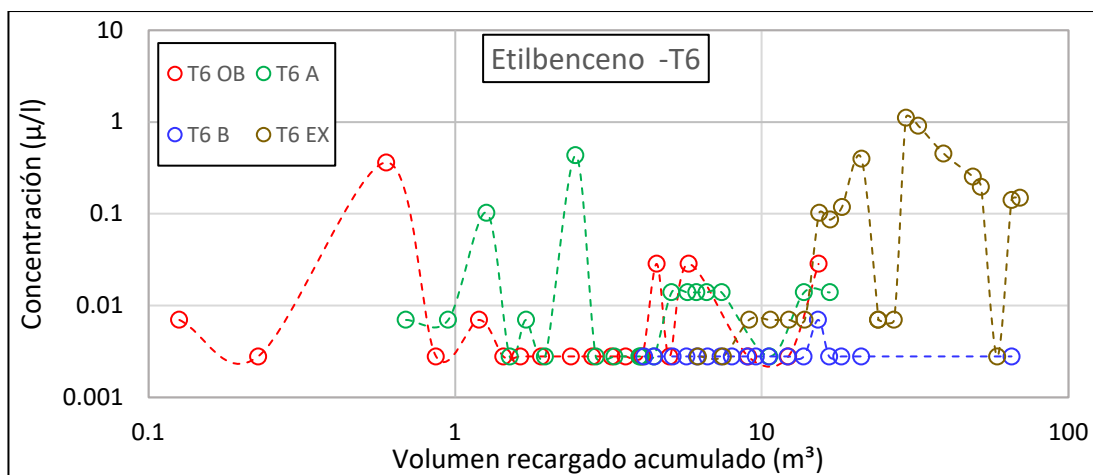


Figura 5.30: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Etilbenceno ,SAT: T6

Para el Etilbenceno en el punto de muestreo O, el que tiene mayor cantidad de masa recuperada es el SAT T2 y con menor cantidad el T6, en el punto de muestreo EX el SAT T2 muestra el mismo comportamiento con la mayor cantidad de masa recuperada y el SAT T4 con la menor cantidad.

Tabla 5.5: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Etilbenceno

Punto de muestro	Etilbenceno (miligramos)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
O	0.178	1.383	0.709	0.310	0.252	0.263
A2	0.685	0.485	0.472	0.569	1.102	0.371
B2	0.495	0.476	3.164	0.691	0.433	0.183
Ex	24.961	79.159	36.475	12.588	39.078	16.544

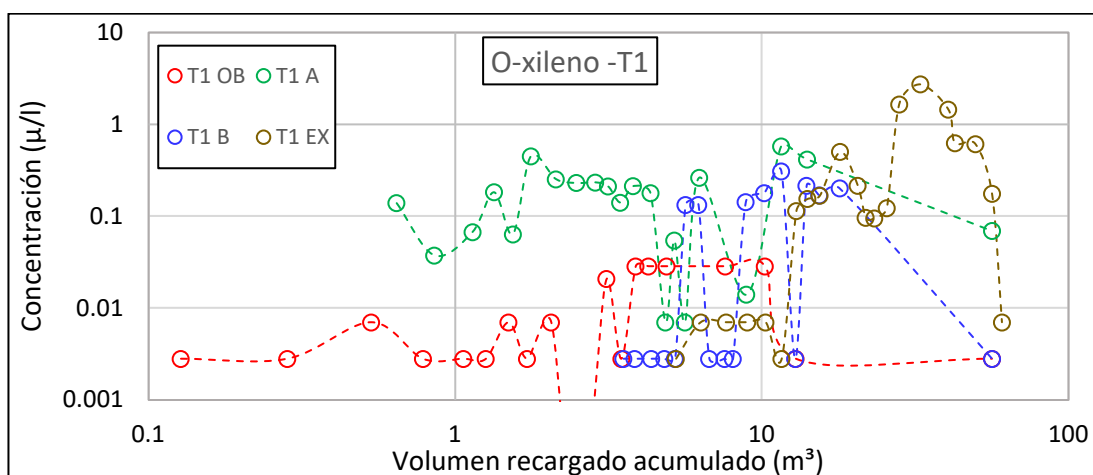


Figura 5.31: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T1

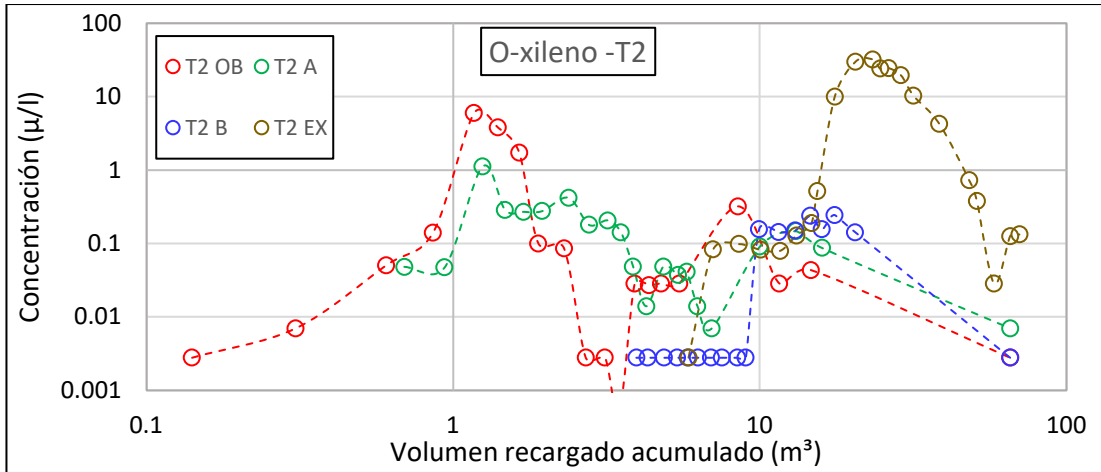


Figura 5.32: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T2

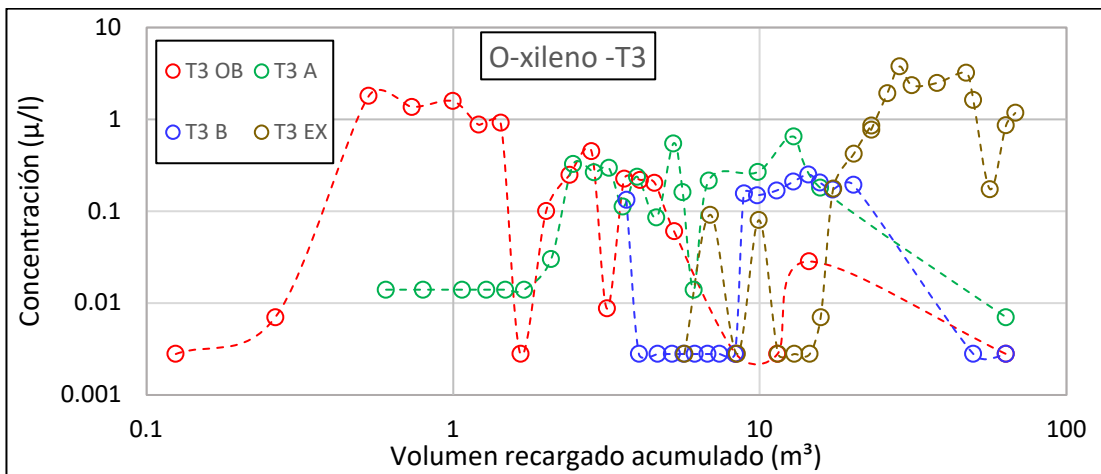


Figura 5.33: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T3

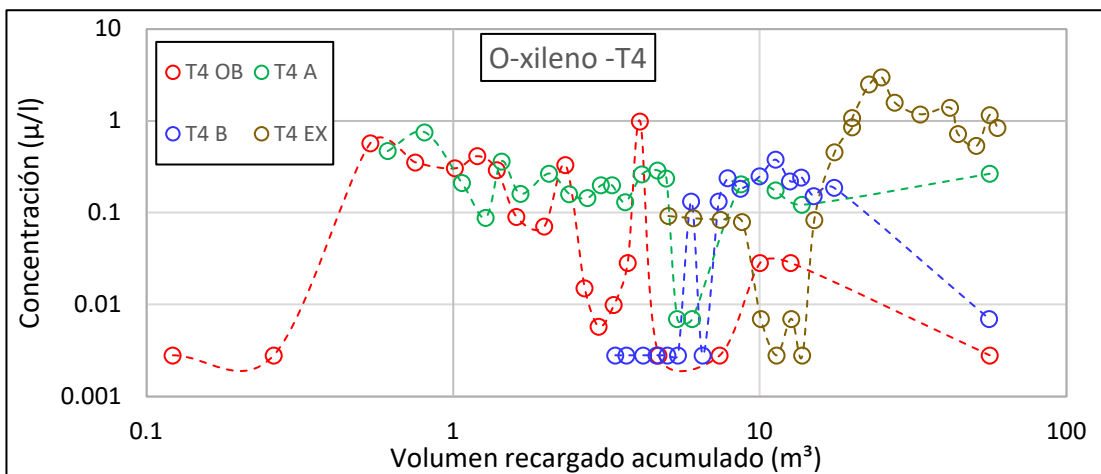


Figura 5.34: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T4

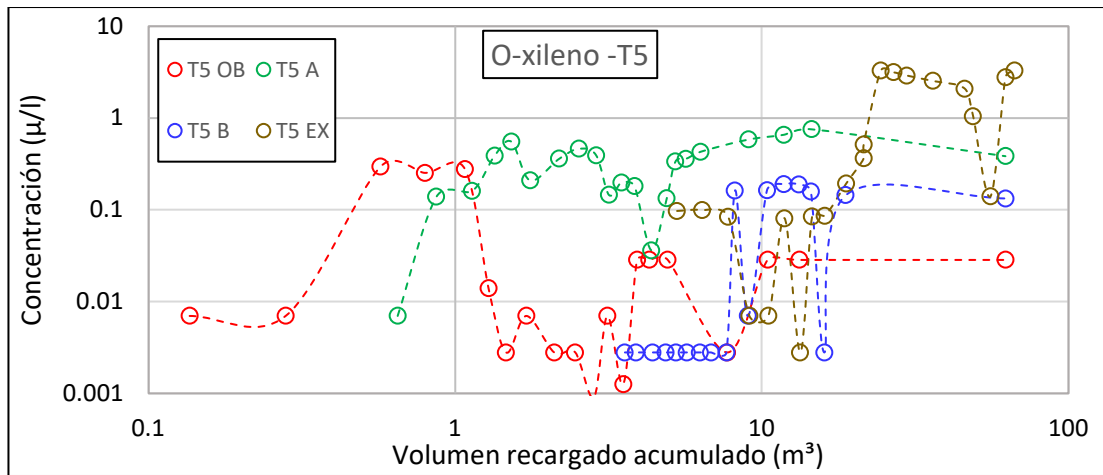


Figura 5.35: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T5

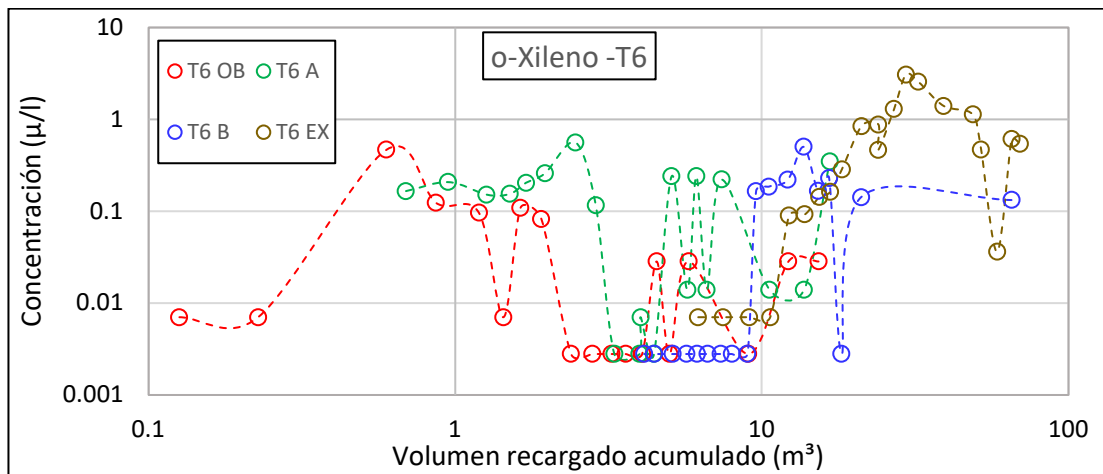


Figura 5.36: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador O-xileno ,SAT: T6

Para el Orto-xileno en el punto de muestreo O, el que tiene mayor cantidad de masa recuperada es el SAT T2 y con menor cantidad el T1, en el punto de muestreo EX el SAT T2 muestra el mismo comportamiento con la mayor cantidad de masa recuperada y el SAT T1 con la menor cantidad.

Tabla 5.6: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Orto-xileno

Punto de muestro	O xileno (miligramos)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
O	0.368	5.471	3.101	1.903	1.821	0.497
A2	13.583	4.215	8.790	10.636	33.735	1.984
B2	5.751	5.279	5.423	6.155	7.352	8.387
Ex	41.309	411.476	85.597	53.373	95.688	55.701

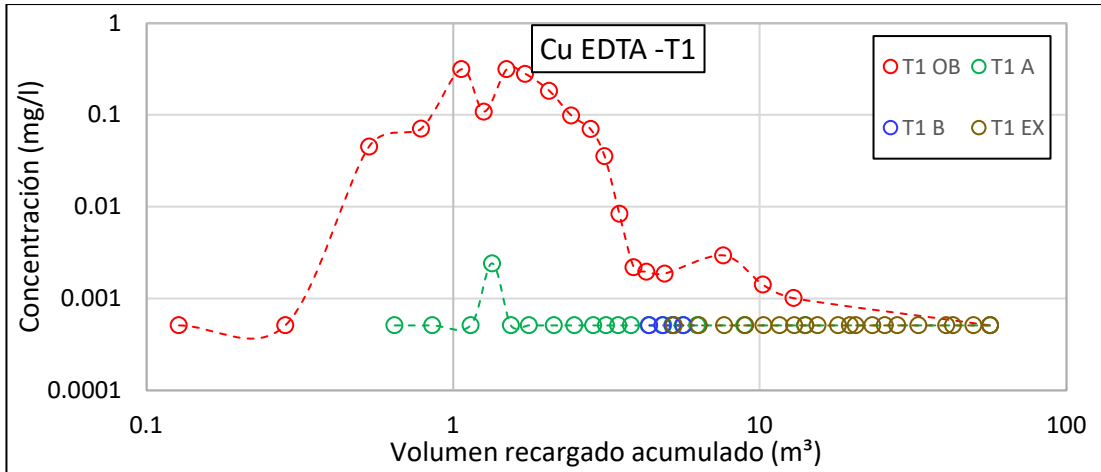


Figura 5.37: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T1

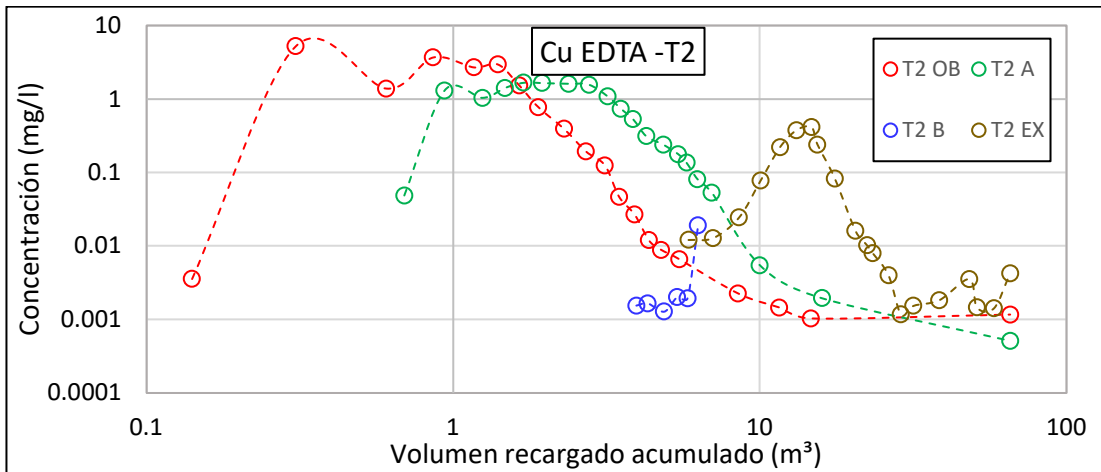


Figura 5.38: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T2

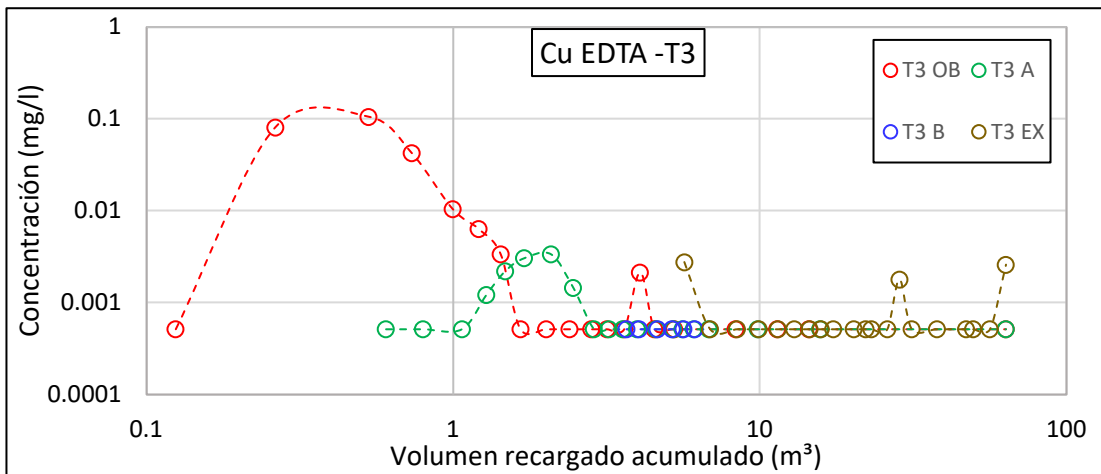


Figura 5.39: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T3

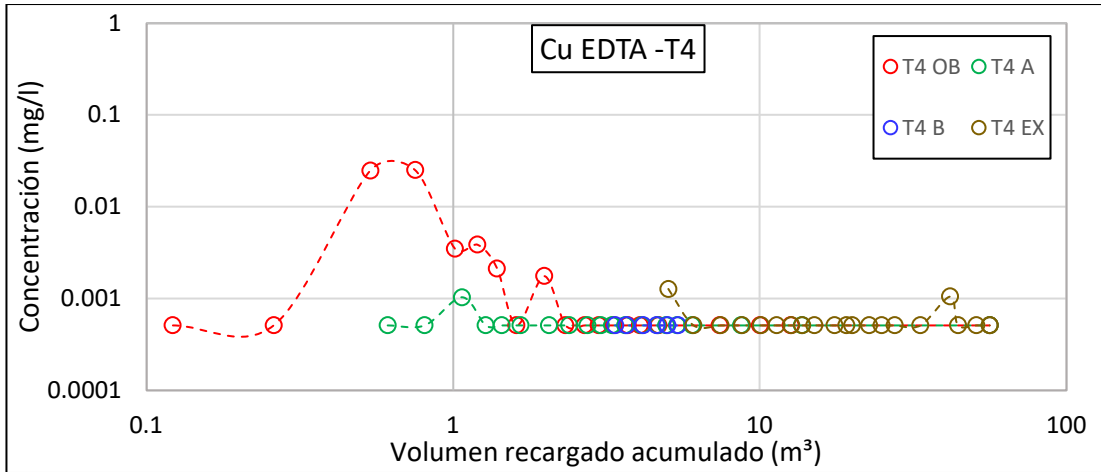


Figura 5.40: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T4

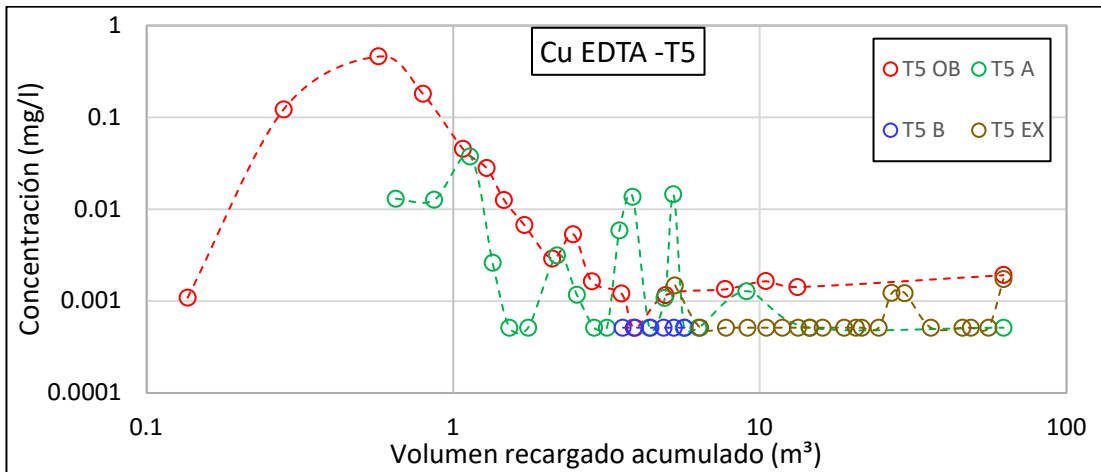


Figura 5.41: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T5

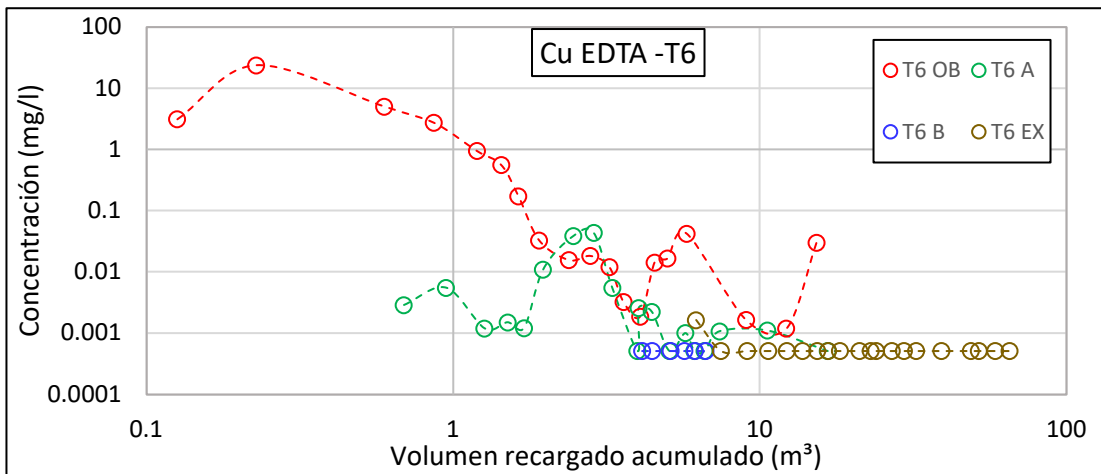


Figura 5.42: Curva de llegada de concentración vs volumen recargado, trazador Cu EDTA ,SAT: T6

Para el Quelato de cobre en el punto de muestreo O, el que tiene mayor cantidad de masa recuperada es el SAT T6 y con menor cantidad el T4, en el punto de muestreo EX el SAT T2 muestra la mayor cantidad de masa recuperada y el SAT T1 con la menor cantidad.

Tabla 5.7: Cálculo de la masa recuperada a partir de las curvas de llegada, para el Cu EDTA

Punto de muestro	Cu EDTA (gramos)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
O	0.471	5.113	0.088	0.043	0.312	9.691
A2	0.029	4.760	0.035	0.029	0.067	0.059
B2	0.002	0.011	0.002	0.002	0.002	0.002
Ex	0.028	2.317	0.050	0.033	0.043	0.036

5.2. CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS

Con el modelo numérico establecido en el capítulo 4, se realiza una determinación con los parámetros más relevantes que condicionan el transporte reactivo de los solutos, el primer parámetro calibrado es la capacidad de almacenamiento en la zona móvil e inmóvil " β ", este involucra el coeficiente de distribución k_d , ya que se considera a la capacidad de almacenamiento como la multiplicación del retardo R y la porosidad. El segundo parámetro calibrado es la constante de desintegración " λ " (1/d) para la zona móvil e inmóvil. El tercer parámetro calibrado es el intercambio de flujo másico de ambas zonas "I" (m^2/d).

En las figuras mostradas en la calibración, los puntos representan los datos de las curvas de llegada (obtenidas con las muestras procesadas) y las líneas continuas las curvas con el ajuste de los tres parámetros calibrados.

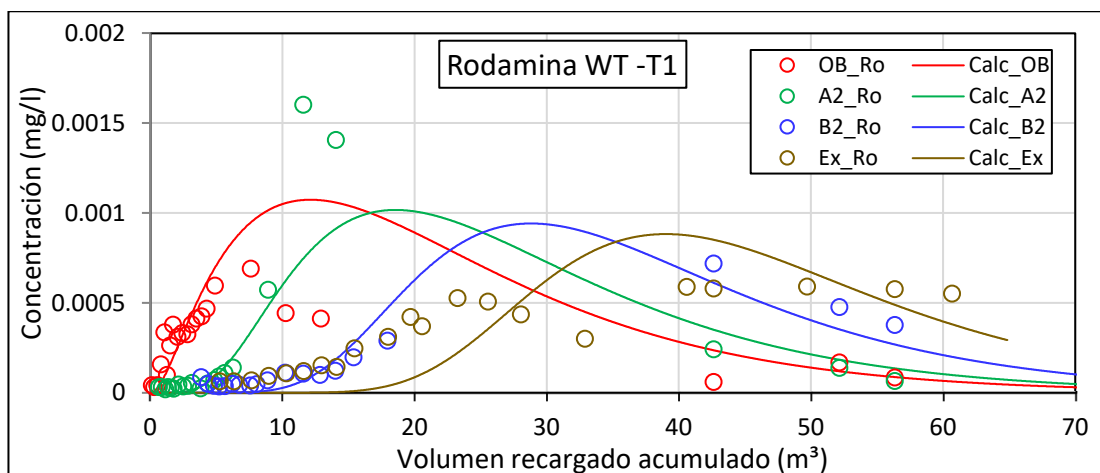


Figura 5.43: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T1

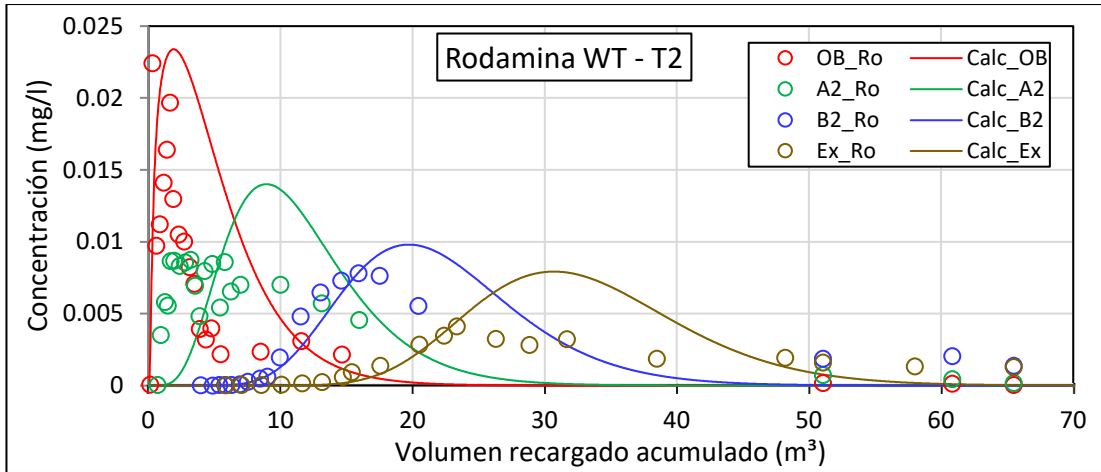


Figura 5.44: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T2

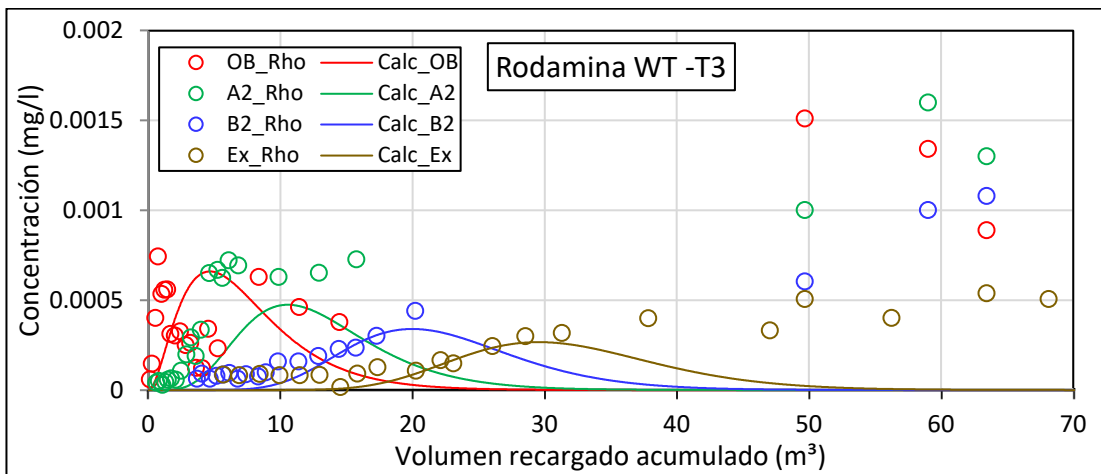


Figura 5.45: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T3

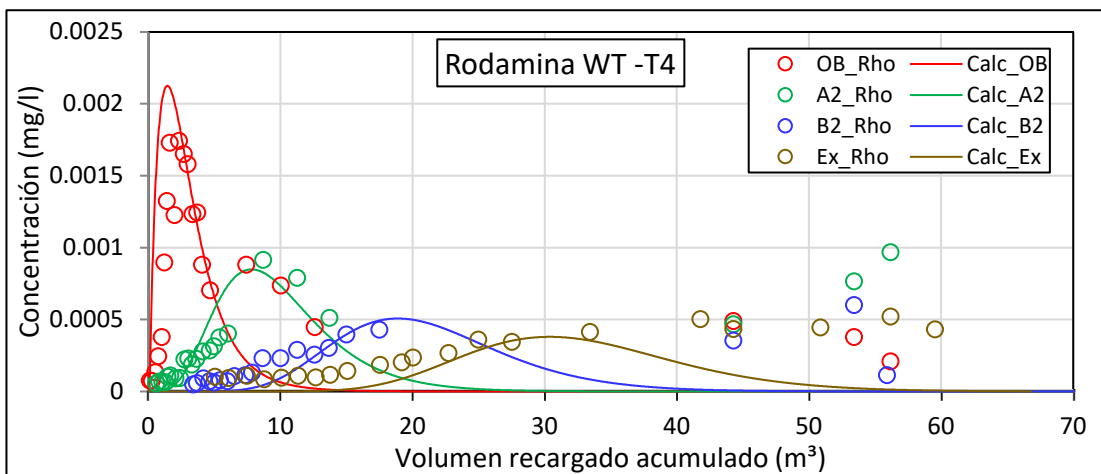


Figura 5.46: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T4

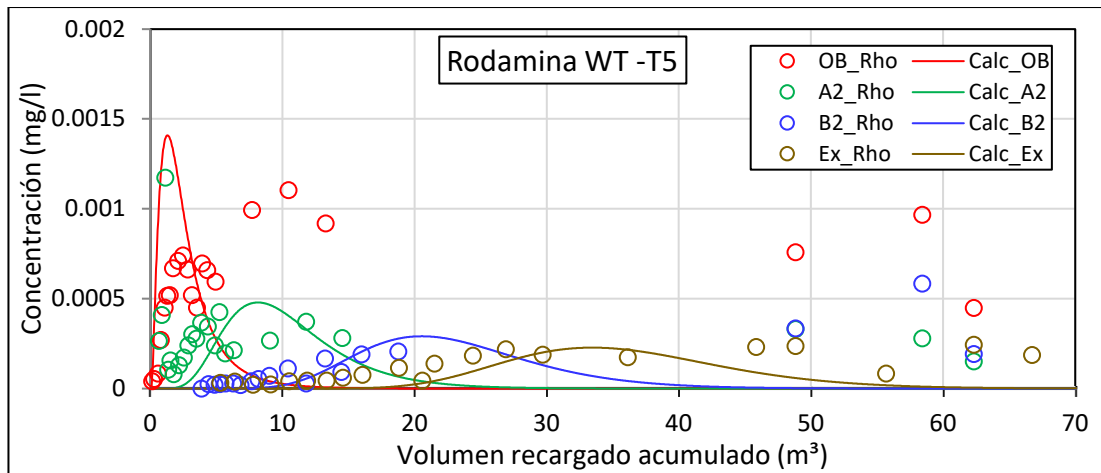


Figura 5.47: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T5

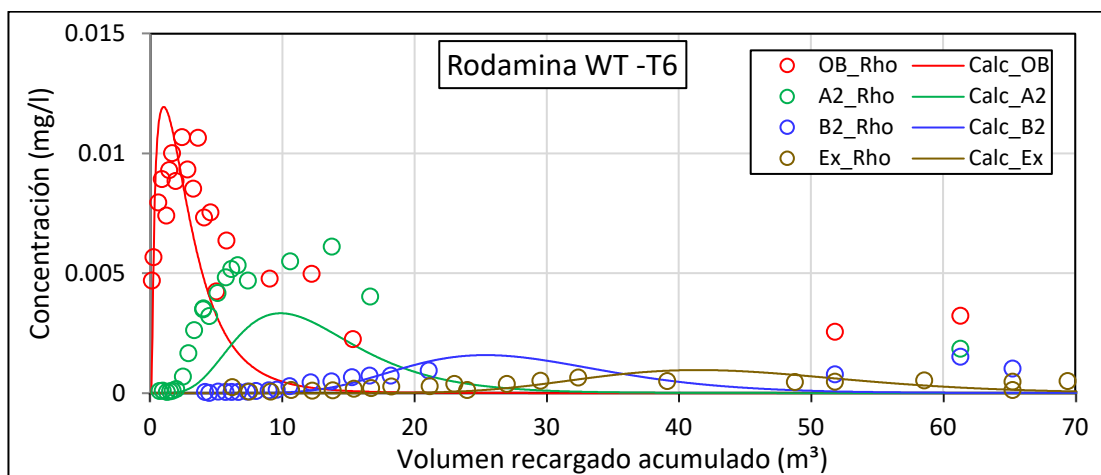


Figura 5.48: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Rodamina WT ,SAT: T6

La calibración de parámetros se ha realizado en una hoja Excel, programando las ecuaciones del apartado 4.9, utilizando el complemento Solver de Microsoft Excel, que calcula un valor óptimo para una determinada fórmula en una celda, se calculan en una primera instancia los valores de los parámetros y se va ajustando luego valores con un mayor sentido físico.

Se ha realizado una suma residual de cuadrados (SSE) para cada curva en todos los puntos de muestreo de todos los trazadores, para tener una medida de discrepancia entre los datos (curvas de llegada) y nuestro modelo de estimación. Para calcular el error en cada estimación realizada con el modelo, se ha considerado un factor de peso para cada medida, se calcula el error multiplicando el peso con la diferencia del valor estimado y el dato.

Los valores de la suma residual mostrados en las siguientes tablas es la suma de estos valores de cada curva.

Tabla 5.8: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para la Rodamina WT

Rodamina WT												
Parámetros calibrados	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	SSE	50.553	SSE	76.844	SSE	123.278	SSE	66.484	SSE	76.571	SSE	53.403
	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero
$\beta_{m\acute{o}vil}$	38.574	0.253	0.707	0.354	27.963	0.230	3.365	0.150	3.174	0.860	0.522	0.846
$\beta_{inm\acute{o}vil}$	6.109	0.427	4.215	0.421	0.339	0.449	2.670	0.671	1.497	0.053	4.337	0.338
l	3.775	3.601	3.586	3.780	3.988	3.379	3.960	3.567	4.240	3.533	3.289	4.000
$\lambda_{m\acute{o}vil}$	0.062	0	0.647	0.002	0.387	0.010	2.100	0.021	3.548	0	3.045	0.027
$\lambda_{inm\acute{o}vil}$	0.231	0.002	0.339	0.002	0.209	0.010	0.400	0.001	1.147	0	1.503	0.002

Para las calibraciones de los sistemas de recarga artificial para el trazador Amino G, se han tenido en consideración las muestras que se encuentran fuera del rango de la recta de calibrado, a estas se le ha reducido el factor del peso durante la calibración. La disminución de este factor se ha realizado teniendo en consideración el valor de las concentraciones de estas muestras comparadas con el valor de la concentración máxima de la recta de calibrado. Estas muestras se presentan gráficamente como los puntos de menor tamaño en las figuras de calibración mostradas

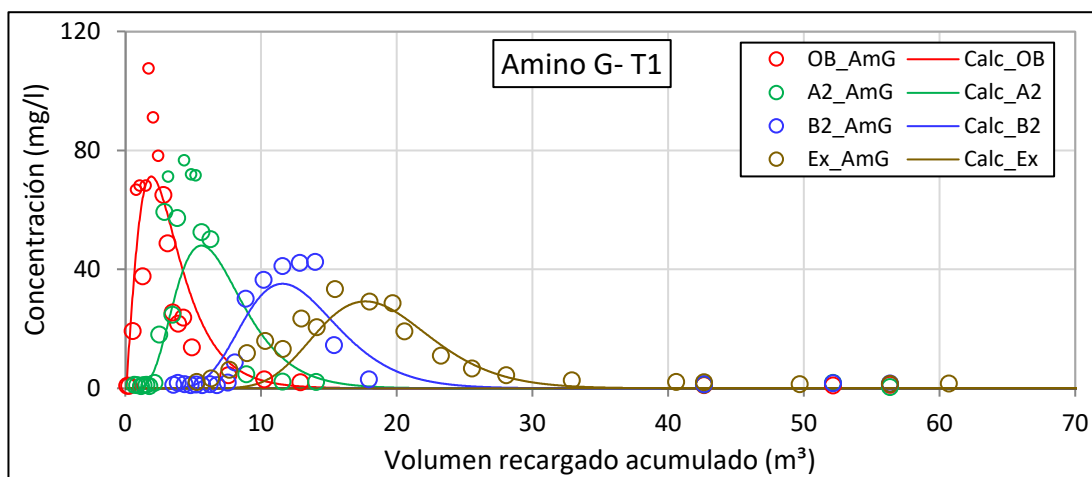


Figura 5.49: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T1

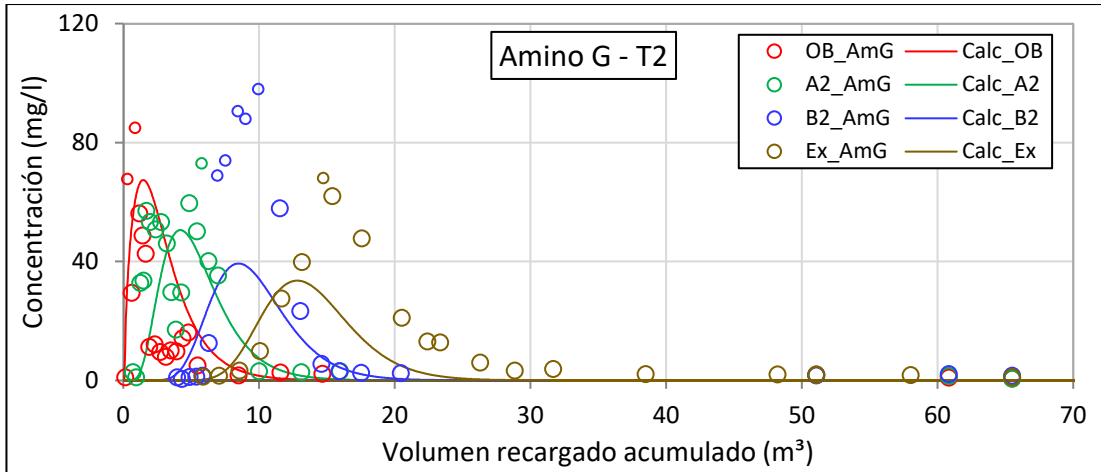


Figura 5.50: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T2

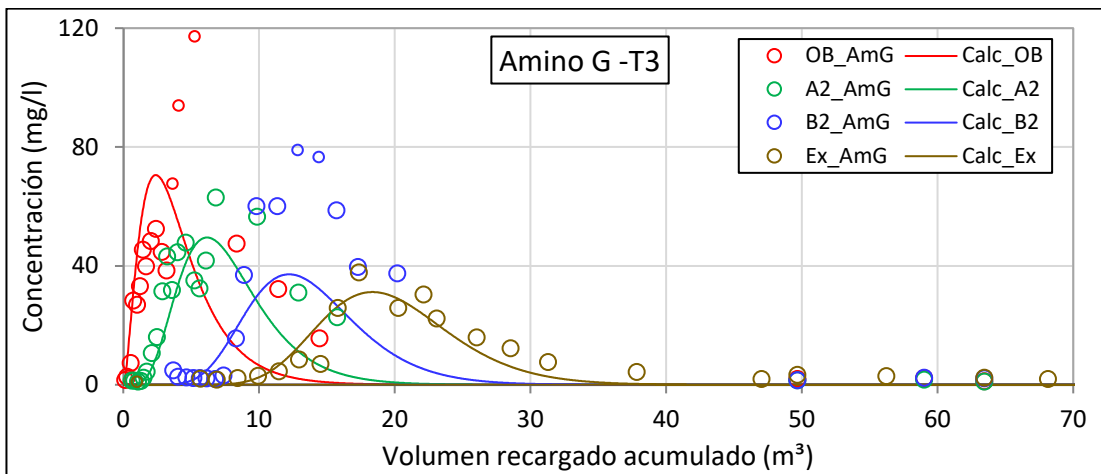


Figura 5.51: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T3

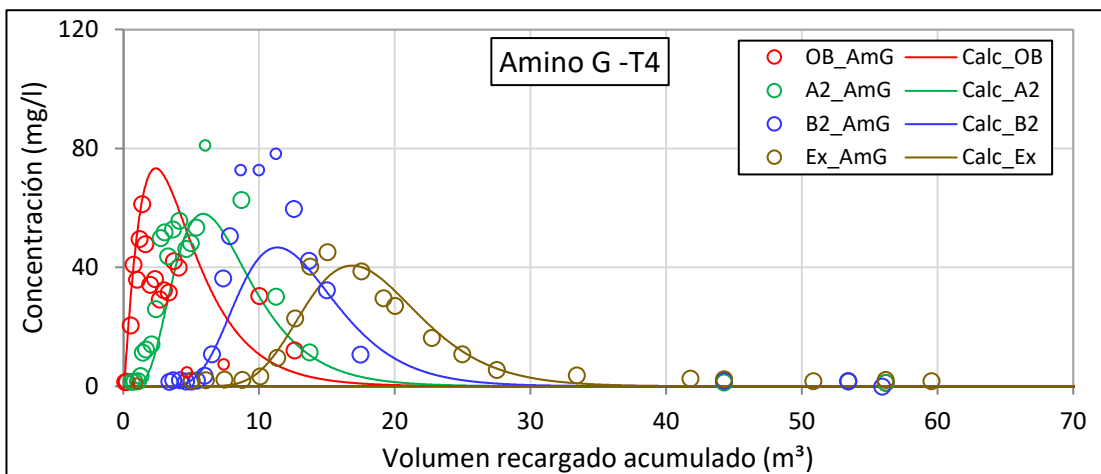


Figura 5.52: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T4

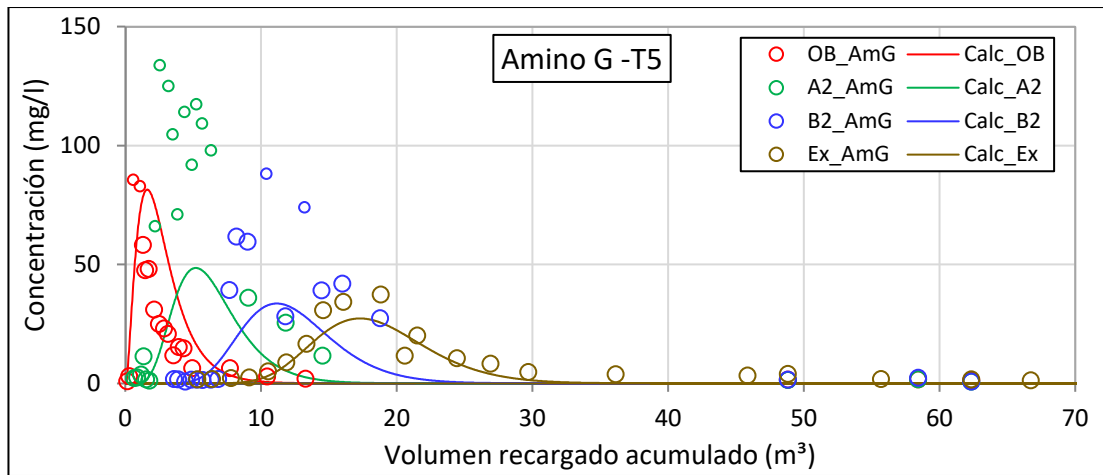


Figura 5.53: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T5

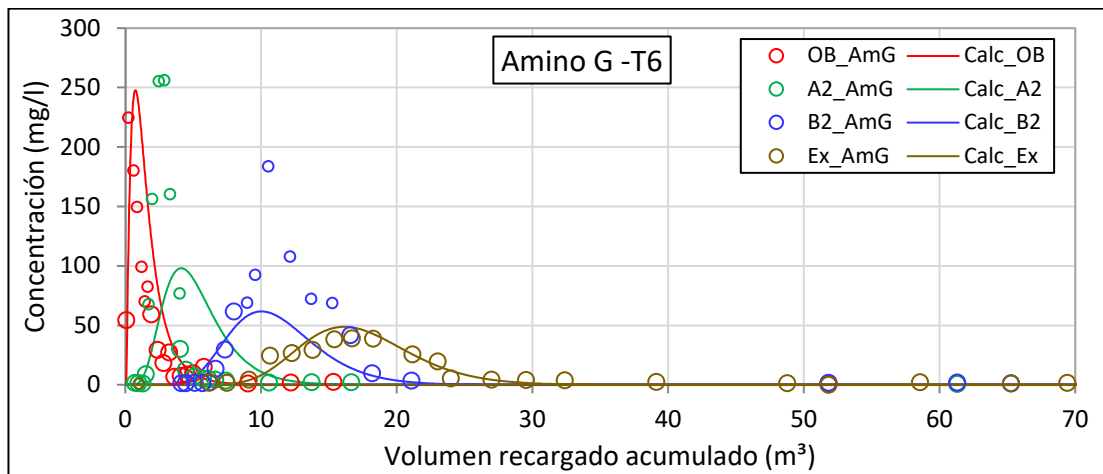


Figura 5.54: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Amino G ,SAT: T6

Tabla 5.9: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para Amino G

		Amino G											
		T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Parámetros calibrados	SSE	24.926	SSE	69.575	SSE	26.712	SSE	23.339	SSE	42.368	SSE	46.747	
	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	
$\beta_{m\acute{o}vil}$	0.204	0.328	0.116	0.273	0.650	0.102	0.254	0.330	0.326	0.310	0.064	0.197	
$\beta_{inm\acute{o}vil}$	0.584	0.100	0.800	0.029	0.350	0.327	0.800	0.050	0.310	0.124	0.087	0.236	
l	3.921	3.000	3.378	3.379	4.103	3.398	3.585	4.184	3.246	4.259	3.194	3.792	
$\lambda_{m\acute{o}vil}$	0.000	0	0.650	0.000	0.120	0.000	0.015	0.000	0.600	0	0.574	0.000	
$\lambda_{inm\acute{o}vil}$	0.139	0.000	0.192	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0	0.004	0.000	

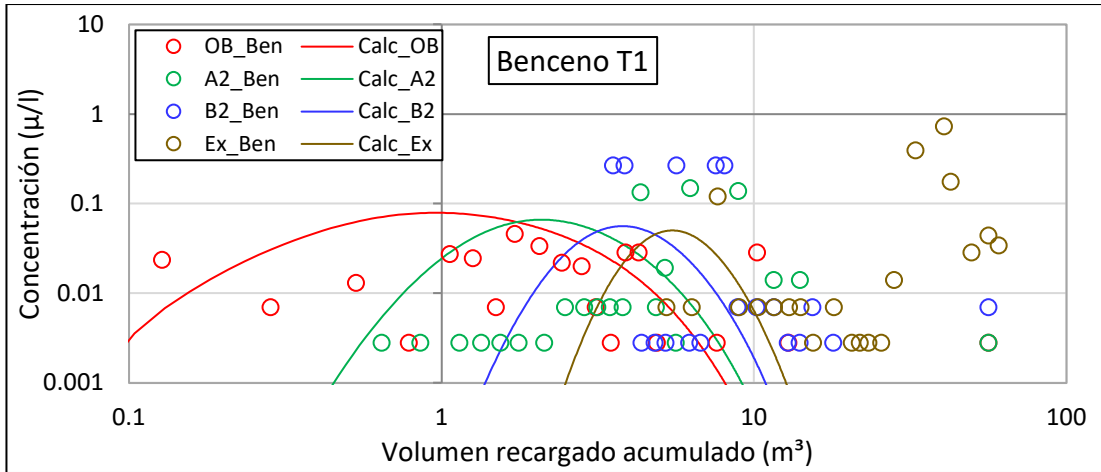


Figura 5.55: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T1

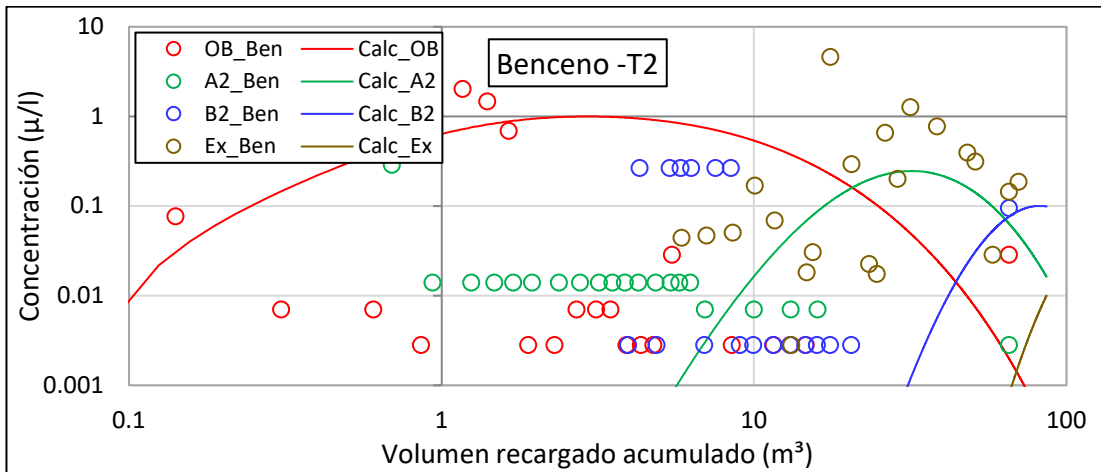


Figura 5.56: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T2

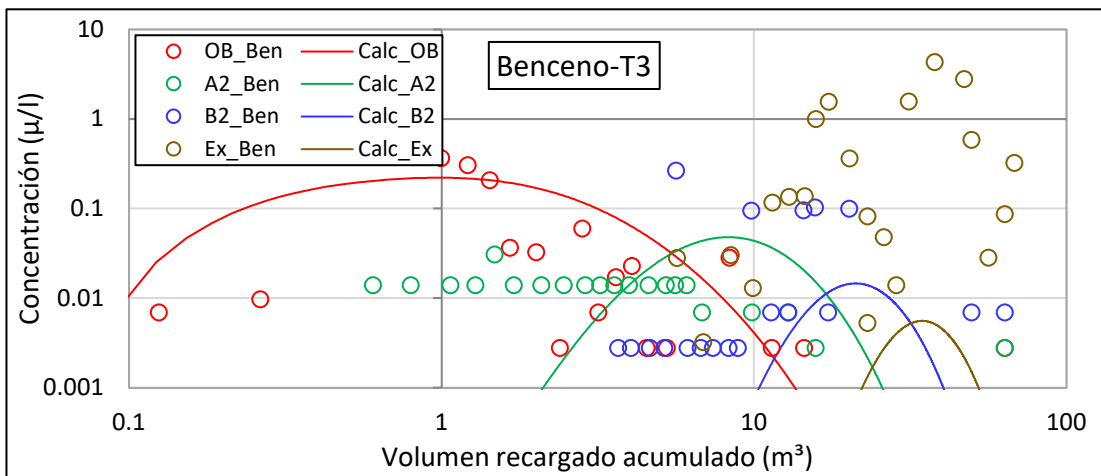


Figura 5.57: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno ,SAT: T3

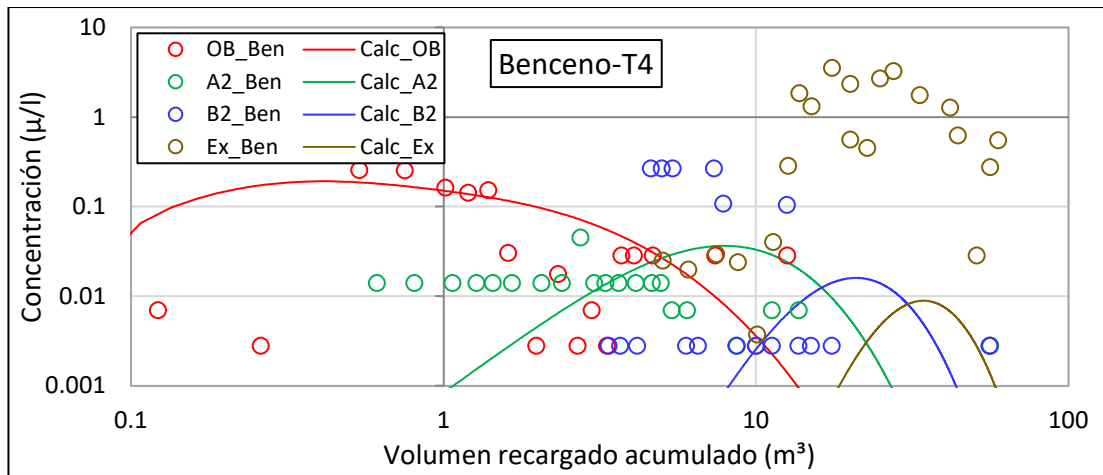


Figura 5.58: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno, SAT: T4

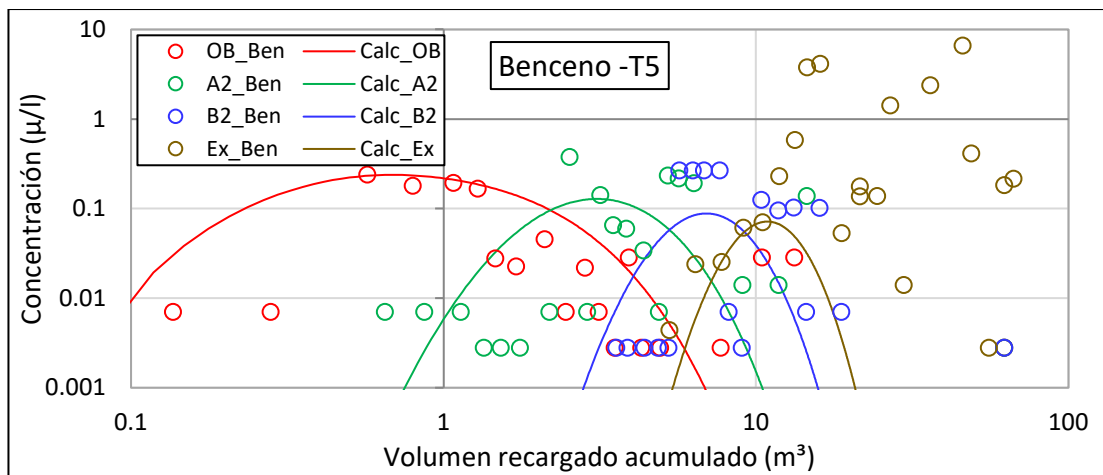


Figura 5.59: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno, SAT: T5

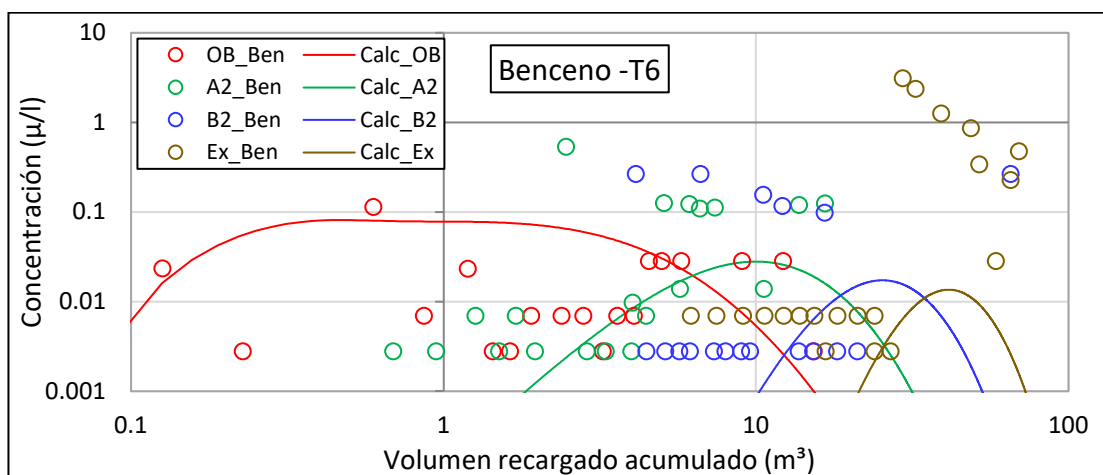


Figura 5.60: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Benceno, SAT: T6

Tabla 5.10: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Benceno

Benceno												
Parámetros calibrados	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	SSE	140.771	SSE	127.405	SSE	129.706	SSE	131.120	SSE	163.537	SSE	129.753
	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero
$\beta_{móvil}$	3.151	0.014	0.134	3.898	0.306	0.899	0.561	0.002	0.685	0.263	0.799	0.225
$\beta_{inmóvil}$	3.286	0.100	0.200	0.014	2.482	0.153	0.020	1.015	1.775	0.015	3.454	0.908
l	4.113	3.473	4.738	4.081	3.371	3.392	3.059	3.596	3.683	3.941	4.304	3.161
$\lambda_{móvil}$	0.900	0	0.020	0.010	0.544	0.066	4.654	0.012	3.309	0	3.272	0.000
$\lambda_{inmóvil}$	0.700	0.000	0.020	0.010	2.647	0.040	4.001	0.026	0.857	0	0.850	0.000

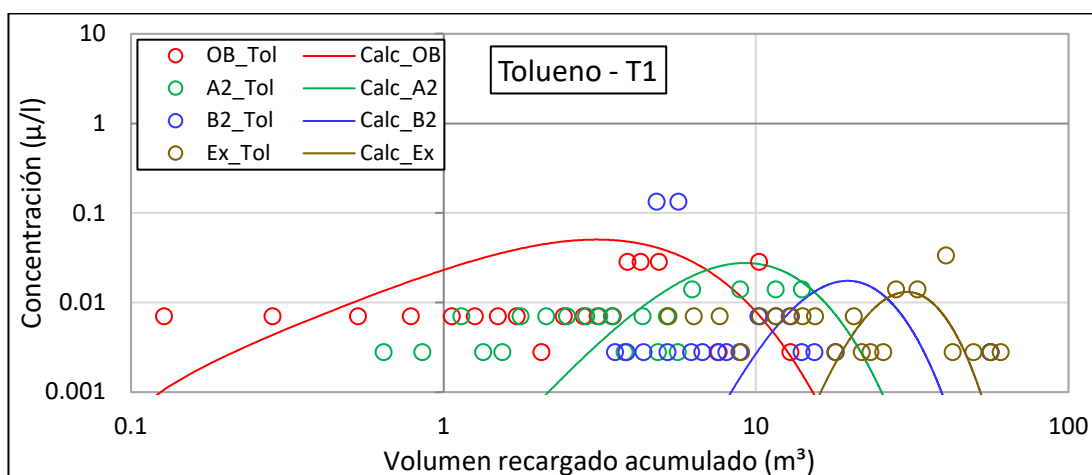


Figura 5.61: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T1

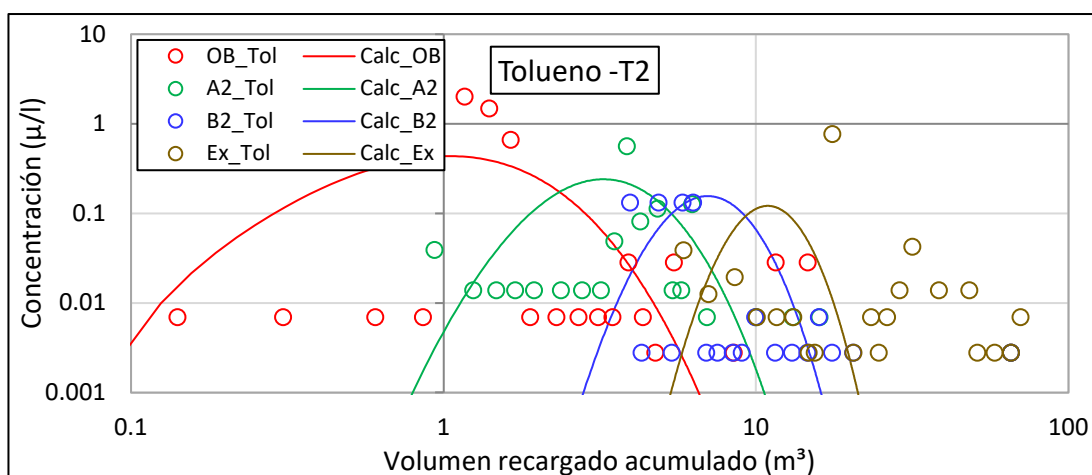


Figura 5.62: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T2

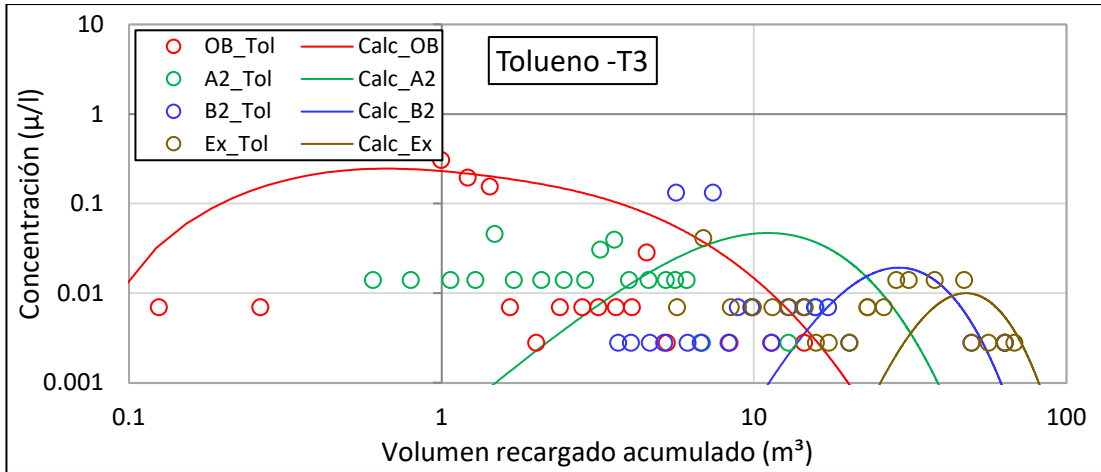


Figura 5.63: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T3

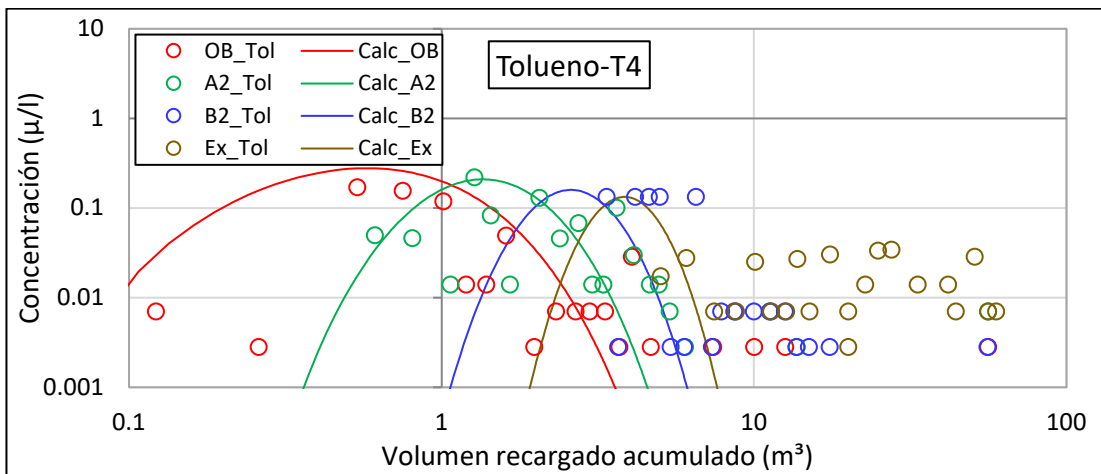


Figura 5.64: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T4

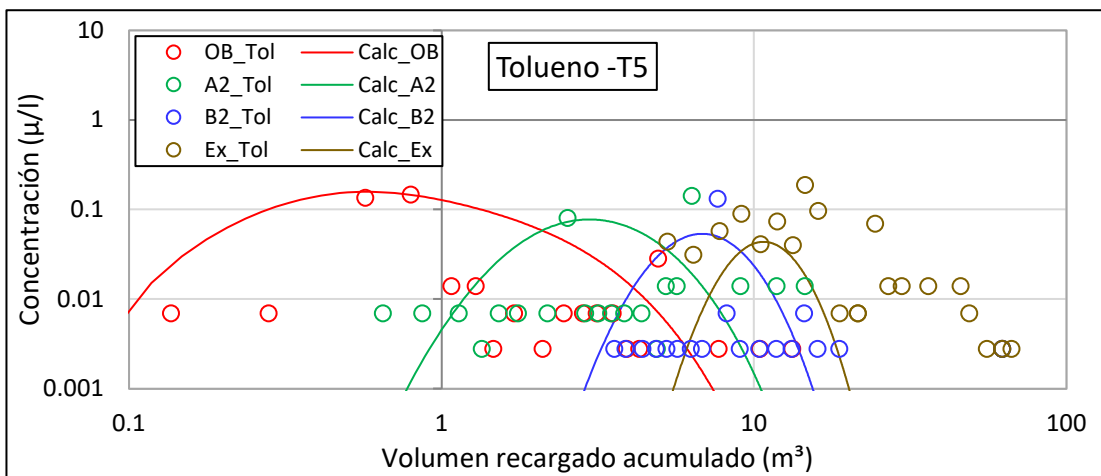


Figura 5.65: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T5

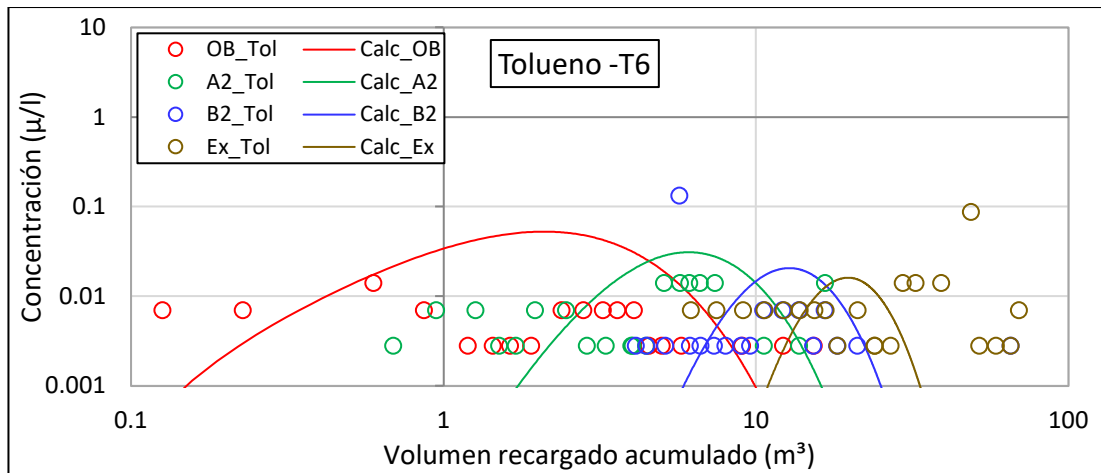


Figura 5.66: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Tolueno ,SAT: T6

Tabla 5.11: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Tolueno

Parámetros calibrados	Tolueno											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	SSE	161.590	SSE	116.942	SSE	127.596	SSE	164.203	SSE	158.589	SSE	106.848
	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero
$\beta_{m\acute{o}vil}$	5.843	0.020	1.184	0.267	0.623	0.150	1.200	0.068	0.768	0.263	5.367	0.212
$\beta_{inm\acute{o}vil}$	0.350	0.755	0.014	0.011	0.050	1.279	0.238	0.020	3.495	0.010	0.549	0.281
l	3.484	3.428	4.037	3.962	3.293	3.500	2.924	3.654	4.000	4.015	3.975	3.932
$\lambda_{m\acute{o}vil}$	0.541	0	2.033	0.010	3.295	0.012	3.132	0.010	3.871	0	1.101	0.010
$\lambda_{inm\acute{o}vil}$	0.692	0.006	0.008	0.010	0.010	0.028	0.010	0.046	0.650	0	0.500	0.004

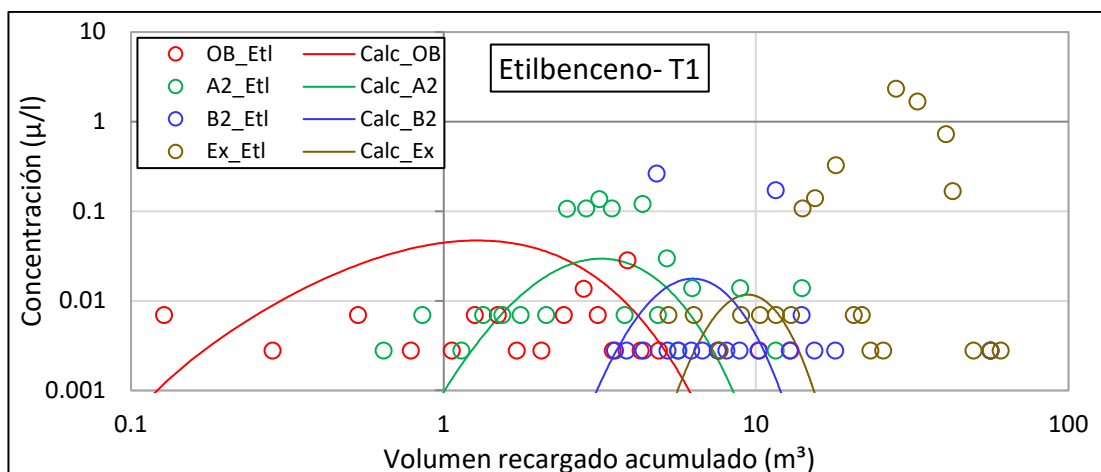


Figura 5.67: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T1

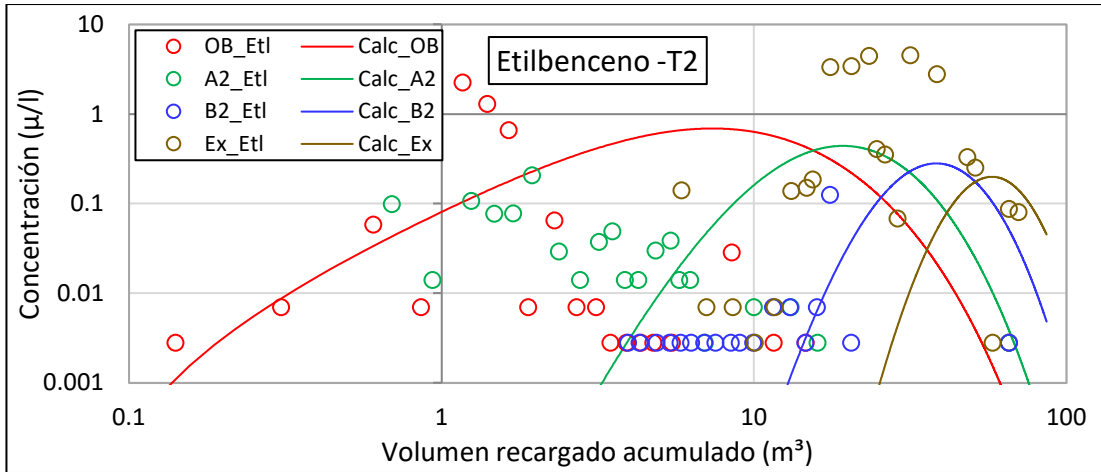


Figura 5.68: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno, SAT: T2

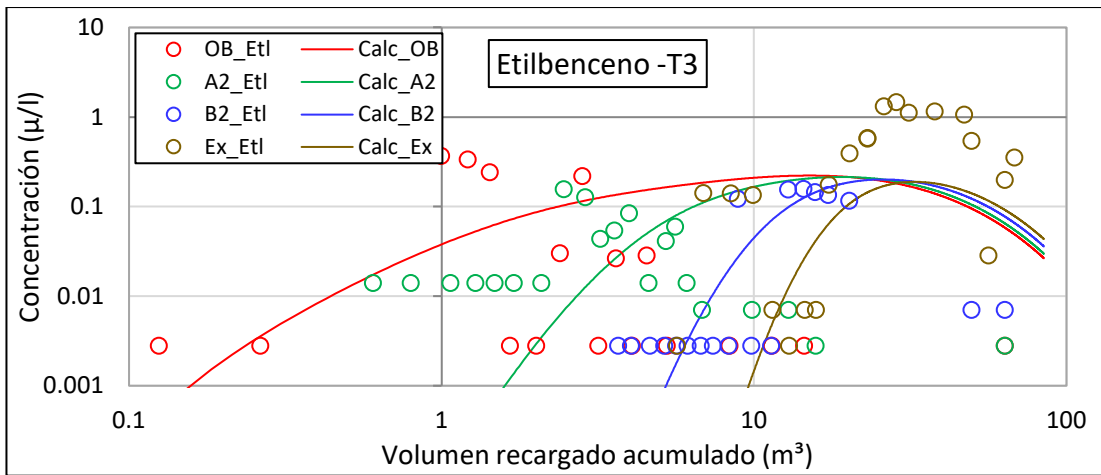


Figura 5.69: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno, SAT: T3

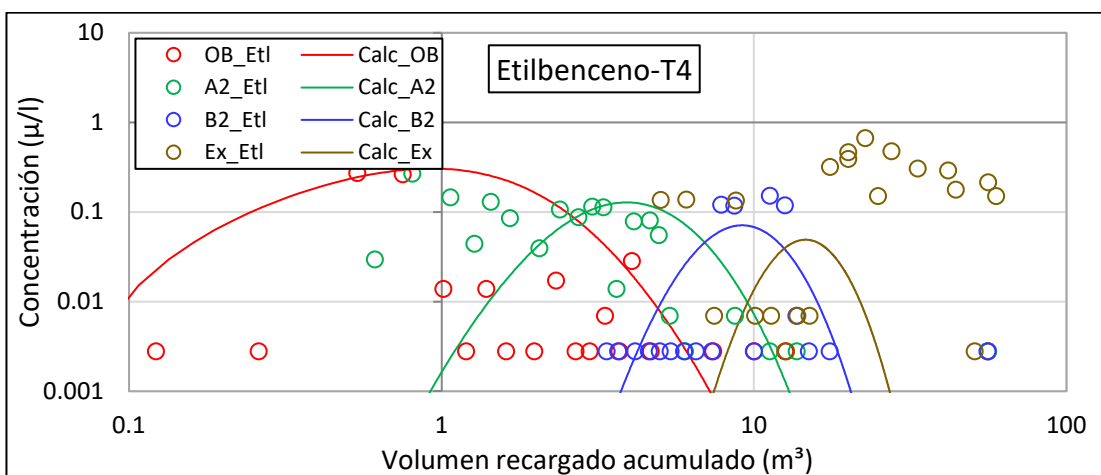


Figura 5.70: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno, SAT: T4

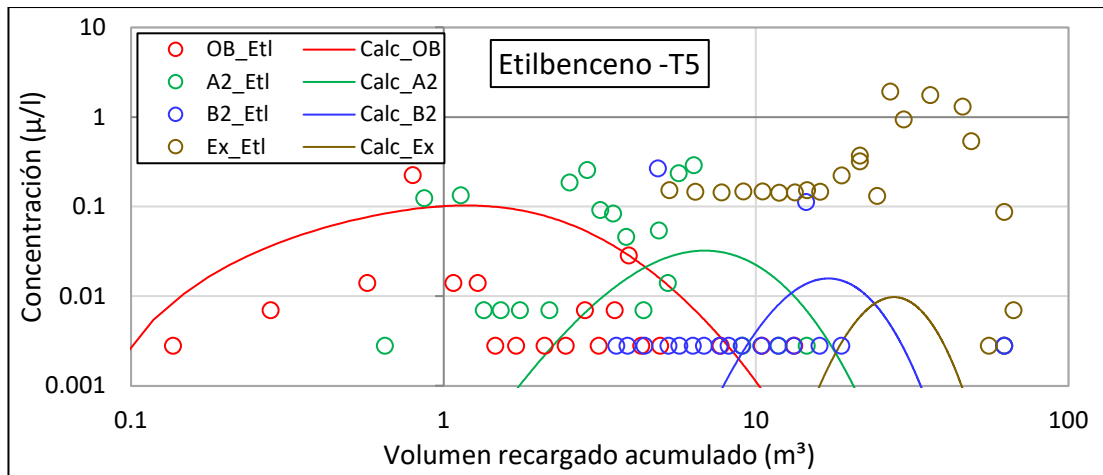


Figura 5.71: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T5

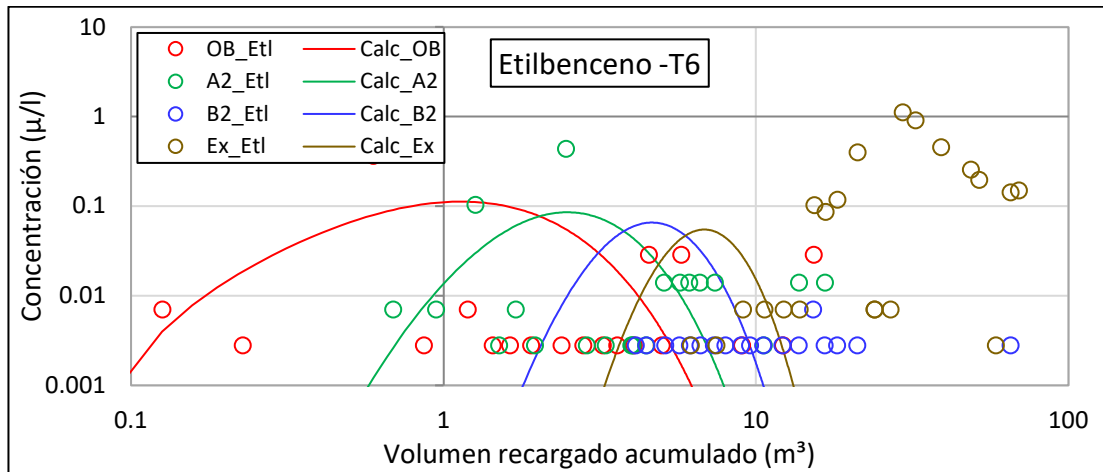


Figura 5.72: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Etilbenceno ,SAT: T6

Tabla 5.12: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Etilbenceno

Parámetros calibrados	Etilbenceno											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
SSE	121.305		117.231		137.441		123.383		149.841		109.346	
B. R.	Acuífero		Acuífero		Acuífero		Acuífero		Acuífero		Acuífero	
$\beta_{móvil}$	4.262	0.204	2.344	0.950	6.176	0.173	0.629	0.275	1.083	0.332	3.429	0.040
$\beta_{inmóvil}$	0.662	0.025	0.668	0.446	5.470	0.281	0.397	0.120	0.497	0.450	0.193	0.113
l	3.200	3.967	3.925	3.632	3.271	3.409	3.511	3.281	3.918	3.802	3.822	3.729
$\lambda_{móvil}$	1.281	0	0.029	0.010	0.005	0.009	3.856	0.024	3.674	0	1.614	0.011
$\lambda_{inmóvil}$	0.802	0.067	0.011	0.012	0.010	0.010	0.100	0.030	0.400	0	0.303	0.014

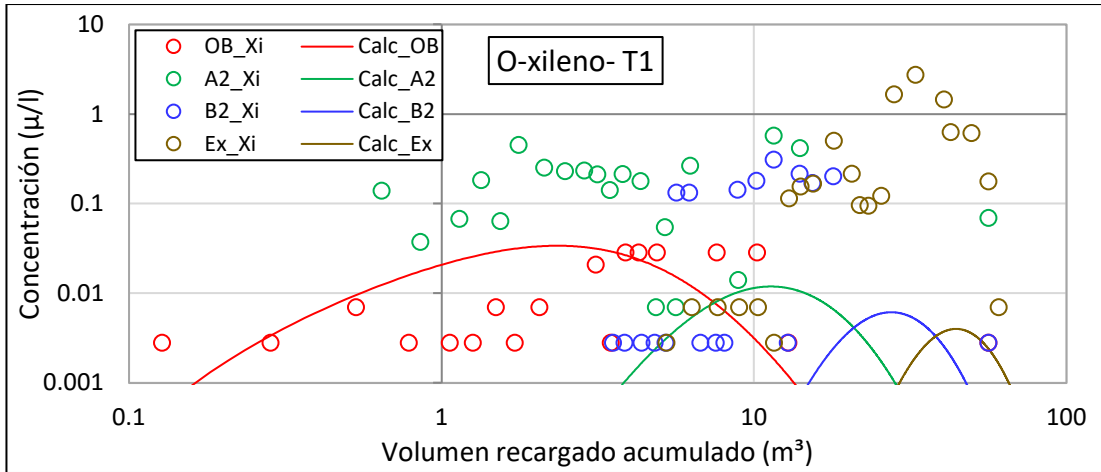


Figura 5.73: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T1

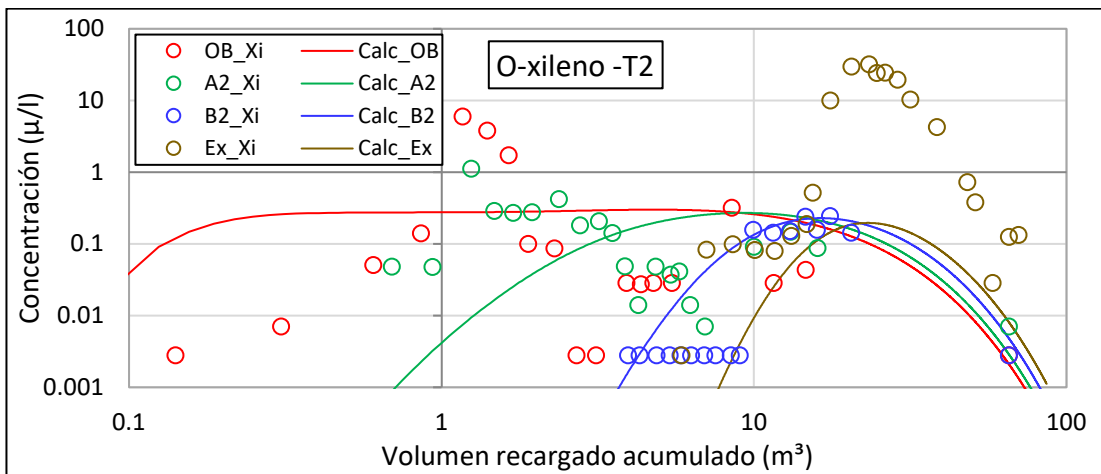


Figura 5.74: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T2

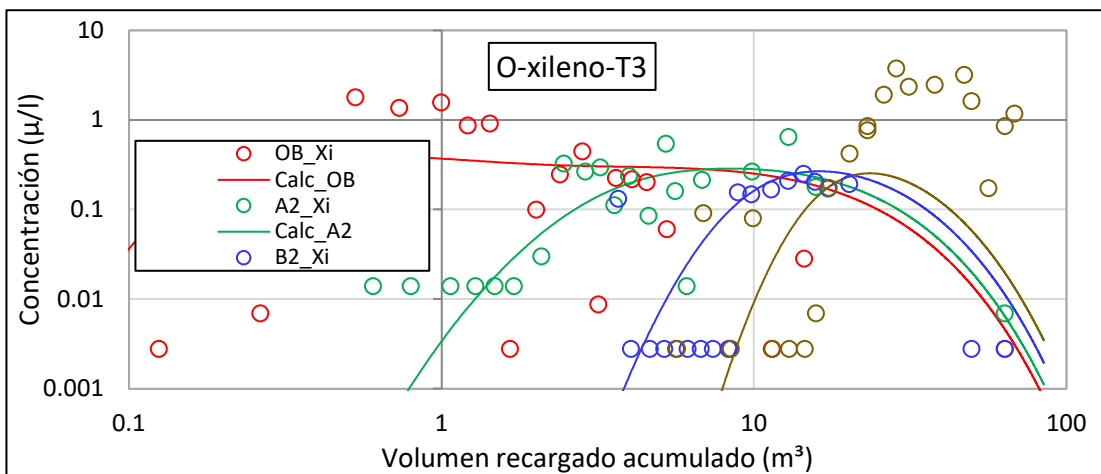


Figura 5.75: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T3

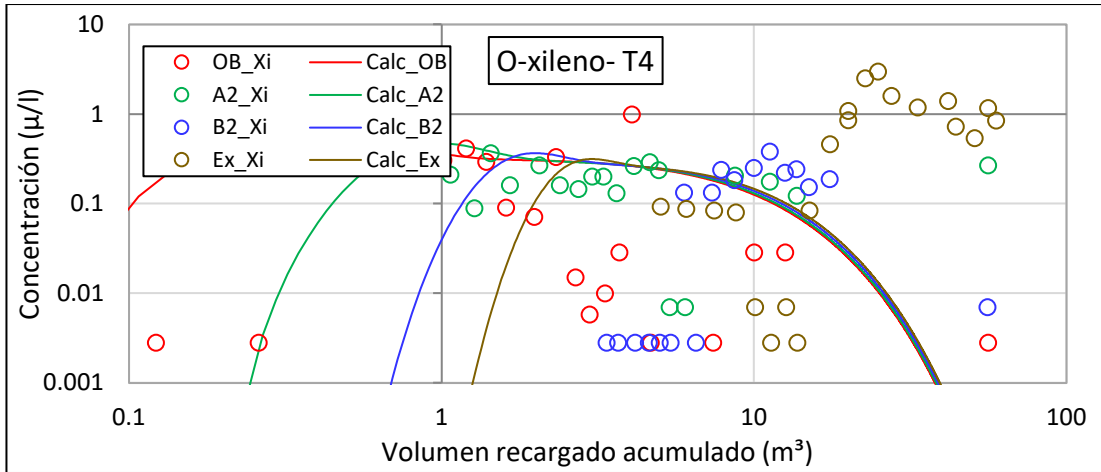


Figura 5.76: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T4

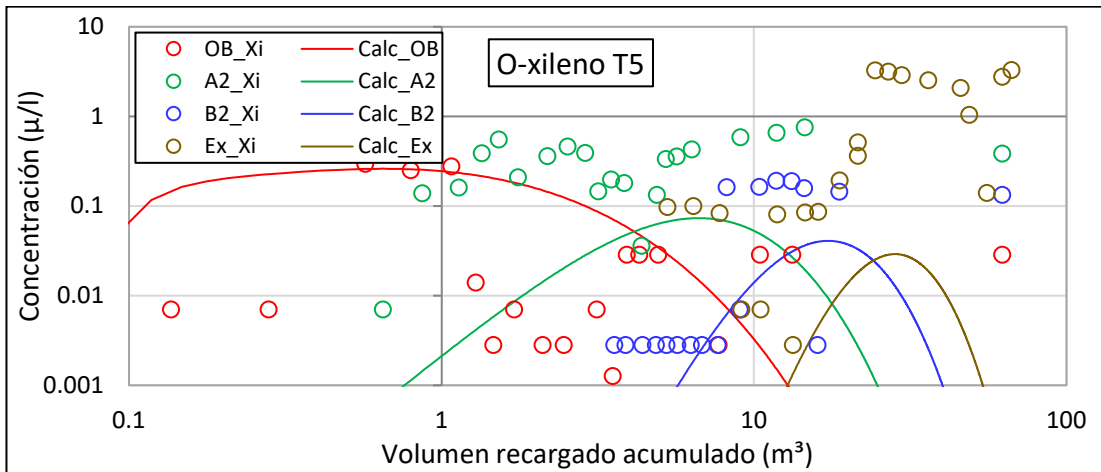


Figura 5.77: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T5

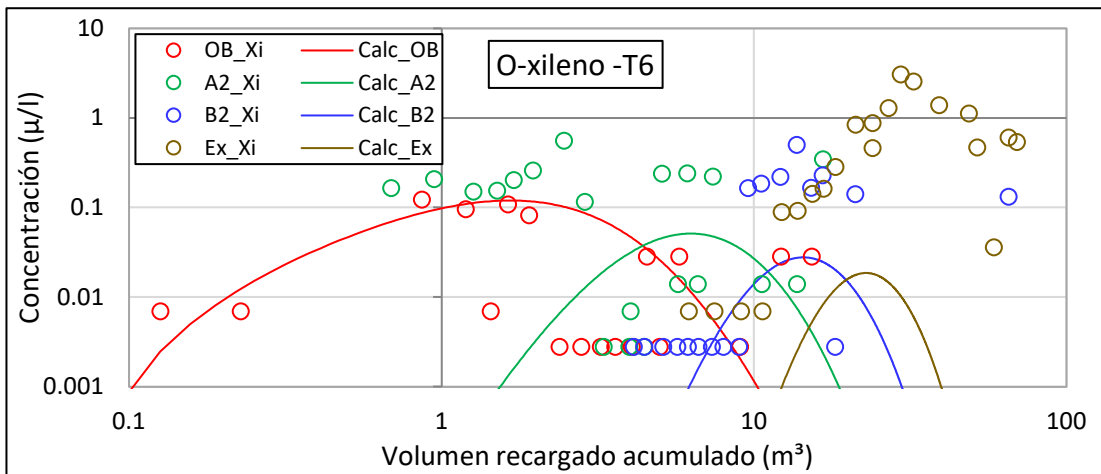


Figura 5.78: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Orto-xileno ,SAT: T6

Tabla 5.13: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Orto-xileno

O-Xileno												
Parámetros calibrados	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	SSE	136.784	SSE	118.446	SSE	98.209	SSE	87.803	SSE	130.934	SSE	113.825
	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero
$\beta_{m\acute{o}vil}$	3.744	0.589	0.337	0.105	0.308	0.221	0.620	0.016	0.363	0.020	2.320	0.248
$\beta_{inm\acute{o}vil}$	0.507	0.638	5.505	0.347	6.232	0.245	4.100	0.048	0.367	0.774	0.400	0.367
l	3.272	3.396	4.182	4.352	3.092	3.227	3.063	3.397	3.800	3.511	3.622	3.517
$\lambda_{m\acute{o}vil}$	1.200	0	1.009	0.020	0.600	0.000	0.708	0.027	5.696	0	1.703	0.024
$\lambda_{inm\acute{o}vil}$	0.421	0.003	0.000	0.020	0.020	0.000	0.056	0.098	1.178	0	0.505	0.025

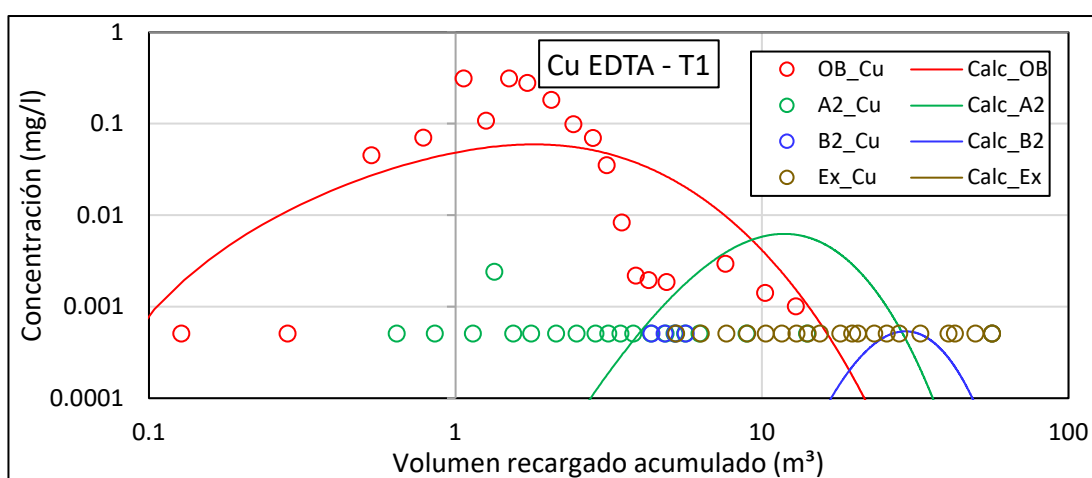


Figura 5.79: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T1

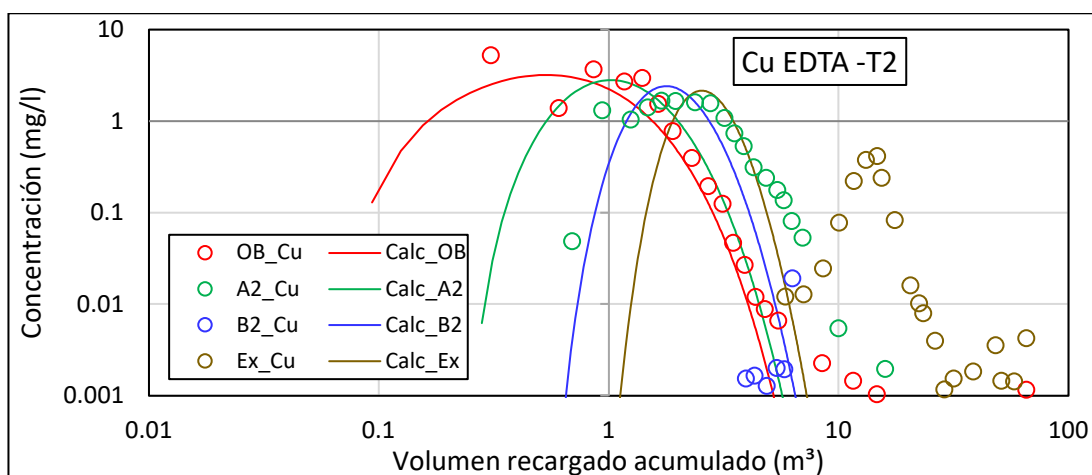


Figura 5.80: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T2

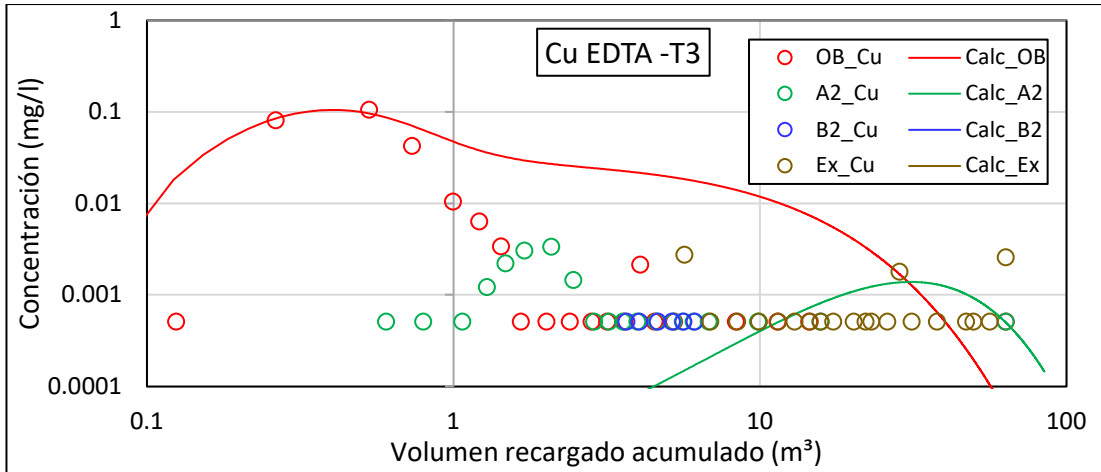


Figura 5.81: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T3

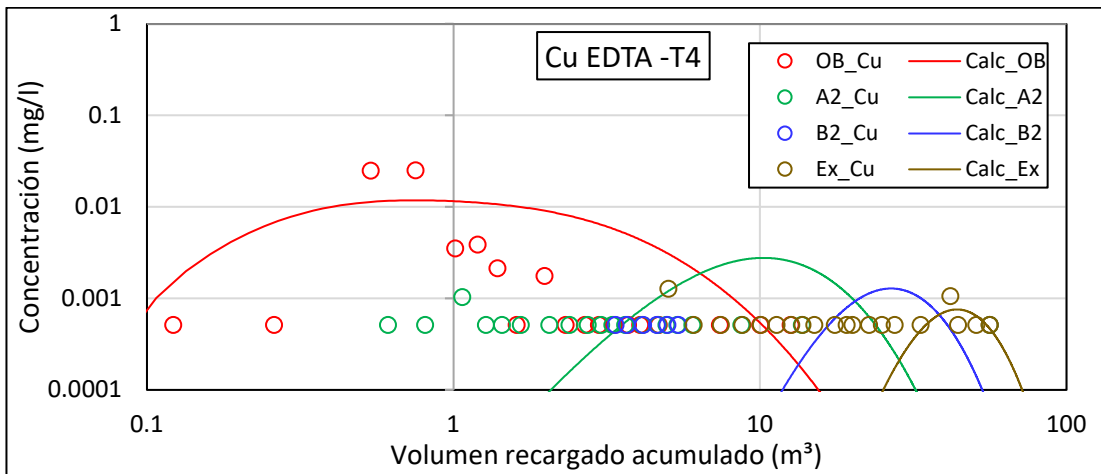


Figura 5.82: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T4

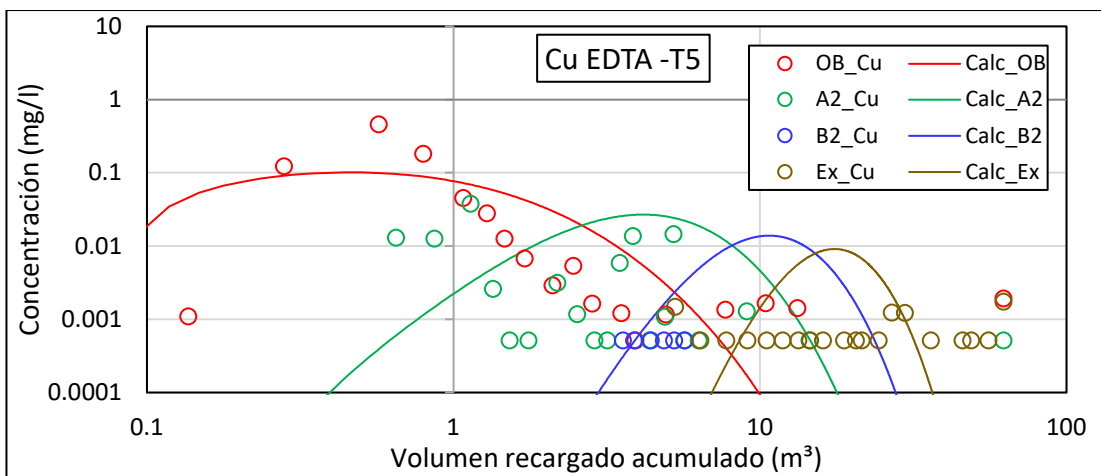


Figura 5.83: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA ,SAT: T5

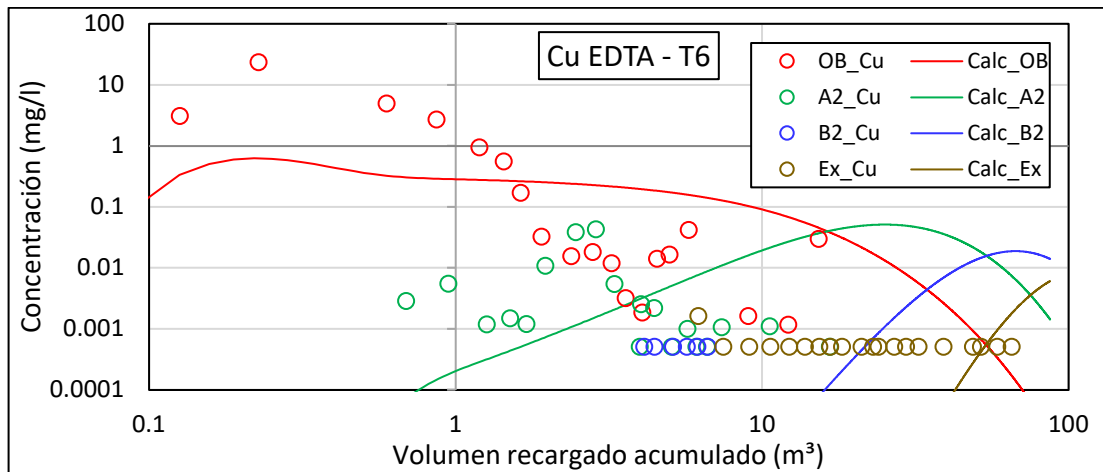


Figura 5.84: Calibración de parámetros con el modelo numérico, trazador Cu EDTA, SAT: T6

Tabla 5.14: Calibración de parámetros en los sistemas de recarga artificial, para el Cu EDTA

		Cu EDTA											
		T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Parámetros calibrados	SSE	70.487	SSE	97.479	SSE	69.410	SSE	81.790	SSE	131.220	SSE	161.883	
	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	B. R.	Acuífero	
$\beta_{móvil}$	2.032	0.995	0.515	0.032	0.728	0.460	3.466	0.288	1.087	0.020	0.150	0.335	
$\beta_{inmóvil}$	0.700	0.750	0.275	0.020	4.636	6.207	2.591	0.990	0.383	0.478	2.651	3.076	
I	4.132	3.537	3.434	3.948	3.600	3.900	3.315	3.488	3.897	3.420	3.200	3.250	
$\lambda_{móvil}$	2.020	0	0.951	0.030	2.268	0.061	4.075	0.004	6.958	0	1.540	0.024	
$\lambda_{inmóvil}$	0.644	0.068	3.825	0.040	3.336	0.050	1.013	0.021	3.857	0	1.180	0.013	

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

En el ensayo de trazadores realizado se han interpretado los resultados de las curvas de llegada de los trazadores y de la calibración realizada con el modelo numérico de cada trazador, comparando las respuestas obtenidas de todos los sistemas de recarga artificial en simultáneo.

El objetivo de inyectar Rodamina WT es la caracterización de la cantidad de la materia orgánica, ya que este trazador tiene una alta capacidad de adsorción en la misma, y puede brindar información del transporte en las zonas inmóviles. Con la información de las curvas de llegada se puede inferir que el SAT T1 es el sistema que más adsorción presenta, seguido del SAT T5. De acuerdo a la calibración el SAT T1 es el que presenta mayor adsorción en la zona inmóvil.

El SAT T2 al ser un sistema de referencia con una composición completamente de arena, presenta la menor adsorción de Rodamina WT a la materia orgánica, esto se ve reflejado tanto en las curvas de llegada comparando las masas recuperadas en los puntos de muestreo (O y EX); como en los parámetros obtenidos a partir de la calibración.

El SAT T6 tiene un comportamiento similar al SAT T2 con picos de concentraciones elevadas, sin embargo este sistema si presenta una composición con materia orgánica en su barrera reactiva, y este comportamiento se refleja en todos los trazadores analizados, por lo que se concluye que la particularidad de este sistema vendrían a ser la presencia de unas vías preferentes en la zona de la barrera reactiva, por eso las concentraciones de los trazadores en los puntos de muestreo del oblicuo y A2 en comparación con los demás sistemas son mucho más elevados, el efecto de contenido de la materia orgánica en la barrera del SAT T6 no se ve reflejado en los resultados debido a que tiene un tiempo de interacción mucho más corto comparado con los demás sistemas, la circulación del flujo sería más veloz debido a estas vías.

El Amino G aporta información de transporte en las zonas móviles e inmóviles con una baja adsorción en la MO, este es el trazador que menor medida de discrepancia tienen los datos de las muestras analizadas con el modelo numérico. El pico de las concentraciones de las curvas en el SAT T6 llegan mucho más pronto que los demás sistemas a excepción del SAT T2. El comportamiento de las curvas de los SAT T1, SAT T3, SAT T4 Y SAT T5 son similares, y el ajuste realizado con el modelo en estos sistemas están en un mismo rango de valores. Por lo que se puede concluir que la composición en estas cuatro barreras no influye significativamente en el transporte de solutos y que el intercambio de flujo másico entre zonas móviles e inmóviles es muy similar sin importar la composición de estas.

Los trazadores BTEX en general se ve reflejado en la calibración con el modelo numérico que existe una degradación, sin embargo, las concentraciones obtenidas a partir del punto de muestreo de la zona de descarga EX no demuestran este comportamiento.

Para el benceno, con información de las masas recuperadas de las curvas de llegada, se ve que el sistema con menor cantidad de masa (lo que indicaría mayor degradación) es el SAT T1, luego de realizar el ajuste con el modelo numérico se determina que el SAT T4 es el que tiene un valor más alto de constantes de desintegración en zonas móvil e inmóvil en la barrera reactiva, que el resto de sistemas.

El Tolueno presenta un comportamiento similar que el Benceno, el SAT T1 es el sistema con menor cantidad de masa recuperada. Con el ajuste el SAT T5 es el que presenta las constantes de desintegración en zonas móvil e inmóvil en la barrera reactiva más elevadas, los sistemas SAT T3 y SAT T4 muestran valores similares en la zona móvil.

El Etilbenceno muestra que el SAT T1 es el sistema con menor cantidad de masa recuperada seguido por el SAT T4, y con el ajuste el sistema con unos valores de constantes de desintegración de zonas móvil e inmóvil en la barrera reactiva más elevado es el SAT T4.

El Orto-xileno muestra que el SAT T1 es el sistema con menor cantidad de masa recuperada y con el ajuste el SAT T5 muestra las constantes de desintegración en zonas móvil e inmóvil de la barrera reactiva con valores más elevados.

Se puede inferir que los SAT T3, T4 y T5 contienen la composición en sus barreras reactivas que más degradan o favorecen a la degradación de la materia orgánica. También que a pesar que los sistemas SAT T1 Y SAT T5 tienen composiciones porcentuales muy parecidas y que solo se diferencian en un 1% de contenido de hierro en el SAT T5, este juega un papel importante en

cuanto a la degradación, ya que en ningún trazador de los BTEX muestran valores similares de constantes de desintegración de estos dos sistemas.

El quelato de cobre sólido (EDTA Cu), no se adsorbe y es muy conservativo y el objetivo de este trazador es brindar información de la velocidad del transporte en zonas móviles. Luego de realizar el ajuste en los sistemas, se ve reflejado que existe una degradación en las zonas móviles e inmóviles. Al parecer esto se debe a que el EDTA es la parte del complejo del quelato de cobre que se degrada y luego de esto, se podría considerar al cobre prácticamente estable.

A partir de las curvas de llegada se ve que el SAT T2 presenta un pico de concentración en la salida, con la información obtenida de las masas recuperadas de las curvas se identifica que los sistemas SAT T4 y T5 son los que presentan menor cantidad de masa recuperada, esto podría deberse a la degradación del EDTA. Con el ajuste realizado en este trazador se ve que en el SAT T2 muestra un valor de constante de desintegración más bajo con el resto de sistemas en la zona móvil (esto podría explicar el pico de concentración en la salida), también se muestra que el SAT T5 es el que presenta las constantes de desintegración en zonas móvil e inmóvil más elevadas.

El SAT T3, T4 y T5 muestran curvas de llegada en el oblicuo similares, lo que indicaría que la composición de las barreras en esos sistemas no influye mucho en el transporte en solutos con el comportamiento similar al Cu EDTA.

En general se puede concluir que el SAT T6 no tiene suficiente tiempo de interacción con los sustratos que componen su barrera, el SAT T2 al no tener materia orgánica en la composición de su barrera reactiva, esto se ve reflejado en que la Rodamina WT presenta menor adsorción y menor degradación de los trazadores BTEX. Los sistemas SAT T4 y SAT T5 son los que presentan más degradación de materia orgánica. Las composiciones de los sistemas SAT T3, SAT T4 y SAT T5 no influyen considerablemente en el transporte de solutos ni en el intercambio de flujo másico entre las zonas móvil e inmóvil

6.2. RECOMENDACIONES

Luego del análisis realizado se presentan a continuación las siguientes recomendaciones:

- Para los trazadores BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Orto-xileno) procurar de establecer un solo límite de detección en el análisis de las muestras tomadas, para favorecer el análisis y procesamiento de datos posterior.
- Luego de los resultados y conclusiones obtenidas de los trazadores BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Orto-xileno) se recomienda incorporar en el modelo numérico dos ajustes por separado, un ajuste solamente para los trazadores de los puntos de la zona de descarga EX y otro ajuste para el resto de puntos de muestreo, ya que en el mismo sistema hay dos comportamientos distintos del trazador y analizarlos de esta manera podría darnos más información del comportamiento de estos compuestos durante su trayectoria en sistemas con distintas velocidades con agua de circulación superficial y agua de circulación profunda.
- Se recomienda también tener en consideración eventuales incidentes durante la ejecución del ensayo, como la paralización de las bombas, ya que pueden darse altercados que modifiquen la velocidad del flujo en los sistemas y podrían afectar los resultados y la interpretación del ensayo de trazadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amy, G., & Drewes, J. (2007). Soil aquifer treatment (sat) as a natural and sustainable wastewater reclamation/reuse technology: fate of wastewater effluent organic matter (efom) and trace organic compounds.
- Asano, T., & Cotruvo, J. (2004). Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations.
- Bear, J., & Cheng, A. (2010). *Modeling groundwater flow and contaminant transport (Theory and Applications of transport in porous media)*. Springer.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (2008). *Aguas Continentales Gestión de recursos hídricos, tratamientos y calidad del agua*. Madrid: Cyan, Proyectos y Producciones Editoriales S.A.
- Custodio, E., & Ramón Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea (Vol. I)*. Barcelona, España: Omega S.A.
- Díaz-Cruz, M., & Barceló, D. (2008). Trace organic chemicals contamination in ground water recharge.
- Dillon, P., Pavelic, P., Toze, S., Rinck-Pfeiffer, S., Martin, R., Knapton, A., & Pidsley, D. (2006). Desalination Role of aquifer storage in water reuse.
- Konikow, L. F., & Kendy, E. (2005). Groundwater depletion: a global problem.
- Molins-Delgado, D., & Díaz-Cruz, M. (2015). Removal of polar uv stabilizers in biological wastewater treatments and ecotoxicological implications.
- Oyarzún L, R. (2007). *Transporte de contaminantes en aguas subterráneas*. Ceaza - Chile: Apuntes de curso .
- Smart, P., & Laidlaw, I. (1977). Evaluation of some fluorescent dyes for water tracing. *Water Resour* .
- Valhondo, C., Carrera, J., Ayora, C., Barbieri, M., Nodler, K., Licha, T., & Huerta, M. (2014). Behavior of nine selected emerging trace organic contaminants in an artificial recharge system supplemented with a reactive barrier.
- Valhondo, C., Martínez-Landa, L., Carrera, J., Díaz-Cruz, S., Amalfitano, S., & Levantesi, C. (2019). Six artificial recharge pilot replicates to gain insight into water quality enhancement processes.

ANEJO 1: Cálculo de la cantidad de trazador

Cálculo de la cantidad de cada trazador (Figura A1. 1) en función de:

- su límite de detección (LOD) o de la concentración presente en el medio,
- de la concentración máxima que puede detectar el método de medida,
- la pureza del compuesto que se analiza (p.e. % de Cu dentro del EDTA-Cu)
- del volumen en el que se va a diluir (Figura A1. 1).

Tabla A1. 1: Calculo de las cantidades totales de trazadores a preparar para los cócteles.

Trazador	LOD o Cbase (mg)	Cmax (g/l)	Riqueza (%)	Vol sistema hasta (l)			Nº Sistemas a ensayar	Masa o Vol a inyectar	Unidades
				EX	A	B			
Rodamina WT	0.00001	0.0001	20%	13689	1368.9	7300.8	6	35.40	ml
Amino-G	0.001	0.01	100%				6	821.34	g
Azul Dextrano	0.01	0.01	100%				2 (2, 3)	821.34	g
EDTA-Cu	0.0027	0.0027	14.2%				6	1561.70	g
Benceno	0.001	0.001	100%				6	93.97	ml
Tolueno	0.001	0.001	100%				6	94.73	ml
Etilbenceno	0.001	0.001	100%				6	94.84	ml
Xileno	0.001	0.001	100%				6	94.62	ml
	Concentración de estándar (part/L)	Cmax (part/l)							
Microesferas	2.25E+15	1.00E+10					1 (3)	32.45	ml

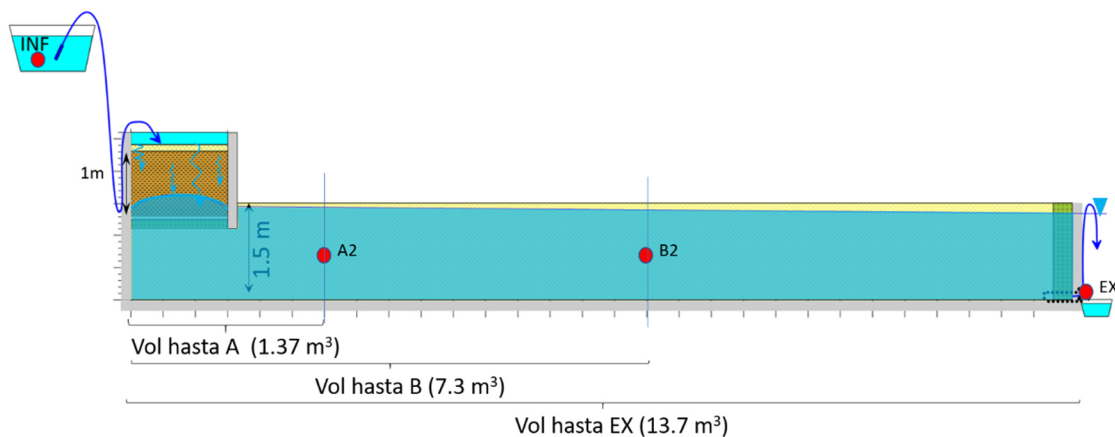


Figura A1. 1: Secciones hasta las que se muestrean los trazadores con los volúmenes afectados y utilizados para el cálculo.

ANEJO 2: Preparación de las masas de trazadores

En el laboratorio se prepararon los trazadores que formarán parte de cada cóctel, según los cálculos del apéndice anterior (Tabla A1. 1). Las cantidades del coctel 1 son más grandes porque se inyectarán en 4 sistemas, mientras que los cócteles 2 y 3 se inyectarán en un sistema cada uno.

En la Tabla A2. 1 se muestran las cantidades de cada trazador expresados en volumen para los trazadores líquidos y en masa para los trazadores en polvo.

Tabla A2. 1: Cantidad de trazador preparado en el laboratorio.

Cantidad de trazador	Cóctel 1	Cóctel 2	Cóctel 3
Rodamina WT (ml)	24.00	5.90	5.90
Amino G (g)	547.17	137.05	137.02
Azul Dextran (g)	-	48.10	48.10
EDTA-Cu (g)	771.17	192.87	192.79
Benceno (ml)	62.65	15.66	15.66
Tolueno (ml)	63.16	15.79	15.79
EtilBenceno (ml)	63.23	15.81	15.81
Xileno (ml)	63.1	15.77	15.77

Los trazadores líquidos se transforman a masa multiplicándolos por su densidad. En el caso de la Rodamina WT además hay que tener en cuenta la pureza es de un 20%. En la Tabla A2. 2, también se presenta el cálculo de la cantidad de Cu que hay en el EDTA-Cu al 14.2% de pureza.

Tabla A2. 2: Transformación a masa de los trazadores líquidos a partir de su densidad y concentración del trazador en el compuesto

	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xileno	Rodamina WT	Cu en EDTA-Cu	Cóctels
Densidad a 25°C (g/ml)	0.874	0.867	0.866	0.868	1.16		
% trazador en el compuesto					20%	14.2%	
Volumen (ml)	62.65	63.16	63.23	63.10	24.00	--	
Masa EDTA-Cu (g)	--	--	--	--	--	771.17	1
Masa (g)	54.76	54.76	54.76	54.77	5.57	109.51	
Volumen (ml)	15.66	15.79	15.81	15.77	5.90	--	
Masa EDTA-Cu (g)	--	--	--	--	--	192.87	2
Masa (g)	13.69	13.69	13.69	13.69	1.37	27.39	
Volumen (ml)	15.66	15.79	15.81	15.77	5.90	--	
Masa EDTA-Cu (g)	--	--	--	--	--	192.79	3
Masa (g)	13.69	13.69	13.69	13.69	1.37	27.38	

La Tabla resume la cantidad de trazador por cóctel, ahora todos en masa, que se llevará al campo para hacer los tres cócteles.

Tabla A2. 3: Masa de los trazadores añadidos a cada coctel

Masa traz. (g)	Cóctel 1	Cóctel 2	Cóctel 3
Rodamina WT	5.57	1.37	1.37
Amino G	547.17	137.05	137.02
Azul Dextran	-	48.10	48.10
Cu	109.51	27.39	27.38
Benceno	54.76	13.69	13.69
Tolueno	54.76	13.69	13.69
EtilBenceno	54.76	13.69	13.69
Xileno	54.77	13.69	13.69

En el campo se diluyen las masas de los trazadores en el agua del efluente de la depuradora que ha pasado por el filtro de arenas, para eliminar, en lo posible, la turbidez que pueda afectar a la medida de los trazadores. La concentración final en cada coctel se calcula con la masa preparada y el agua en la que se ha diluido esta masa. El volumen de agua se mide con el contador electromagnético asociado a cada bomba de inyección, que se ha puesto a medir con la mínima frecuencia que permite para tener un volumen preciso, cada 15 s. En laTabla A2. 4 se resumen los datos medidos de volumen inyectado en cada sistema desde los tres cócteles.

Tabla A2. 4: Volúmenes y tiempos de inyección de los trazadores, manteniendo el caudal de recarga.

Sistema	Coctel inyectado	Cócteles			Agua del filtro		
		Volumen (l)	tiempo (min)	Q (l/min)	Volumen (l)	tiempo (min)	Q (l/min)
T1	1	34.7	39.75	0.87	42.4	39.5	1.07
T2	2	48.8	45.50	1.07	40.3	35.5	1.14
T3	3	47.9	45.00	1.06	34.2	34.5	0.99
T4	1	38.9	39.75	0.98	39.1	40	0.98
T5	1	40.4	39.50	1.02	40.1	40.8	0.98
T6	1	46.4	39.50	1.17	51.3	39.5	1.30

En los bidones en los que se han preparado los cócteles para inyectar consideramos que no ha quedado nada, la cantidad era despreciable, por lo tanto, las concentraciones en los cócteles se calculan con los volúmenes en los que se diluyeron, y se muestran en la Tabla A2. 5. En la Tabla A2. 6

se recalcula la masa de cada trazador inyectada en los 6 sistemas a partir de las concentraciones de los cócteles y del volumen inyectado en cada sistema.

Tabla A2. 5: Concentración de los trazadores por cóctel, a partir del dato de volumen medido en los caudalímetros de cada sistema

Concentración (mg/l)	Cóctel 1	Cóctel 2	Cóctel 3
Rodamina WT	34.65	28.05	28.52
Amino G	3404.92	2808.40	2854.58
Azul Dextran	--	985.66	1002.08
Cu	681.43	561.22	570.34
Benceno	340.73	280.47	285.14
Tolueno	340.76	280.53	285.21
EtilBenceno	340.74	280.56	285.24
Xileno	340.83	280.50	285.17
Volumen del cóctel (l)			
	160.7	48.8	48

Tabla A2. 6: Masa de cada trazador inyectada en cada sistema.

Masa trazador (g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Rodamina WT	1.20	1.37	1.37	1.35	1.40	1.61
Amino G	118.15	137.05	137.02	132.45	137.90	158.67
Dextran	--	48.10	48.10	--	--	--
Cu	23.65	27.39	27.38	26.51	27.60	31.75
Benceno	11.82	13.69	13.69	13.25	13.80	15.88
Tolueno	11.82	13.69	13.69	13.26	13.80	15.88
EtilBenceno	11.82	13.69	13.69	13.25	13.80	15.88
Xileno	11.83	13.69	13.69	13.26	13.80	15.88
Vol inyectado en cada sistema (l)						
	34.7	48.8	48	38.9	40.5	46.6

ANEJO 3:

Muestras de trazadores analizados

Tabla A3. 2: Lista de muestras analizadas, SAT T1

Código	BTEX Concentración (µg/L)					Cu EDTA Con. (mg/L)	Rodamina WT		Amino G		Hora muestreo	Punto	VOLUMEN RECARGADO ACUMULADO (m3)
	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m + p xileno	o-xileno		Señal (m/V)	Con. (mg/L)	Señal (m/V)	Con. (mg/L)			
T1A2211014-01	NF	NF	NF	0.0070	0.1389	0.0005	849	3.126E-05	7803	1.320	14/oct/2021 08:52	A	0.644
T1A2211014-02	NF	NF	0.0070	NF	0.0375	0.0005	848	3.099E-05	7338	1.205	14/oct/2021 12:25	A	0.856
T1A2211014-03	NF	0.0070	NF	NF	0.0674	0.0005	808	2.004E-05	6090	0.897	14/oct/2021 17:10	A	1.141
T1A2211014-04	NF	NF	0.0070	NF	0.1825	0.0024	848	3.099E-05	7094	1.145	14/oct/2021 20:32	A	1.338
T1A2211014-05	NF	NF	0.0070	NF	0.0635	0.0005	838	2.825E-05	7503	1.246	15/oct/2021 00:00	A	1.543
T1A2211015-01	NF	0.0070	0.0070	0.0070	0.4500	0.0005	819	2.305E-05	6036	0.884	15/oct/2021 03:55	A	1.766
T1A2211015-02	NF	0.0070	0.0070	NF	0.2527	0.0005	901	4.549E-05	10328	1.943	15/oct/2021 10:18	A	2.132
T1A2211015-03	0.0070	0.0070	0.1070	NF	0.2303	0.0005	863	3.509E-05	76362	18.230	15/oct/2021 16:14	A	2.484
T1A2211015-04	0.0070	0.0070	0.1081	NF	0.2335	0.0005	879	3.947E-05	243197	59.381	15/oct/2021 22:40	A	2.864
T1A2211016-01	0.0070	0.0070	0.1374	NF	0.2111	0.0005	937	5.534E-05	291409	71.272	16/oct/2021 03:40	A	3.155
T1A2211016-02	0.0070	0.0070	0.1081	NF	0.1411	0.0005	475	-7.107E-05	103269	24.867	16/oct/2021 08:51	A	3.455
T1A2211016-03	0.0070	NF	0.0070	NF	0.2128	0.0005	822	2.387E-05	235040	57.369	16/oct/2021 14:55	A	3.801
T1A2211016-04	0.1335	0.0070	0.1214	NF	0.1788	0.0005	925	5.206E-05	313634	76.754	17/oct/2021 00:13	A	4.336
T1A2211017-01	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0070	0.0005	992	7.039E-05	294516	72.039	17/oct/2021 09:18	A	4.850
T1A2211017-02	0.0191	0.0070	0.0301	0.0070	0.0547	0.0005	1065	9.037E-05	293121	71.695	17/oct/2021 15:00	A	5.183
T1A2211017-03	NF	NF	NF	0.0070	0.0070	0.0005	1135	1.095E-04	215965	52.664	17/oct/2021 22:45	A	5.614
T1A2211018-01	0.1489	0.0140	0.0140	0.0140	0.2637	0.0005	1245	1.396E-04	206099	50.230	18/oct/2021 10:01	A	6.256
T1A2211020-01	0.1380	0.0140	0.0140	NF	0.0140	0.0005	2830	5.733E-04	22151	4.859	20/oct/2021 10:01	A	8.906

T1A2211022	0.0140	0.0140	NF	NF	0.5750		6586	1.601E-03	12174	2.398	22/oct/2021 11:21	A	11.564
T1A2211024	0.0140	0.0140	0.0140	NF	0.4165	0.0005	5874	1.406E-03	11424	2.213	24/oct/2021 08:51	A	14.044
T1A2211118							1621	2.425E-04	8057	1.382	18/nov/2021 12:00	A	42.635
T1A2211126							1241	1.385E-04	10173	1.904	26/nov/2021 12:00	A	52.159
T1A2211202	NF	NF	NF	NF	0.0693	0.0005	972	6.492E-05	4784	0.575	02/dic/2021 12:00	A	56.337
T1B2211016-02	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	703	-8.688E-06	7804	1.320	16/oct/2021 10:24	B	3.540
T1B2211016-03	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	1055	8.763E-05	10071	1.879	16/oct/2021 15:41	B	3.850
T1B2211016-04	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	917	4.987E-05	8407	1.469	17/oct/2021 00:50	B	4.364
T1B2211017-01	NF	0.1330	0.2665	0.2665	NF	0.0005	878	3.920E-05	7394	1.219	17/oct/2021 08:35	B	4.812
T1B2211017-02	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	863	3.509E-05	8142	1.403	17/oct/2021 15:36	B	5.211
T1B2211017-03	0.2665	0.1330	NF	NF	0.1330	0.0005	873	3.783E-05	7225	1.177	17/oct/2021 23:17	B	5.643
T1B2211018-01	NF	NF	NF	0.2665	0.1330	#N/D	919	5.042E-05	8728	1.548	18/oct/2021 09:16	B	6.208
T1B2211018-02	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	895	4.385E-05	7390	1.218	18/oct/2021 18:50	B	6.740
T1B2211019-01	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	884	4.084E-05	10811	2.062	19/oct/2021 09:22	B	7.552
T1B2211019-02	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	910	4.795E-05	38198	8.817	19/oct/2021 18:25	B	8.049
T1B2211020-01	0.0070	NF	NF	0.2650	0.1431	#N/D	989	6.957E-05	125177	30.271	20/oct/2021 09:13	B	8.861
T1B2211021	0.0070	0.0070	NF	0.0140	0.1791	#N/D	1147	1.128E-04	150682	36.561	21/oct/2021 10:08	B	10.193
T1B2211022	0.0070	0.0070	0.1731	NF	0.3084	#N/D	1125	1.068E-04	169374	41.172	22/oct/2021 11:38	B	11.573
T1B2211023	NF	0.0070	NF	NF	NF	#N/D	1099	9.967E-05	174147	42.349	23/oct/2021 10:56	B	12.843
T1B2211024	NF	NF	0.0070	NF	0.2153	#N/D	1181	1.221E-04	175306	42.635	24/oct/2021 07:58	B	13.989
T1B2211025	0.0070	NF	NF	NF	0.1691	#N/D	1459	1.982E-04	61876	14.657	25/oct/2021 09:32	B	15.380
T1B2211027	NF	NF	NF	NF	0.2015	#N/D	1792	2.893E-04	15186	3.141	27/oct/2021 09:13	B	17.947
T1B2211118							3364	7.194E-04	8492	1.490	18/nov/2021 12:00	B	42.635
T1B2211126							2479	4.773E-04	9950	1.849	26/nov/2021 12:00	B	52.159
T1B2211202	0.0070	NF	NF	NF	NF	#N/D	2114	3.774E-04	9340	1.699	02/dic/2021 12:00	B	56.337
T1EX211017-01	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0005	970	6.437E-05	11576	2.250	17/oct/2021 16:16	EX	5.249
T1EX211018-01	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0005	968	6.382E-05	16420	3.445	18/oct/2021 11:12	EX	6.321
T1EX211019-01	0.1204	0.0070	NF	0.0070	0.0070	0.0005	988	6.930E-05	28023	6.307	19/oct/2021 11:20	EX	7.653
T1EX211020-01	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0070	0.0005	1078	9.392E-05	50693	11.899	20/oct/2021 11:06	EX	8.961
T1EX211021-01	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0005	1128	1.076E-04	67661	16.084	21/oct/2021 11:58	EX	10.291

T1EX211022	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0005	1176	1.207E-04	56572	13.349	22/oct/2021 12:00	EX	11.600
T1EX211023	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.1141	0.0005	1295	1.533E-04	97915	23.546	23/oct/2021 13:04	EX	12.963
T1EX211024	0.0070	0.0070	0.1085	NF	0.1547	0.0005	1258	1.432E-04	86334	20.690	24/oct/2021 09:53	EX	14.100
T1EX211025	NF	0.0070	0.1414	NF	0.1674	0.0005	1638	2.472E-04	138190	33.480	25/oct/2021 10:41	EX	15.442
T1EX211027	0.0070	NF	0.3293	NF	0.5018	0.0005	1870	3.106E-04	121284	29.310	27/oct/2021 10:13	EX	18.001
T1EX211028						0.0005	2277	4.220E-04	119172	28.789	28/oct/2021 17:27	EX	19.680
T1EX211029	NF	0.0070	0.0070	0.0070	0.2147	0.0005	2086	3.697E-04	80586	19.272	29/oct/2021 09:41	EX	20.558
T1EX211030	NF	NF	0.0070	NF	0.0960						30/oct/2021 09:21	EX	21.819
T1EX211031	NF	NF	NF	NF	0.0949	0.0005	2659	5.265E-04	47457	11.101	31/oct/2021 13:00	EX	23.260
T1EX211102	NF	NF	NF	NF	0.1224	0.0005	2589	5.074E-04	29922	6.775	02/nov/2021 09:00	EX	25.547
T1EX211104	0.0140	0.0140	2.3468	0.0285	1.6570	0.0005	2326	4.354E-04	20552	4.464	04/nov/2021 10:13	EX	28.057
T1EX211109	0.3930	0.0140	1.6933	0.0285	2.7321	0.0005	1831	3.000E-04	13969	2.841	09/nov/2021 12:27	EX	32.897
T1EX211116	0.7257	0.0335	0.7296	0.0285	1.4500	0.0005	2885	5.884E-04	11393	2.205	16/nov/2021 12:36	EX	40.594
T1EX211118	0.1756	NF	0.1694	NF	0.6279	0.0005	2856	5.804E-04	10958	2.098	18/nov/2021 12:00	EX	42.635
T1EX211124	0.0285	NF	NF	NF	0.6114	0.0005	2891	5.900E-04	8398	1.466	24/nov/2021 12:00	EX	49.700
T1EX211202	0.0439	NF	NF	NF	0.1763	0.0005	2840	5.761E-04	8924	1.596	02/dic/2021 12:00	EX	56.337
T1EX21209	0.0341	NF	NF	NF	0.0070	#N/D	2749	5.512E-04	9401	1.714	09/dic/2021 12:00	EX	60.684
T1L1211202							1197	1.265E-04	6950	1.109	02/dic/2021 12:00	L1	56.337
T1L2211202							1382	1.771E-04	7594	1.268	02/dic/2021 12:00	L2	56.337
T1O211013-01	0.0236	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0005	891	4.275E-05	6360.5	0.964	14/oct/2021 00:30	O	0.128
T1O211013-02	0.0070	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0005	853	3.236E-05	6160.5	0.915	14/oct/2021 03:00	O	0.283
T1O211014-01	0.0131	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0453	893	4.330E-05	80956	19.363	14/oct/2021 07:02	O	0.532
T1O211014-02	NF	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0708	1310	1.574E-04	273463	66.846	14/oct/2021 11:20	O	0.786
T1O211014-03	0.0272	0.0070	NF	0.0070	NF	0.3144	1965	3.366E-04	279170	68.254	14/oct/2021 15:58	O	1.063
T1O211014-04	0.0246	0.0070	0.0070	NF	NF	0.1085	1096	9.885E-05	155710	37.802	14/oct/2021 19:12	O	1.259
T1O211014-05	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.3144	1696	2.630E-04	279170	68.254	14/oct/2021 23:10	O	1.494
T1O211015-01	0.0460	0.0070	NF	NF	NF	0.2804	2122	3.796E-04	439097	107.700	15/oct/2021 03:00	O	1.716
T1O211015-02	0.0337	NF	NF	NF	0.0070	0.1831	1874	3.117E-04	372316	91.228	15/oct/2021 08:59	O	2.056
T1O211015-03	0.0218	0.0070	0.0070	0.0070	0.0000	0.0989	1948	3.320E-04	319771	78.268	15/oct/2021 15:11	O	2.426
T1O211015-04	0.0200	0.0070	0.0137	0.0070	0.0007	0.0701	1923	3.251E-04	266564	65.144	15/oct/2021 21:42	O	2.806

T1O211016-01	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0208	0.0354	2128	3.812E-04	200404	48.826	16/oct/2021 03:00	O	3.116
T1O211016-02	NF	0.0070	NF	NF	NF	0.0084	2240	4.119E-04	106232	25.598	16/oct/2021 09:27	O	3.484
T1O211016-03	0.0285	0.0285	0.0285	NF	0.0285	0.0022	2286	4.245E-04	91136	21.874	16/oct/2021 16:16	O	3.880
T1O211016-04	0.0285	0.0285	NF	NF	0.0285	0.0020	2443	4.674E-04	99171	23.856	16/oct/2021 23:08	O	4.270
T1O211017-01	NF	0.0285	NF	NF	0.0285	0.0019	2911	5.955E-04	58846	13.910	17/oct/2021 09:55	O	4.887
T1O211019-01	NF	NF	NF	NF	0.0285	0.0030	3256	6.899E-04	20712	4.504	19/oct/2021 10:14	O	7.598
T1O211021-01	0.0285	0.0285	NF	NF	0.0285	0.0014	2353	4.428E-04	14952	3.083	21/oct/2021 10:57	O	10.237
T1O211023	NF	NF	NF	NF	NF	0.0010	2246	4.135E-04	11034	2.117	23/oct/2021 11:56	O	12.898
T1O211118							956	6.054E-05	7329	1.203	18/nov/2021 12:00	O	42.635
T1O211126							1354	1.694E-04	6704	1.049	26/nov/2021 12:00	O	52.159
T1O211202	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	1049	8.599E-05	7447	1.232	02/dic/2021 12:00	O	56.337

Tabla A3. 2: Lista de muestras analizadas, SAT T2

Código	BTEX Concentración (µg/L)					Cu EDTA Con. (mg/L)	Rodamina WT		Amino G		Hora muestreo	Punto	VOLUMEN RECARGADO ACUMULADO (m3)
	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m + p xileno	o-xileno		Señal (m/V)	Con. (mg/L)	Señal (m/V)	Con. (mg/L)			
T2A2211014-01	0.2888	0.5364	0.0987	0.0285	0.0481	0.0486	877	3.892E-05	13622	2.755	14/oct/2021 08:59	A	0.693
T2A2211014-02	0.0140	0.0393	0.0140	0.0285	0.0475	1.3073	13622	3.526E-03	6838	1.082	14/oct/2021 12:34	A	0.937
T2A2211014-03	0.0140	0.0140	0.1074	0.0285	1.1163	1.0372	21930	5.800E-03	135438	32.801	14/oct/2021 17:18	A	1.245
T2A2211014-04	0.0140	0.0140	0.0767	0.0285	0.2874	1.4128	21037	5.555E-03	138441	33.542	14/oct/2021 20:42	A	1.476
T2A2211014-05	0.0140	0.0140	0.0780	0.0285	0.2699	1.6711	32398	8.664E-03	233770	57.055	15/oct/2021 00:00	A	1.697
T2A2211015-01	0.0140	0.0140	0.2073	0.0285	0.2769	1.6513	32451	8.678E-03	218182	53.211	15/oct/2021 03:55	A	1.950
T2A2211015-02	0.0140	0.0140	0.0292	0.0285	0.4193	1.6090	31145	8.321E-03	208543	50.833	15/oct/2021 10:27	A	2.377
T2A2211015-03	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.1803	1.5671	32046	8.568E-03	218201	53.215	15/oct/2021 16:23	A	2.773
T2A2211015-04	0.0140	0.0140	0.0374	0.0285	0.2064	1.0831	32722	8.753E-03	189322	46.092	15/oct/2021 22:44	A	3.191
T2A2211016-01	0.0140	0.0491	0.0492	0.0285	0.1418	0.7370	26117	6.945E-03	122844	29.695	16/oct/2021 03:45	A	3.521
T2A2211016-02	0.0140	0.5661	0.0140	0.0285	0.0486	0.5315	18381	4.828E-03	71559	17.045	16/oct/2021 08:56	A	3.860
T2A2211016-03	0.0140	0.0818	0.0140	0.0285	0.0140	0.3132	29859	7.969E-03	122282	29.556	16/oct/2021 15:02	A	4.264
T2A2211016-04	0.0140	0.1134	0.0298	0.0285	0.0482	0.2401	31655	8.461E-03	244307	59.654	17/oct/2021 00:13	A	4.842
T2A2211017-01	0.0140	0.0140	0.0387	0.0285	0.0373	0.1770	20602	5.436E-03	205746	50.143	17/oct/2021 09:24	A	5.417
T2A2211017-02	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0412	0.1359	32164	8.600E-03	298218	72.952	17/oct/2021 15:06	A	5.774
T2A2211017-03	0.0140	0.1280	0.0140	0.0285	0.0140	0.0809	24664	6.548E-03	164980	40.088	17/oct/2021 22:45	A	6.256
T2A2211018-01	0.0070	0.0070	NF	NF	0.0070	0.0531	26353	7.010E-03	145626	35.314	18/oct/2021 10:07	A	6.967
T2A2211020-01	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0908	0.0054	26379	7.017E-03	15112	3.123	20/oct/2021 10:13	A	9.997
T2A2211022	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.1472		21604	5.710E-03	13609	2.752	22/oct/2021 11:23	A	13.114
T2A2211024	0.0070	0.0070	NF	NF	0.0872	0.0020	17441	4.571E-03	14950	3.083	24/oct/2021 08:58	A	15.959
T2A2211118							3462	7.462E-04	10284	1.932	18/nov/2021 12:00	A	51.070
T2A2211126							2384	4.513E-04	8237	1.427	26/nov/2021 12:00	A	60.838
T2A2211202	NF	NF	NF	NF	0.0070	0.0005	1397	1.812E-04	4864	0.595	02/dic/2021 12:00	A	65.511
T2B2211016-02	NF	0.1330	NF	NF	NF	0.0015	834	2.716E-05	6809	1.075	16/oct/2021 10:24	B	3.958
T2B2211016-03	0.2665	NF	NF	NF	NF	0.0017	699	-9.782E-06	4720	0.559	16/oct/2021 15:47	B	4.307
T2B2211016-04	NF	0.1330	NF	NF	NF	0.0013	761	7.183E-06	7335	1.204	17/oct/2021 00:50	B	4.874
T2B2211017-01	0.2665	NF	NF	NF	NF	0.0020	888	4.193E-05	7517	1.249	17/oct/2021 08:41	B	5.375

T2B2211017-02	0.2665	0.1330	NF	NF	NF	0.0019	869	3.673E-05	8951	1.603	17/oct/2021 15:41	B	5.816
T2B2211017-03	0.2665	0.1330	NF	NF	NF	0.0191	928	5.288E-05	53564	12.607	17/oct/2021 23:17	B	6.287
T2B2211018-01	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	1069	9.146E-05	281529	68.835	18/oct/2021 09:23	B	6.925
T2B2211018-02	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	1696	2.630E-04	301995	73.883	18/oct/2021 18:56	B	7.522
T2B2211019-01	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	2515	4.871E-04	369504	90.535	19/oct/2021 09:30	B	8.438
T2B2211019-02	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	3012	6.231E-04	358913	87.922	19/oct/2021 18:33	B	8.997
T2B2211020-01	NF	0.0070	NF	NF	0.1570	#N/D	7869	1.952E-03	399502	97.934	20/oct/2021 09:21	B	9.943
T2B2211021	NF	NF	0.0070	NF	0.1430	#N/D	18344	4.818E-03	237179	57.896	21/oct/2021 10:16	B	11.520
T2B2211022	NF	NF	0.0070	NF	0.1499	#N/D	24404	6.477E-03	96956	23.310	22/oct/2021 10:08	B	13.030
T2B2211023	NF	NF	NF	0.0140	0.2387	#N/D	27423	7.303E-03	25239	5.620	23/oct/2021 11:10	B	14.605
T2B2211024	NF	0.0070	0.0070	NF	0.1561	#N/D	29262	7.806E-03	15004	3.096	24/oct/2021 08:07	B	15.906
T2B2211025	NF	NF	0.1255	NF	0.2445	#N/D	28600	7.625E-03	12659	2.517	25/oct/2021 09:41	B	17.508
T2B2211027	NF	NF	NF	NF	0.1425	#N/D	21027	5.552E-03	12311	2.432	27/oct/2021 09:20	B	20.450
T2B2211118							7542	1.863E-03	9243	1.675	18/nov/2021 12:00	B	51.070
T2B2211126							8261	2.059E-03	11276	2.176	26/nov/2021 12:00	B	60.838
T2B2211202	0.0950	NF	NF	NF	NF	#N/D	5765	1.376E-03	8852	1.578	02/dic/2021 12:00	B	65.511
T2EX211017-01	0.0442	0.0390	0.1410	0.0493	NF	0.0121	855	3.290E-05	7592	1.268	17/oct/2021 16:22	EX	5.858
T2EX211018-01	0.0468	0.0126	0.0070	0.0647	0.0833	0.0128	862	3.482E-05	8859	1.580	18/oct/2021 11:18	EX	7.040
T2EX211019-01	0.0506	0.0196	0.0070	0.0428	0.0984	0.0244	869	3.673E-05	15721	3.273	19/oct/2021 11:27	EX	8.553
T2EX211020-01	0.1691	0.0070	NF	0.0494	0.0825	0.0776	1007	7.449E-05	42544	9.889	20/oct/2021 11:15	EX	10.061
T2EX211021-01	0.0688	0.0070	0.0070	0.0070	0.0795	0.2208	1335	1.642E-04	114249	27.575	21/oct/2021 12:05	EX	11.636
T2EX211022	NF	0.0070	0.1379	0.0070	0.1289	0.3762	1594	2.351E-04	163657	39.762	22/oct/2021 12:07	EX	13.157
T2EX211023	0.0182	NF	0.1495	NF	0.1888	0.4136	2932	6.012E-04	278293	68.037	23/oct/2021 13:13	EX	14.729
T2EX211024	0.0304	NF	0.1864	NF	0.5165	0.2394	4139	9.315E-04	253699	61.971	24/oct/2021 00:00	EX	15.405
T2EX211025	4.6079	0.7708	3.3414	NF	9.9921	0.0828	5784	1.382E-03	196126	47.770	25/oct/2021 10:49	EX	17.570
T2EX211027	0.2928	NF	3.4268	NF	29.8125	0.0160	11145	2.849E-03	87947	21.088	27/oct/2021 10:22	EX	20.511
T2EX211028						0.0102	13455	3.481E-03	55707	13.135	28/oct/2021 17:37	EX	22.391
T2EX211029	0.0226	0.0070	4.4429	NF	32.0910	0.0080	15823	4.129E-03	54340	12.798	29/oct/2021 09:54	EX	23.345
T2EX211030	0.0174	NF	0.4053	0.1117	24.0953						30/oct/2021 09:21	EX	24.694
T2EX211031	0.6546	0.0070	0.3541	0.1147	24.3972	0.0040	12637	3.257E-03	26716	5.985	31/oct/2021 13:14	EX	26.303
T2EX211102	0.2016	0.0140	0.0684	0.0631	19.4967	0.0012	11035	2.818E-03	15782	3.288	02/nov/2021 09:10	EX	28.844

T2EX211104	1.2716	0.0426	4.5098	0.0285	10.2935	0.0015	12553	3.234E-03	17985	3.831	04/nov/2021 10:22	EX	31.674
T2EX211109	0.7762	0.0140	2.7739	0.0285	4.2490	0.0018	7576	1.872E-03	10904	2.085	09/nov/2021 12:33	EX	38.494
T2EX211116	0.3952	0.0140	0.3313	0.0285	0.7247	0.0035	7819	1.938E-03	10639	2.019	16/nov/2021 12:44	EX	48.201
T2EX211118	0.3140	NF	0.2521	NF	0.3783	0.0015	6563	1.595E-03	9618	1.767	18/nov/2021 12:00	EX	51.070
T2EX21124	0.0285	NF	NF	NF	0.0285	0.0014	5600	1.331E-03	9901	1.837	24/nov/2021 12:00	EX	58.025
T2EX211202	0.1447	NF	0.0868	NF	0.1257	0.0042	5496	1.303E-03	7110	1.149	02/dic/2021 12:00	EX	65.511
T2EX211209	0.1862	0.0070	0.0803	NF	0.1335	#N/D	5182	1.217E-03	8693	1.539	09/dic/2021 12:00	EX	70.261
T2L1211202							2586	5.066E-04	5758	0.815	02/dic/2021 12:00	L1	65.511
T10211013-01	0.0768	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0036	971	6.464E-05	6853.5	1.086	14/oct/2021 00:30	O	0.141
T10211013-02	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.0070	5.2339	82589	2.240E-02	277027	67.725	14/oct/2021 03:00	O	0.307
T20211014-01	0.0070	0.0070	0.0581	NF	0.0506	1.3894	36253	9.719E-03	121807	29.439	14/oct/2021 07:35	O	0.605
T20211014-02	NF	0.0070	0.0070	NF	0.1406	3.6873	41702	1.121E-02	346692	84.908	14/oct/2021 11:30	O	0.859
T20211014-03	2.0201	2.0204	2.2428	NF	5.9728	2.7064	52290	1.411E-02	230325	56.206	14/oct/2021 16:08	O	1.168
T20211014-04	1.4709	1.4882	1.2973	NF	3.7948	2.9579	60684	1.640E-02	199919	48.706	14/oct/2021 19:31	O	1.399
T20211014-05	0.6929	0.6673	0.6582	NF	1.7288	1.5360	72591	1.966E-02	175021	42.565	14/oct/2021 23:10	O	1.642
T20211015-01	NF	0.0070	0.0070	NF	0.1003	0.7747	48134	1.297E-02	48134	11.268	15/oct/2021 03:00	O	1.895
T20211015-02	NF	0.0070	0.0650	NF	0.0862	0.3937	39111	1.050E-02	51663	12.138	15/oct/2021 09:12	O	2.300
T20211015-03	0.0070	0.0070	0.0070	NF	NF	0.1941	37367	1.002E-02	41369	9.599	15/oct/2021 15:21	O	2.707
T20211015-04	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.1246	30809	8.229E-03	34784	7.975	15/oct/2021 21:47	O	3.125
T20211016-01	0.0070	0.0070	NF	NF	0.0005	0.0467	26580	7.072E-03	43157	10.040	16/oct/2021 03:00	O	3.477
T20211016-02	NF	0.0285	NF	NF	0.0285	0.0268	15130	3.939E-03	41928	9.737	16/oct/2021 09:32	O	3.904
T20211016-03	NF	0.0070	NF	NF	0.0272	0.0120	12462	3.209E-03	59850	14.157	16/oct/2021 16:22	O	4.349
T20211016-04	NF	NF	NF	NF	0.0285	0.0088	15285	3.981E-03	67659	16.083	16/oct/2021 23:08	O	4.769
T20211017-01	0.0285	0.0285	NF	NF	0.0285	0.0066	8700	2.180E-03	22723	5.000	17/oct/2021 10:01	O	5.458
T20211019-01	NF	NF	0.0285	NF	0.3199	0.0023	9381	2.366E-03	9133	1.648	19/oct/2021 10:22	O	8.490
T20211021-01	NF	0.0285	NF	NF	0.0285	0.0014	12052	3.097E-03	13072	2.619	21/oct/2021 11:05	O	11.573
T20211023	NF	0.0285	NF	NF	0.0436	0.0010	8660	2.169E-03	11494	2.230	23/oct/2021 12:04	O	14.657
T20211118							1419	1.872E-04	10597	2.009	18/nov/2021 12:00	O	51.070
T20211126							1200	1.273E-04	6147	0.911	26/nov/2021 12:00	O	60.838
T20211202	0.0285	NF	NF	NF	NF	0.0012	908	4.741E-05	4787	0.576	02/dic/2021 12:00	O	65.511

Tabla A3. 3: Lista de muestras analizadas, SAT T3

Código	BTEX Concentración (µg/L)					Cu EDTA Con. (mg/L)	Rodamina WT		Amino G		Hora muestreo	Punto	VOLUMEN RECARGADO ACUMULADO (m3)
	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m + p xileno	o-xileno		Señal (m/V)	Con. (mg/L)	Señal (m/V)	Con. (mg/L)			
T3A2211014-01	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0140	0.0005	887	4.166E-05	8352	1.455	14/oct/2021 09:13	A	0.603
T3A2211014-02	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0140	0.0005	921	5.096E-05	8463	1.483	14/oct/2021 12:46	A	0.797
T3A2211014-03	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0140	0.0005	841	2.907E-05	7049	1.134	14/oct/2021 17:27	A	1.068
T3A2211014-04	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0140	0.0012	902	4.576E-05	7854	1.332	14/oct/2021 20:59	A	1.284
T3A2211014-05	0.0309	0.0459	0.0140	0.0285	0.0140	0.0022	950	5.890E-05	11973	2.348	15/oct/2021 00:05	A	1.480
T3A2211015-01	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0140	0.0030	976	6.601E-05	20300	4.402	15/oct/2021 04:00	A	1.705
T3A2211015-02	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0303	0.0034	949	5.862E-05	45652	10.655	15/oct/2021 10:43	A	2.086
T3A2211015-03	0.0140	0.0140	0.1562	0.0285	0.3269	0.0014	1129	1.079E-04	67788	16.115	15/oct/2021 16:34	A	2.462
T3A2211015-04	0.0140	0.0140	0.1270	0.0285	0.2660	0.0005	1460	1.984E-04	129993	31.458	15/oct/2021 22:48	A	2.880
T3A2211016-01	0.0140	0.0307	0.0434	0.0285	0.2963	0.0005	1807	2.934E-04	177579	43.196	16/oct/2021 03:50	A	3.217
T3A2211016-02	0.0140	0.0395	0.0539	0.0285	0.1125	0.0005	1431	1.905E-04	131639	31.864	16/oct/2021 09:02	A	3.572
T3A2211016-03	0.0140	0.0140	0.0841	0.0285	0.2378	0.0005	1965	3.366E-04	183316	44.611	16/oct/2021 15:07	A	3.979
T3A2211016-04	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0857	0.0005	3111	6.502E-04	196321	47.818	17/oct/2021 00:17	A	4.602
T3A2211017-01	0.0140	0.0140	0.0410	0.0285	0.5474	0.0005	3177	6.683E-04	144893	35.134	17/oct/2021 09:30	A	5.221
T3A2211017-02	0.0140	0.0140	0.0596	0.0285	0.1616	0.0005	3017	6.245E-04	133860	32.412	17/oct/2021 15:12	A	5.599
T3A2211017-03	0.0140	0.0140	0.0140	0.0285	0.0140	0.0005	3372	7.216E-04	171968	41.812	17/oct/2021 22:47	A	6.083
T3A2211018-01	0.0070	NF	0.0070	NF	0.2155	0.0005	3272	6.943E-04	257914	63.011	18/oct/2021 10:14	A	6.811
T3A2211020-01	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.2677	0.0005	3037	6.300E-04	231697	56.544	20/oct/2021 10:19	A	9.850
T3A2211022	0.0070	NF	0.0070	NF	0.6507		3119	6.524E-04	128115	30.995	22/oct/2021 11:26	A	12.900
T3A2211024	NF	0.0070	NF	NF	0.1800	0.0005	3396	7.282E-04	94741	22.763	24/oct/2021 09:08	A	15.743
T3A2211118							4393	1.001E-03	8501	1.492	18/nov/2021 12:00	A	49.675
T3A2211126							6579	1.599E-03	9729	1.795	26/nov/2021 12:00	A	59.010
T3A2211202	NF	NF	NF	NF	0.0070	0.0005	5487	1.300E-03	6997	1.121	02/dic/2021 12:00	A	63.441
T3B2211016-02	NF	NF	NF	NF	0.1330	0.0005	965	6.300E-05	22351	4.908	16/oct/2021 10:31	B	3.671
T3B2211016-03	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	1070	9.173E-05	13574	2.743	16/oct/2021 15:53	B	4.036
T3B2211016-04	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	967	6.355E-05	12681	2.523	17/oct/2021 00:58	B	4.646
T3B2211017-01	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	1028	8.024E-05	11711	2.284	17/oct/2021 08:48	B	5.165
T3B2211017-02	0.2665	0.1330	NF	NF	NF	0.0005	1050	8.626E-05	11771	2.298	17/oct/2021 15:46	B	5.631

T3B2211017-03	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	1082	9.502E-05	11498	2.231	17/oct/2021 23:21	B	6.126
T3B2211018-01	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	966	6.328E-05	10303	1.936	18/oct/2021 09:29	B	6.758
T3B2211018-02	NF	0.1330	NF	NF	NF	#N/D	1055	8.763E-05	15381	3.189	18/oct/2021 19:04	B	7.380
T3B2211019-01	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	1013	7.614E-05	66064	15.690	19/oct/2021 09:36	B	8.295
T3B2211019-02	NF	0.0070	0.1217	0.2626	0.1568	#N/D	1099	9.967E-05	152235	36.944	19/oct/2021 18:41	B	8.875
T3B2211020-01	0.0957	0.0070	NF	0.2759	0.1495	#N/D	1316	1.590E-04	246141	60.107	20/oct/2021 09:27	B	9.798
T3B2211021	0.0070	NF	NF	NF	0.1680	#N/D	1316	1.590E-04	246141	60.107	21/oct/2021 10:24	B	11.350
T3B2211022	0.0070	0.0070	0.1548	NF	0.2098	#N/D	1428	1.897E-04	322492	78.939	22/oct/2021 10:34	B	12.848
T3B2211023	0.0964	0.0070	0.1575	NF	0.2515	#N/D	1570	2.285E-04	313018	76.602	23/oct/2021 11:15	B	14.400
T3B2211024	0.1037	0.0070	0.1447	NF	0.2054	#N/D	1598	2.362E-04	240542	58.726	24/oct/2021 08:13	B	15.691
T3B2211025	0.0070	0.0070	0.1350	NF	0.1722	#N/D	1837	3.016E-04	163035	39.608	25/oct/2021 09:48	B	17.273
T3B2211027	0.1002	NF	0.1157	NF	0.1940	#N/D	2348	4.414E-04	154479	37.498	27/oct/2021 09:26	B	20.189
T3B2211118	0.0070	NF	0.0070	NF	NF		2945	6.048E-04	8682	1.537	18/nov/2021 12:00	B	49.675
T3B2211126							4392	1.001E-03	12043	2.366	26/nov/2021 12:00	B	59.010
T3B2211202	0.0070	NF	0.0070	NF	NF	#N/D	4679	1.079E-03	11407	2.209	02/dic/2021 12:00	B	63.441
T3EX211017-01	0.0282	0.0070	NF	0.0557	NF	0.0028	1048	8.571E-05	11066	2.125	17/oct/2021 16:27	EX	5.675
T3EX211018-01	0.0033	0.0411	0.1413	0.0730	0.0913	0.0005	1037	8.270E-05	9400	1.714	18/oct/2021 11:24	EX	6.886
T3EX211019-01	0.0305	0.0070	0.1396	0.0530	NF	0.0005	1065	9.037E-05	11630	2.264	19/oct/2021 11:34	EX	8.424
T3EX211020-01	0.0130	0.0070	0.1350	0.0568	0.0803	0.0005	1039	8.325E-05	14616	3.000	20/oct/2021 11:24	EX	9.924
T3EX211021-01	0.1170	0.0070	0.0070	0.0294	NF	0.0005	1041	8.380E-05	20730	4.508	21/oct/2021 12:12	EX	11.464
T3EX211022	0.1355	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0005	1046	8.517E-05	37186	8.567	22/oct/2021 12:13	EX	12.953
T3EX211023	0.1378	0.0070	0.0070	NF	NF	0.0005	795	1.649E-05	30790	6.990	23/oct/2021 13:20	EX	14.534
T3EX211024	1.0001	NF	0.0070	NF	0.0070	0.0005	1072	9.228E-05	107185	25.833	24/oct/2021 10:07	EX	15.806
T3EX211025	1.5675	NF	0.1751	0.0348	0.1759	0.0005	1198	1.268E-04	155596	37.773	25/oct/2021 10:57	EX	17.345
T3EX211027	0.3651	NF	0.3909	0.0495	0.4231	0.0005	1126	1.071E-04	107309	25.863	27/oct/2021 10:27	EX	20.250
T3EX211028						0.0005	1342	1.662E-04	125829	30.431	28/oct/2021 17:42	EX	22.124
T3EX211029	0.0822	0.0070	0.5801	NF	0.8573	0.0005	1277	1.484E-04	92917	22.313	29/oct/2021 10:00	EX	23.085
T3Ex211030	0.0053	0.0070	0.5700	NF	0.7748						29/oct/2021 09:54	EX	23.085
T3EX211031	0.0483	0.0070	1.3145	NF	1.9244	0.0005	1630	2.450E-04	66981	15.916	31/oct/2021 13:23	EX	26.031
T3EX211102	0.0140	0.0140	1.4661	0.0648	3.7759	0.0018	1834	3.008E-04	52517	12.349	02/nov/2021 09:16	EX	28.525
T3EX211104	1.5746	0.0140	1.1181	0.0285	2.3598	0.0005	1900	3.188E-04	33753	7.720	04/nov/2021 10:28	EX	31.284
T3EX211109	4.3250	0.0140	1.1473	0.0285	2.4907	0.0005	2196	3.998E-04	19970	4.321	09/nov/2021 12:39	EX	37.836

T3EX211116	2.8072	0.0140	1.0626	0.0285	3.2116	0.0005	1946	3.314E-04	10294	1.934	16/nov/2021 12:52	EX	47.035
T3EX211118	0.5888	NF	0.5399	NF	1.6269	0.0005	2588	5.071E-04	16008	3.344	18/nov/2021 12:00	EX	49.675
T3EX211124	0.0285	NF	0.0285	NF	0.1735	0.0005	2202	4.015E-04	14422	2.952	24/nov/2021 12:00	EX	56.236
T3EX211202	0.0871	NF	0.1984	NF	0.8619	0.0026	2705	5.391E-04	12363	2.444	02/dic/2021 12:00	EX	63.441
T3EX211209	0.3258	NF	0.3515	NF	1.1802	#N/D	2588	5.071E-04	10372	1.953	09/dic/2021 12:00	EX	68.145
T3L1211202							3276	6.954E-04	7119	1.151	02/dic/2021 12:00	L1	63.441
T3L2211202							4707	1.087E-03	7227	1.178	02/dic/2021 12:00	L2	63.441
T3O211013-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0005	956	6.054E-05	8977.5	1.609	14/oct/2021 00:36	O	0.124
T3O211013-02	0.0098	0.0070	NF	NF	0.0070	0.0809	1270	1.465E-04	13533.5	2.733	14/oct/2021 03:05	O	0.263
T3O211014-01	0.4953	0.4249	0.4409	NF	1.7999	0.1052	2201	4.012E-04	32456	7.400	14/oct/2021 07:53	O	0.530
T3O211014-02	0.5037	0.4640	0.4133	NF	1.3689	0.0426	3453	7.438E-04	117467	28.369	14/oct/2021 11:40	O	0.733
T3O211014-03	0.3683	0.3073	0.3667	NF	1.5846	0.0104	2693	5.358E-04	111636	26.931	14/oct/2021 16:19	O	0.997
T3O211014-04	0.3059	0.1951	0.3340	NF	0.8761	0.0063	2777	5.588E-04	136886	33.159	14/oct/2021 19:43	O	1.212
T3O211014-05	0.2090	0.1549	0.2411	NF	0.9172	0.0034	2780	5.596E-04	186836	45.479	14/oct/2021 23:15	O	1.429
T3O211015-01	0.0367	0.0070	NF	NF	NF	0.0005	1877	3.125E-04	163917	39.826	15/oct/2021 03:05	O	1.657
T3O211015-02	0.0327	NF	NF	NF	0.1004	0.0005	1846	3.041E-04	198353	48.320	15/oct/2021 09:23	O	2.010
T3O211015-03	NF	0.0070	0.0300	0.0403	0.2487	0.0005	1931	3.273E-04	214965	52.417	15/oct/2021 15:31	O	2.394
T3O211015-04	0.0601	0.0070	0.2184	NF	0.4494	0.0005	1648	2.499E-04	183593	44.679	15/oct/2021 21:52	O	2.824
T3O211016-01	0.0070	0.0070	NF	NF	0.0088	0.0005	1696	2.630E-04	158230	38.423	16/oct/2021 03:05	O	3.173
T3O211016-02	0.0173	0.0070	0.0265	NF	0.2262	0.0005	1190	1.246E-04	276684	67.640	16/oct/2021 09:45	O	3.614
T3O211016-03	0.0230	0.0070	NF	NF	0.2196	0.0021	1179	1.216E-04	383112	93.891	16/oct/2021 16:28	O	4.070
T3O211016-04	NF	0.0285	0.0285	NF	0.2040	0.0005	1983	3.416E-04	676496	166.256	16/oct/2021 23:13	O	4.535
T3O211017-01	NF	NF	NF	NF	0.0606	0.0005	1583	2.321E-04	477470	117.165	17/oct/2021 10:08	O	5.255
T3O211019-01	0.0285	NF	NF	NF	NF	0.0005	3035	6.294E-04	195181	47.537	19/oct/2021 10:29	O	8.349
T3O211021-01	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	2422	4.617E-04	133242	32.260	21/oct/2021 11:12	O	11.402
T3O211023	NF	NF	NF	NF	0.0285	0.0005	2117	3.782E-04	66047	15.686	23/oct/2021 12:13	O	14.462
T3O211118							6258	1.511E-03	10511	1.988	18/nov/2021 12:00	O	49.675
T3O211126							5639	1.342E-03	11612	2.259	26/nov/2021 12:00	O	59.010
T3O211202	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	3983	8.888E-04	7400	1.220	02/dic/2021 12:00	O	63.441

Tabla A3. 4: Lista de muestras analizadas, SAT T4

Código	BTEX Concentración (µg/L)					Cu EDTA Con. (mg/L)	Rodamina WT		Amino G		Hora muestreo	Punto	VOLUMEN RECARGADO ACUMULADO (m3)
	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m + p xileno	o-xileno		Señal (m/V)	Con. (mg/L)	Señal (m/V)	Con. (mg/L)			
T4A2211014-01	0.0140	0.0497	0.0298	0.0285	0.4702	0.0005	950	5.890E-05	9098	1.639	14/oct/2021 09:21	A	0.612
T4A2211014-02	0.0140	0.0459	0.2689	0.0285	0.7522	0.0005	997	7.176E-05	9510	1.741	14/oct/2021 12:58	A	0.808
T4A2211014-03	0.0140	0.0140	0.1473	0.0285	0.2107	0.0010	985	6.848E-05	10006	1.863	14/oct/2021 17:38	A	1.068
T4A2211014-04	0.0140	0.2200	0.0445	0.0285	0.0883	0.0005	977	6.629E-05	16996	3.587	14/oct/2021 21:10	A	1.276
T4A2211014-05	0.0140	0.0824	0.1307	0.0285	0.3632	0.0005	1117	1.046E-04	48770	11.424	15/oct/2021 00:05	A	1.438
T4A2211015-01	0.0140	0.0140	0.0859	0.0285	0.1607	0.0005	1154	1.147E-04	53143	12.503	15/oct/2021 04:00	A	1.657
T4A2211015-02	0.0140	0.1300	0.0398	0.0285	0.2673	0.0005	1081	9.474E-05	59862	14.160	15/oct/2021 10:55	A	2.057
T4A2211015-03	0.0140	0.0459	0.1073	0.0285	0.1597	0.0005	1085	9.584E-05	107851	25.997	15/oct/2021 16:42	A	2.391
T4A2211015-04	0.0450	0.0677	0.0879	0.0285	0.1449	0.0005	1559	2.255E-04	204952	49.947	15/oct/2021 22:52	A	2.743
T4A2211016-01	0.0140	0.0140	0.1159	0.0285	0.1995	0.0005	1583	2.321E-04	212907	51.909	16/oct/2021 04:02	A	3.035
T4A2211016-02	0.0140	0.0140	0.1135	0.0285	0.1993	0.0005	1424	1.886E-04	179858	43.758	16/oct/2021 09:08	A	3.297
T4A2211016-03	0.0140	0.1011	0.0140	0.0285	0.1301	0.0005	1575	2.299E-04	216549	52.808	16/oct/2021 15:14	A	3.636
T4A2211016-04	0.0140	0.0298	0.0789	0.0285	0.2614	0.0005	1760	2.805E-04	228553	55.769	17/oct/2021 00:17	A	4.125
T4A2211017-01	0.0140	0.0140	0.0813	0.0285	0.2896	0.0005	1785	2.874E-04	189984	46.255	17/oct/2021 09:36	A	4.638
T4A2211017-02	0.0140	0.0140	0.0556	0.0285	0.2357	0.0005	1890	3.161E-04	197940	48.218	17/oct/2021 15:19	A	4.957
T4A2211017-03	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0005	2122	3.796E-04	219292	53.484	17/oct/2021 22:47	A	5.375
T4A2211018-01	0.0070	NF	NF	NF	0.0070	0.0005	2214	4.048E-04	331163	81.078	18/oct/2021 10:21	A	6.020
T4A2211020-01	NF	0.0070	0.0070	0.0070	0.2042	0.0005	4089	9.178E-04	257049	62.797	20/oct/2021 10:27	A	8.693
T4A2211022	0.0070	0.0070	NF	NF	0.1752		3631	7.925E-04	125189	30.273	22/oct/2021 10:41	A	11.254
T4A2211024	0.0070	NF	NF	NF	0.1223	0.0005	2618	5.153E-04	49270	11.548	24/oct/2021 09:16	A	13.711
T4A2211118							2454	4.704E-04	8165	1.409	18/nov/2021 12:00	A	44.278
T4A2211126							3538	7.670E-04	9170	1.657	26/nov/2021 12:00	A	53.418
T4A2211202	NF	0.0070	NF	NF	0.2659	0.0005	4284	9.712E-04	7531	1.253	02/dic/2021 12:00	A	56.181
T4B22110116-02	NF	0.1330	NF	NF	NF	0.0005	921	5.096E-05	8951	1.603	16/oct/2021 10:38	B	3.377
T4B22110116-03	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	958	6.109E-05	11024	2.114	16/oct/2021 16:00	B	3.673
T4B22110116-04	NF	0.1330	NF	NF	NF	0.0005	1079	9.420E-05	11271	2.175	17/oct/2021 00:58	B	4.162
T4B2211017-01	0.2665	0.1330	NF	NF	NF	0.0005	1008	7.477E-05	9308	1.691	17/oct/2021 09:01	B	4.610

T4B2211017-02	0.2665	0.1330	NF	NF	NF	0.0005	976	6.601E-05	9281	1.684	17/oct/2021 15:54	B	4.995
T4B2211017-03	0.2665	NF	NF	NF	NF	0.0005	1029	8.051E-05	10801	2.059	17/oct/2021 23:21	B	5.412
T4B2211018-01	NF	NF	NF	NF	0.1330	#N/D	1003	7.340E-05	17427	3.694	18/oct/2021 09:35	B	5.974
T4B2211018-02	NF	0.1330	NF	NF	NF	#N/D	1132	1.087E-04	46668	10.906	18/oct/2021 19:11	B	6.520
T4B2211019-01	0.2665	NF	NF	NF	0.1330	#N/D	1158	1.158E-04	150046	36.405	19/oct/2021 09:48	B	7.344
T4B2211019-02	0.1075	0.0070	0.1214	0.2660	0.2374	#N/D	1224	1.339E-04	207417	50.555	19/oct/2021 18:51	B	7.856
T4B2211020-01	NF	0.0070	0.1185	0.2701	0.1832	#N/D	1590	2.340E-04	297511	72.777	20/oct/2021 09:35	B	8.648
T4B2211021	NF	0.0070	NF	0.2739	0.2498	#N/D	1590	2.340E-04	297511	72.777	21/oct/2021 10:32	B	9.990
T4B2211022	NF	0.0070	0.1528	NF	0.3786	#N/D	1803	2.923E-04	319849	78.287	22/oct/2021 10:41	B	11.254
T4B2211023	0.1042	0.0070	0.1196	NF	0.2203	#N/D	1682	2.592E-04	244742	59.762	23/oct/2021 11:23	B	12.558
T4B2211024	NF	NF	0.0070	NF	0.2425	#N/D	1847	3.043E-04	174134	42.346	24/oct/2021 08:21	B	13.667
T4B2211025	NF	NF	NF	NF	0.1524	#N/D	2195	3.996E-04	133768	32.390	25/oct/2021 09:55	B	14.993
T4B2211027	NF	NF	NF	0.0140	0.1872	#N/D	2318	4.332E-04	46078	10.760	27/oct/2021 09:34	B	17.480
T4B2211118							2035	3.558E-04	10527	1.992	18/nov/2021 12:00	B	44.278
T4B2211126							2941	6.037E-04	9632	1.771	26/nov/2021 12:00	B	53.418
T4B2211202	NF	NF	NF	NF	0.0070	#N/D	1160	1.164E-04	2610	0.039	02/dic/2021 00:00	B	55.917
T4EX211017-01	0.0250	0.0173	0.1378	0.0539	0.0921	0.0013	1120	1.054E-04	10859	2.073	17/oct/2021 16:31	EX	5.032
T4EX211018-01	0.0198	0.0277	0.1380	0.0493	0.0873	0.0005	1086	9.611E-05	10949	2.096	18/oct/2021 11:30	EX	6.075
T4EX211019-01	0.0295	0.0070	0.0070	0.0477	0.0839	0.0005	1139	1.106E-04	12069	2.372	19/oct/2021 11:41	EX	7.456
T4EX211020-01	0.0239	0.0070	0.1350	NF	0.0795	0.0005	1053	8.708E-05	11556	2.245	20/oct/2021 11:34	EX	8.756
T4EX211021-01	0.0037	0.0251	0.0070	0.0070	0.0070	0.0005	1094	9.830E-05	16180	3.386	21/oct/2021 12:18	EX	10.077
T4EX211022	0.0401	0.0070	0.0070	0.0456	NF	0.0005	1145	1.123E-04	41828	9.712	22/oct/2021 12:21	EX	11.341
T4EX211023	0.2840	0.0070	NF	NF	0.0070	0.0005	1101	1.002E-04	95391	22.924	23/oct/2021 13:28	EX	12.666
T4EX211024	1.8359	0.0270	0.0070	0.0070	NF	0.0005	1171	1.194E-04	166110	40.367	24/oct/2021 10:14	EX	13.763
T4EX211025	1.3175	0.0070	0.0070	0.0070	0.0833	0.0005	1262	1.443E-04	185733	45.207	25/oct/2021 11:04	EX	15.053
T4EX211027	3.5175	0.0304	0.3199	NF	0.4576	0.0005	1416	1.864E-04	159618	38.766	27/oct/2021 10:34	EX	17.533
T4EX211028						0.0005	1487	2.058E-04	122674	29.653	28/oct/2021 17:55	EX	19.177
T4EX211029	0.5583	NF	0.3928	NF	0.8530	0.0005	1606	2.384E-04	112455	27.133	29/oct/2021 10:07	EX	20.029
T4Ex211030	2.3374	0.0070	0.4689	NF	1.0779						29/oct/2021 09:54	EX	20.019
T4EX211031	0.4525	0.0140	0.6732	0.0285	2.4958	0.0005	1722	2.701E-04	68817	16.369	31/oct/2021 13:35	EX	22.725
T4EX211102	2.6831	0.0333	0.1512	0.0285	2.9800	0.0005	2062	3.632E-04	46515	10.868	02/nov/2021 09:23	EX	24.975
T4EX211104	3.2569	0.0342	0.4802	0.0285	1.5892	0.0005	2008	3.484E-04	25159	5.601	04/nov/2021 10:36	EX	27.520
T4EX211109	1.7588	0.0140	0.3065	0.0285	1.1817	0.0005	2260	4.173E-04	17674	3.754	09/nov/2021 12:45	EX	33.415

T4EX211116	1.2750	0.0140	0.2933	0.0285	1.3902	0.0011	2584	5.060E-04	13362	2.691	16/nov/2021 12:59	EX	41.783
T4EX211118	0.6232	0.0070	0.1781	NF	0.7210	0.0005	2334	4.376E-04	12647	2.515	18/nov/2021 12:00	EX	44.278
T4EX211124	0.0285	0.0285	NF	0.0285	0.5349	0.0005	2372	4.480E-04	9686	1.784	24/nov/2021 12:00	EX	50.863
T4EX211202	0.2755	0.0070	0.2163	NF	1.1627	0.0005	2649	5.238E-04	11693	2.279	02/dic/2021 12:00	EX	56.181
T4EX211209	0.5496	0.0070	0.1521	NF	0.8405		2323	4.346E-04	9753	1.801	09/dic/2021 12:00	EX	59.550
T4L1211202							1814	2.953E-04	6680	1.043	02/dic/2021 12:00	L1	56.181
T4L2211202							2977	6.135E-04	7105	1.148	02/dic/2021 12:00	L2	56.181
T4O211013-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0005	1024	7.915E-05	8363.5	1.458	14/oct/2021 00:30	O	0.122
T4O211013-02	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	1012	7.586E-05	9117.5	1.644	14/oct/2021 03:00	O	0.260
T4O211014-01	0.2561	0.1699	0.2747	NF	0.5728	0.0248	1236	1.372E-04	85737	20.542	14/oct/2021 08:04	O	0.537
T4O211014-02	0.2548	0.1557	0.2663	NF	0.3536	0.0251	1641	2.480E-04	168560	40.971	14/oct/2021 11:50	O	0.752
T4O211014-03	0.1628	0.1187	0.0140	NF	0.3047	0.0035	2130	3.818E-04	148118	35.929	14/oct/2021 16:30	O	1.013
T4O211014-04	0.1425	0.0140	NF	NF	0.4134	0.0039	4024	9.000E-04	203627	49.621	14/oct/2021 19:55	O	1.200
T4O211014-05	0.1524	0.0140	0.0140	NF	0.2920	0.0021	5585	1.327E-03	251386	61.400	14/oct/2021 23:15	O	1.391
T4O211015-01	0.0303	0.0492	NF	NF	0.0901	0.0005	7063	1.732E-03	196406	47.839	15/oct/2021 03:05	O	1.610
T4O211015-02	NF	NF	NF	NF	0.0708	0.0018	5222	1.228E-03	141061	34.188	15/oct/2021 09:33	O	1.980
T4O211015-03	0.0177	0.0070	0.0172	0.0070	0.3299	0.0005	7111	1.745E-03	149118	36.176	15/oct/2021 15:37	O	2.324
T4O211015-04	NF	0.0070	NF	0.0070	0.0150	0.0005	6778	1.654E-03	121325	29.320	15/oct/2021 21:57	O	2.686
T4O211016-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0058	0.0005	6519	1.583E-03	133923	32.428	16/oct/2021 03:05	O	2.980
T4O211016-02	NF	0.0070	0.0070	NF	0.0099	0.0005	5250	1.235E-03	130800	31.657	16/oct/2021 09:54	O	3.341
T4O211016-03	0.0285	NF	NF	NF	0.0285	0.0005	5291	1.247E-03	173395	42.164	16/oct/2021 16:34	O	3.709
T4O211016-04	0.0285	0.0285	0.0285	0.0285	0.9855	0.0005	3964	8.836E-04	164836	40.053	16/oct/2021 23:13	O	4.069
T4O211017-01	0.0285	NF	NF	NF	NF	0.0005	3312	7.052E-04	328275	80.365	17/oct/2021 10:14	O	4.676
T4O211019-01	0.0285	NF	NF	NF	NF	0.0005	3968	8.847E-04	271507	66.363	19/oct/2021 10:41	O	7.400
T4O211021-01	NF	NF	NF	NF	0.0285	0.0005	3435	7.389E-04	125769	30.417	21/oct/2021 11:19	O	10.025
T4O211023	0.0285	NF	NF	NF	0.0285	0.0005	2376	4.491E-04	51784	12.168	23/oct/2021 12:19	O	12.603
T4O211118							2533	4.920E-04	8850	1.578	18/nov/2021 12:00	O	44.278
T4O211126							2129	3.815E-04	9823	1.818	26/nov/2021 12:00	O	53.418
T4O211202	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	1512	2.127E-04	7456	1.234	02/dic/2021 12:00	O	56.181

Tabla A3. 5: Lista de muestras analizadas, SAT T5

Código	BTEX Concentración (µg/L)					Cu EDTA Con. (mg/L)	Rodamina WT		Amino G		Hora muestreo	Punto	VOLUMEN RECARGADO ACUMULADO (m3)
	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m + p xileno	o-xileno		Señal (m/V)	Con. (mg/L)	Señal (m/V)	Con. (mg/L)			
T5A2211014-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0070	0.0130	1702	2.647E-04	11414	2.210	14/oct/2021 09:33	A	0.650
T5A2211014-02	0.0070	0.0070	0.1244	NF	0.1388	0.0126	2231	4.094E-04	12614	2.506	14/oct/2021 13:12	A	0.867
T5A2211014-03	0.0070	0.0070	0.1339	NF	0.1604	0.0376	5024	1.174E-03	17387	3.684	14/oct/2021 17:47	A	1.136
T5A2211014-04	NF	NF	0.0070	0.0070	0.3896	0.0026	1117	1.046E-04	48770	11.424	14/oct/2021 21:17	A	1.346
T5A2211014-05	NF	0.0070	0.0070	0.0070	0.5511	0.0005	1307	1.566E-04	9503	1.739	15/oct/2021 00:10	A	1.526
T5A2211015-01	NF	0.0070	0.0070	0.0070	0.2090	0.0005	1029	8.051E-05	7481	1.240	15/oct/2021 04:05	A	1.756
T5A2211015-02	0.0070	0.0070	0.0070	NF	0.3600	0.0031	1210	1.300E-04	270392	66.088	15/oct/2021 11:05	A	2.184
T5A2211015-03	0.3748	0.0813	0.1853	NF	0.4630	0.0012	1369	1.735E-04	544844	133.783	15/oct/2021 16:50	A	2.531
T5A2211015-04	0.0070	0.0070	0.2562	NF	0.3928	0.0005	1613	2.403E-04	642181	157.792	15/oct/2021 22:56	A	2.883
T5A2211016-01	0.1409	0.0070	0.0912	NF	0.1458	0.0005	1840	3.024E-04	509407	125.042	16/oct/2021 03:58	A	3.174
T5A2211016-02	0.0654	0.0070	0.0837	NF	0.1976	0.0059	1747	2.770E-04	426706	104.644	16/oct/2021 09:14	A	3.486
T5A2211016-03	0.0596	0.0070	0.0457	NF	0.1807	0.0136	2078	3.675E-04	290431	71.031	16/oct/2021 15:20	A	3.845
T5A2211016-04	0.0340	0.0070	0.0070	NF	0.0361	0.0005	1997	3.454E-04	464802	114.040	17/oct/2021 00:25	A	4.362
T5A2211017-01	0.0070	NF	0.0541	NF	0.1336	0.0011	1611	2.398E-04	374741	91.826	17/oct/2021 09:42	A	4.895
T5A2211017-02	0.2331	0.0140	0.0140	NF	0.3359	0.0145	2288	4.250E-04	477916	117.275	17/oct/2021 15:24	A	5.222
T5A2211017-03	0.2170	0.0140	0.2364	0.0140	0.3584	0.0005	1451	1.960E-04	445523	109.285	17/oct/2021 22:51	A	5.658
T5A2211018-01	0.1923	0.1426	0.2905	0.0140	0.4286	0.0005	1514	2.132E-04	399693	97.981	18/oct/2021 10:28	A	6.319
T5A2211020-01	0.0140	0.0140	NF	NF	0.5842	0.0013	1708	2.663E-04	148675	36.066	20/oct/2021 10:39	A	9.054
T5A2211022	0.0140	0.0140	NF	0.0140	0.6548		2095	3.722E-04	105863	25.507	22/oct/2021 11:30	A	11.801
T5A2211024	0.1380	0.0140	NF	NF	0.7548	0.0005	1764	2.816E-04	49577	11.623	24/oct/2021 09:23	A	14.522
T5A2211118							1948	3.320E-04	8475	1.485	18/nov/2021 12:00	A	48.828
T5A2211126							1757	2.797E-04	9610	1.765	26/nov/2021 12:00	A	58.418
T5A2211202	NF	NF	NF	NF	0.3846	0.0005	1285	1.506E-04	5508	0.754	02/dic/2021 12:00	A	62.330
T5B2211016-02	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	714	-5.678E-06	9808	1.814	16/oct/2021 10:45	B	3.573
T5B2211016-03	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	736	3.420E-07	9321	1.694	16/oct/2021 16:06	B	3.883
T5B2211016-04	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	823	2.415E-05	5519	0.756	17/oct/2021 01:04	B	4.401
T5B2211017-01	NF	NF	0.2665	0.2665	NF	0.0005	813	2.141E-05	8677	1.535	17/oct/2021 09:07	B	4.857
T5B2211017-02	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	825	2.469E-05	8681	1.536	17/oct/2021 16:00	B	5.251
T5B2211017-03	0.2665	NF	NF	NF	NF	0.0005	838	2.825E-05	8523	1.497	17/oct/2021 23:25	B	5.687
T5B2211018-01	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	841	2.907E-05	8885	1.587	18/oct/2021 09:42	B	6.281
T5B2211018-02	0.2665	NF	NF	NF	NF	#N/D	804	1.895E-05	9925	1.843	18/oct/2021 19:18	B	6.825
T5B2211019-01	0.2665	0.1330	NF	NF	NF	#N/D	883	4.057E-05	161687	39.276	19/oct/2021 09:56	B	7.662
T5B2211019-02	0.0070	0.0070	NF	0.0140	0.1622	#N/D	930	5.343E-05	252893	61.772	19/oct/2021 19:00	B	8.172

T5B2211020-01	NF	NF	NF	NF	0.0070	#N/D	996	7.148E-05	244167	59.620	20/oct/2021 09:45	B	9.007
T5B2211021	0.1246	NF	NF	0.0140	0.1638	#N/D	1147	1.128E-04	359419	88.047	21/oct/2021 10:39	B	10.403
T5B2211022	0.0956	NF	NF	NF	0.1905	#N/D	842	2.935E-05	116682	28.175	22/oct/2021 11:11	B	11.792
T5B2211023	0.1022	NF	NF	NF	0.1889	#N/D	1346	1.673E-04	302137	73.918	23/oct/2021 11:32	B	13.212
T5B2211024	0.0070	0.0070	0.1123	NF	0.1587	#N/D	1075	9.310E-05	160914	39.085	24/oct/2021 08:27	B	14.463
T5B2211025	0.1017	NF	NF	NF	NF	#N/D	1434	1.913E-04	172377	41.913	25/oct/2021 10:04	B	15.985
T5B2211027	0.0070	NF	NF	NF	0.1444	#N/D	1492	2.072E-04	113572	27.408	27/oct/2021 09:44	B	18.761
T5B2211118							1955	3.339E-04	8845	1.577	18/nov/2021 12:00	B	48.828
T5B2211126							2867	5.834E-04	12326	2.435	26/nov/2021 12:00	B	58.418
T5B2211202	NF	NF	NF	NF	0.1330	#N/D	1436	1.919E-04	5588	0.773	02/dic/2021 12:00	B	62.330
T5EX211017-01	0.0044	0.0441	0.1519	0.0881	0.0971	0.0015	849	3.126E-05	9334	1.697	17/oct/2021 16:35	EX	5.289
T5EX211018-01	0.0239	0.0316	0.1459	0.0712	0.0995	0.0005	880	3.974E-05	10126	1.893	18/oct/2021 11:42	EX	6.395
T5EX211019-01	0.0253	0.0577	0.1443	0.0516	0.0836	0.0005	813	2.141E-05	11730	2.288	19/oct/2021 11:48	EX	7.766
T5EX211020-01	0.0608	0.0905	0.1477	0.0462	0.0070	0.0005	818	2.278E-05	12801	2.553	20/oct/2021 11:40	EX	9.110
T5EX211021-01	0.0704	0.0413	0.1480	0.0440	0.0070	0.0005	882	4.029E-05	22906	5.045	21/oct/2021 12:24	EX	10.507
T5EX211022	0.2293	0.0740	0.1423	0.0594	0.0808	0.0005	897	4.440E-05	38201	8.818	22/oct/2021 12:27	EX	11.856
T5EX211023	0.5819	0.0403	0.1440	0.0444	NF	0.0005	900	4.522E-05	70047	16.672	23/oct/2021 13:35	EX	13.332
T5EX211024	3.7636	0.1893	0.1520	0.0297	0.0847	0.0005	955	6.027E-05	126976	30.714	24/oct/2021 10:21	EX	14.581
T5EX211025	4.1329	0.0973	0.1458	0.0322	0.0860	0.0005	1013	7.614E-05	141196	34.222	25/oct/2021 11:11	EX	16.053
T5EX211027	0.0529	0.0070	0.2230	NF	0.1929	0.0005	1161	1.166E-04	153953	37.368	27/oct/2021 10:40	EX	18.818
T5EX211028						0.0005	898	4.467E-05	49620	11.634	28/oct/2021 17:57	EX	20.577
T5EX211029	0.1364	0.0070	0.3206	0.5011	0.3633	0.0005	1243	1.391E-04	83890	20.087	29/oct/2021 10:14	EX	21.499
T5Ex211030	0.1759	0.0070	0.3710	NF	0.5142						29/oct/2021 09:54	EX	21.480
T5EX211031	0.1377	0.0697	0.1318	0.0285	3.2710	0.0005	1408	1.842E-04	45596	10.642	31/oct/2021 13:44	EX	24.420
T5EX211102	1.4136	0.0140	1.9135	0.0285	3.1534	0.0012	1536	2.192E-04	35887	8.247	02/nov/2021 09:28	EX	26.908
T5EX211104	0.0140	0.0140	0.9399	0.0285	2.8917	0.0012	1424	1.886E-04	21894	4.795	04/nov/2021 10:45	EX	29.687
T5EX211109	2.3784	0.0140	1.7482	0.0285	2.5391	0.0005	1373	1.746E-04	18233	3.892	09/nov/2021 12:55	EX	36.132
T5EX211116	6.6030	0.0140	1.3094	0.0285	2.0797	0.0005	1582	2.318E-04	16016	3.345	16/nov/2021 13:05	EX	45.851
T5EX211118	0.4123	0.0070	0.5355	NF	1.0450	0.0005	1602	2.373E-04	18767	4.024	18/nov/2021 12:00	EX	48.828
T5EX211124	NF	NF	NF	NF	0.1401	0.0005	1039	8.325E-05	9807	1.814	24/nov/2021 12:00	EX	55.679
T5EX211202	0.1819	NF	0.0873	NF	2.7791	0.0017	1627	2.441E-04	9435	1.722	02/dic/2021 12:00	EX	62.330
T5EX21209	0.2157	NF	0.0070	NF	3.2957	#N/D	1416	1.864E-04	7894	1.342	09/dic/2021 12:00	EX	66.736
T5L1211202							5292	1.247E-03	6509	1.001	02/dic/2021 12:00	L1	62.330
T5L2211202							2169	3.924E-04	6564	1.014	02/dic/2021 12:00	L2	62.330
T5O211013-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0070	0.0011	885	4.111E-05	6210.5	0.927	14/oct/2021 00:45	O	0.136
T5O211013-02	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.1223	930	5.343E-05	14904	3.071	14/oct/2021 03:11	O	0.280
T5O211014-01	0.2394	0.1359	0.0140	NF	0.2960	0.4604	1040	8.352E-05	349275	85.545	14/oct/2021 08:15	O	0.571
T5O211014-02	0.1801	0.1479	0.2248	NF	0.2519	0.1808	1727	2.715E-04	667940	164.145	14/oct/2021 12:03	O	0.797
T5O211014-03	0.1930	0.0140	0.0140	NF	0.2778	0.0454	2384	4.513E-04	338126	82.795	14/oct/2021 16:42	O	1.077
T5O211014-04	0.1671	0.0140	0.0140	0.0140	0.0140	0.0280	2624	5.169E-04	238557	58.236	14/oct/2021 20:11	O	1.286
T5O211014-05	0.0278	NF	NF	NF	NF	0.0126	2634	5.197E-04	195267	47.558	14/oct/2021 23:20	O	1.466

T5O211015-01	0.0226	0.0070	NF	NF	0.0070	0.0067	3183	6.699E-04	197624	48.140	15/oct/2021 03:10	O	1.707
T5O211015-02	0.0452	NF	NF	NF	NF	0.0029	3328	7.096E-04	128391	31.063	15/oct/2021 09:46	O	2.104
T5O211015-03	0.0070	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0053	3439	7.400E-04	103848	25.010	15/oct/2021 15:47	O	2.462
T5O211015-04	0.0219	0.0070	0.0070	NF	0.0009	0.0016	3155	6.622E-04	96317	23.152	15/oct/2021 22:02	O	2.834
T5O211016-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0070	#N/D	2632	5.191E-04	86815	20.808	16/oct/2021 03:10	O	3.135
T5O211016-02	NF	0.0070	0.0070	0.0070	0.0013	0.0012	2383	4.510E-04	50241	11.787	16/oct/2021 10:04	O	3.534
T5O211016-03	0.0285	NF	0.0285	NF	0.0285	0.0005	3281	6.967E-04	64557	15.318	16/oct/2021 16:41	O	3.921
T5O211016-04	NF	NF	NF	NF	0.0285	S/V	3144	6.592E-04	62325	14.768	16/oct/2021 23:18	O	4.296
T5O211017-01	NF	0.0285	NF	NF	0.0285	0.0012	2911	5.955E-04	28684	6.470	17/oct/2021 10:20	O	4.931
T5O211019-01	NF	NF	NF	NF	NF	0.0013	4368	9.942E-04	28285	6.372	19/oct/2021 10:49	O	7.709
T5O211021-01	0.0285	NF	NF	NF	0.0285	0.0017	4769	1.104E-03	14457	2.961	21/oct/2021 11:26	O	10.450
T5O211023	0.0285	NF	NF	NF	0.0285	0.0014	4089	9.178E-04	10699	2.034	23/oct/2021 12:29	O	13.262
T5O211118							3507	7.586E-04	8856	1.579	18/nov/2021 12:00	O	48.828
T5O211126							4266	9.662E-04	9205	1.666	26/nov/2021 12:00	O	58.418
T5O211202	NF	NF	NF	NF	0.0285	0.0019	2373	4.483E-04	7584	1.266	02/dic/2021 12:00	O	62.330

Tabla A3. 6: Lista de muestras analizadas, SAT T6

Código	BTEX Concentración (µg/L)					Cu EDTA Con. (mg/L)	Rodamina WT		Amino G		Hora muestreo	Punto	VOLUMEN RECARGADO ACUMULADO (m3)
	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m + p xileno	o-xileno		Señal (m/V)	Con. (mg/L)	Señal (m/V)	Con. (mg/L)			
T6A2211014-01	NF	NF	0.0070	NF	0.1658	0.0029	1048	8.571E-05	8819	1.570	14/oct/2021 09:40	A	0.690
T6A2211014-02	NF	0.0070	0.0070	0.0070	0.2085	0.0055	1099	9.967E-05	8102	1.393	14/oct/2021 13:26	A	0.948
T6A2211014-03	0.0070	0.0070	0.1029	NF	0.1514	0.0012	915	4.932E-05	7108	1.148	14/oct/2021 17:57	A	1.265
T6A2211014-04	NF	NF	NF	0.0070	0.1546	0.0015	1029	8.051E-05	38368	8.859	14/oct/2021 21:24	A	1.506
T6A2211014-05	0.0070	NF	0.0070	NF	0.2039	0.0012	1093	9.803E-05	276353	67.559	15/oct/2021 00:10	A	1.703
T6A2211015-01	NF	0.0070	NF	NF	0.2596	0.0110	1365	1.725E-04	636010	156.270	15/oct/2021 04:05	A	1.965
T6A2211015-02	0.5380	0.0070	0.4342	NF	0.5610	0.0389	3262	6.915E-04	1036885	255.147	15/oct/2021 11:15	A	2.468
T6A2211015-03	NF	NF	NF	NF	0.1165	0.0435	6816	1.664E-03	1040855	256.126	15/oct/2021 16:57	A	2.874
T6A2211015-04	NF	NF	NF	NF	NF	0.0055	10347	2.630E-03	651683	160.135	15/oct/2021 23:00	A	3.304
T6A2211016-01	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	13478	3.487E-03	313509	76.723	16/oct/2021 08:51	A	3.992
T6A2211016-02	0.0098	NF	NF	NF	0.0070	0.0026	13650	3.534E-03	124459	30.093	16/oct/2021 09:20	A	4.027
T6A2211016-03	0.0070	NF	NF	NF	NF	0.0022	12485	3.215E-03	53804	12.666	16/oct/2021 15:25	A	4.448
T6A2211016-04	0.1264	0.0140	0.0140	NF	0.2409	0.0005	16009	4.179E-03	31529	7.172	17/oct/2021 00:25	A	5.075
T6A2211017-01	0.0140	0.0140	0.0140	NF	0.0140	0.0010	18393	4.832E-03	22980	5.063	17/oct/2021 09:49	A	5.714
T6A2211017-02	0.1232	0.0140	0.0140	NF	0.2415	0.0005	19633	5.171E-03	22238	4.880	17/oct/2021 15:30	A	6.115
T6A2211017-03	0.1096	0.0140	0.0140	NF	0.0140	0.0005	20233	5.335E-03	20704	4.502	17/oct/2021 22:51	A	6.614
T6A2211018-01	0.1127	0.0140	0.0140	NF	0.2220	0.0011	17893	4.695E-03	16719	3.519	18/oct/2021 10:35	A	7.392
T6A2211020-01	0.0140	NF	NF	NF	0.0140	0.0011	20813	5.494E-03	10121	1.891	20/oct/2021 10:48	A	10.592
T6A2211022	0.1200	NF	0.0140	NF	0.0140		23074	6.113E-03	12033	2.363	22/oct/2021 11:35	A	13.729
T6A2211024	0.1255	0.0140	0.0140	NF	0.3482	0.0005	15467	4.031E-03	11938	2.340	24/oct/2021 09:32	A	16.647
T6A2211126							7476	1.845E-03	6273	0.942	26/nov/2021 12:00	A	61.299
T6B2211016-02	0.2665	NF	NF	NF	NF	0.0005	930	5.343E-05	8114	1.396	16/oct/2021 10:50	B	4.130
T6B2211016-03	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	762	7.456E-06	7762	1.310	16/oct/2021 15:34	B	4.460
T6B2211016-04	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	961	6.191E-05	8953	1.603	17/oct/2021 01:04	B	5.121
T6B2211017-01	NF	0.1330	NF	NF	NF	0.0005	897	4.440E-05	7863	1.335	17/oct/2021 09:12	B	5.680
T6B2211017-02	NF	NF	NF	NF	NF	0.0005	890	4.248E-05	10871	2.076	17/oct/2021 16:05	B	6.149

T6B2211017-03	0.2665	NF	NF	NF	NF	0.0005	901	4.549E-05	57733	13.635	17/oct/2021 23:25	B	6.648
T6B2211018-01	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	940	5.616E-05	122255	29.550	18/oct/2021 09:48	B	7.336
T6B2211018-02	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	1050	8.626E-05	252158	61.591	18/oct/2021 19:25	B	7.987
T6B2211019-01	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	1145	1.123E-04	282124	68.982	19/oct/2021 10:03	B	8.969
T6B2211019-02	NF	NF	NF	NF	0.1655	#N/D	1275	1.478E-04	376925	92.365	19/oct/2021 19:06	B	9.567
T6B2211020-01	0.1563	0.0070	NF	0.2624	0.1852	#N/D	1776	2.849E-04	747274	183.713	20/oct/2021 09:52	B	10.538
T6B2211021	0.1175	0.0070	NF	NF	0.2203	#N/D	2356	4.436E-04	439097	107.700	21/oct/2021 10:47	B	12.142
T6B2211022	NF	0.0070	NF	0.0140	0.5040	#N/D	2528	4.907E-04	295127	72.189	22/oct/2021 11:09	B	13.697
T6B2211023	NF	NF	0.0070	NF	0.1665	#N/D	3172	6.669E-04	281412	68.807	23/oct/2021 11:39	B	15.257
T6B2211024	0.0986	0.0070	NF	0.0140	0.2306	#N/D	3396	7.282E-04	172023	41.825	24/oct/2021 08:35	B	16.584
T6B2211025	NF	NF	NF	NF	NF	#N/D	3388	7.260E-04	42008	9.757	25/oct/2021 10:11	B	18.181
T6B2211027	NF	NF	NF	NF	0.1421	#N/D	4162	9.378E-04	16609	3.492	27/oct/2021 09:50	B	21.082
T6B2211118							3589	7.810E-04	9752	1.800	18/nov/2021 12:00	B	51.817
T6B2211126							6303	1.524E-03	10274	1.929	26/nov/2021 12:00	B	61.299
T6B2211202	0.2665	NF	NF	NF	0.1330	#N/D	4492	1.028E-03	7365	1.212	02/dic/2021 12:00	B	65.256
T6EX211017-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0070	0.0016	1639	2.474E-04	10329	1.943	17/oct/2021 16:40	EX	6.195
T6EX211018-01	0.0070	0.0070	NF	0.0070	0.0070	0.0005	961	6.191E-05	8911	1.593	18/oct/2021 11:47	EX	7.471
T6EX211019-01	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0005	982	6.765E-05	20117	4.357	19/oct/2021 11:53	EX	9.092
T6EX211020-01	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0005	1220	1.328E-04	102543	24.688	20/oct/2021 11:48	EX	10.657
T6EX211021-01	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0895	0.0005	1115	1.040E-04	110849	26.736	21/oct/2021 12:30	EX	12.260
T6EX211022	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	0.0926	0.0005	1158	1.158E-04	121733	29.421	22/oct/2021 12:33	EX	13.793
T6EX211023	0.0070	0.0070	0.1022	NF	0.1428	0.0005	1377	1.757E-04	158113	38.394	23/oct/2021 13:41	EX	15.396
T6EX211024	NF	0.0070	0.0863	NF	0.1624	0.0005	1476	2.028E-04	161466	39.221	24/oct/2021 10:28	EX	16.699
T6EX211025	0.0070	NF	0.1182	NF	0.2863	0.0005	1759	2.803E-04	159443	38.722	25/oct/2021 11:18	EX	18.243
T6EX211027	0.0070	0.0070	0.3976	NF	0.8444	0.0005	1798	2.909E-04	106087	25.562	27/oct/2021 10:46	EX	21.142
T6EX211028						0.0005	2120	3.790E-04	82692	19.791	28/oct/2021 18:05	EX	23.013
T6EX211029	0.0070	NF	0.0070	NF	0.8805	0.0005	1196	1.262E-04	24378	5.408	29/oct/2021 10:21	EX	23.979
T6Ex211030	NF	NF	0.0070	NF	0.4644						29/oct/2021 09:54	EX	23.950
T6EX211031	NF	NF	0.0070	0.0070	1.2980	0.0005	2132	3.823E-04	20212	4.380	31/oct/2021 13:51	EX	26.971
T6EX211102	3.1216	0.0140	1.1144	0.0285	3.0761	0.0005	2604	5.115E-04	18609	3.985	02/nov/2021 09:34	EX	29.514
T6EX211104	2.3824	0.0140	0.9085	0.0285	2.5704	0.0005	3099	6.469E-04	18175	3.878	04/nov/2021 10:51	EX	32.388

T6EX211109	1.2621	0.0140	0.4523	0.0285	1.3997	0.0005	2559	4.992E-04	12500	2.478	09/nov/2021 13:01	EX	39.125
T6EX211116	0.8661	0.0869	0.2548	0.0285	1.1309	0.0005	2400	4.557E-04	7920	1.349	16/nov/2021 13:11	EX	48.785
T6EX211118	0.3432	NF	0.1968	NF	0.4702	0.0005	2490	4.803E-04	2490	0.009	18/nov/2021 12:00	EX	51.817
T6EX211124	0.0285	NF	NF	NF	0.0362	0.0005	2659	5.265E-04	11227	2.164	24/nov/2021 12:00	EX	58.564
T6EX211202	0.2294	NF	0.1418	NF	0.6095	0.0005	2462	4.726E-04	7987	1.365	02/dic/2021 12:00	EX	65.256
T6EX21209	0.4804	0.0070	0.1496	NF	0.5428	#N/D	2568	5.016E-04	9394	1.712	09/dic/2021 12:00	EX	69.425
T6L2211202							1196	1.262E-04	6625	1.029	02/dic/2021 12:00	L2	65.256
T6O211013-01	0.0236	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070	3.1204	17879	4.691E-03	222692	54.323	14/oct/2021 00:45	O	0.126
T6O211013-02	NF	0.0070	NF	NF	0.0070	23.7223	21447	5.667E-03	912340	224.428	14/oct/2021 03:00	O	0.228
T6O211014-01	0.1148	0.0140	0.3625	NF	0.4691	5.0159	29818	7.958E-03	732238	180.005	14/oct/2021 08:30	O	0.596
T6O211014-02	0.0070	0.0070	NF	NF	0.1237	2.7338	33361	8.927E-03	608920	149.588	14/oct/2021 12:14	O	0.866
T6O211014-03	0.0234	NF	0.0070	NF	0.0963	0.9501	27783	7.401E-03	404401	99.142	14/oct/2021 16:56	O	1.196
T6O211014-04	NF	NF	NF	NF	0.0070	0.5596	34744	9.306E-03	286607	70.088	14/oct/2021 20:22	O	1.436
T6O211014-05	NF	NF	NF	NF	0.1089	0.1717	37296	1.000E-02	336411	82.372	14/oct/2021 23:20	O	1.633
T6O211015-01	0.0070	NF	NF	NF	0.0824	0.0327	33060	8.845E-03	242888	59.304	15/oct/2021 03:10	O	1.908
T6O211015-02	0.0070	0.0070	NF	NF	NF	0.0156	39764	1.068E-02	121864	29.453	15/oct/2021 10:02	O	2.386
T6O211015-03	0.0070	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0183	34813	9.325E-03	77317	18.466	15/oct/2021 15:57	O	2.803
T6O211015-04	NF	0.0070	NF	NF	NF	0.0120	31891	8.525E-03	112932	27.250	15/oct/2021 22:07	O	3.234
T6O211016-01	0.0070	0.0070	NF	NF	NF	0.0032	39646	1.065E-02	29996	6.794	16/oct/2021 03:10	O	3.594
T6O211016-02	0.0070	0.0070	NF	0.0070	NF	0.0019	27514	7.328E-03	32973	7.528	16/oct/2021 10:10	O	4.072
T6O211016-03	0.0285	NF	0.0285	NF	0.0285	0.0143	28269	7.534E-03	38006	8.769	16/oct/2021 16:47	O	4.541
T6O211016-04	0.0285	NF	NF	NF	NF	0.0166	16244	4.244E-03	41880	9.725	16/oct/2021 23:18	O	4.994
T6O211017-01	0.0285	NF	0.0285	NF	0.0285	0.0422	24008	6.368E-03	63429	15.040	17/oct/2021 10:30	O	5.771
T6O211019-01	0.0285	NF	NF	NF	NF	0.0016	18206	4.781E-03	7015	1.125	19/oct/2021 10:58	O	9.025
T6O211021-01	0.0285	NF	NF	NF	0.0285	0.0012	18915	4.975E-03	9942	1.847	21/oct/2021 11:33	O	12.196
T6O211023	NF	NF	0.0285	NF	0.0285	0.0301	8961	2.251E-03	12302	2.429	23/oct/2021 12:38	O	15.321
T6O211118							10091	2.560E-03	8279	1.437	18/nov/2021 12:00	O	51.817
T6O211126							12545	3.232E-03	7117	1.151	26/nov/2021 12:00	O	61.299