

MEMORIA

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES Y PROBLEMA A TRATAR.	3
1.1 INTRODUCCIÓN.	3
1.2 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA.	4
1.3 CONCLUSIONES.	7
2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO PASIVOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA.	9
2.1 INTRODUCCIÓN.	9
2.2 DESCRIPCIÓN GENÉRICA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.	10
2.2.1. HUMEDALES AEROBIOS.	10
2.2.2. HUMEDALES ANAEROBIOS O BALSAS ORGÁNICAS.	11
2.2.3. DRENAJES ANÓXICOS CALIZOS (ALD).	11
2.2.4. SISTEMAS SUCESIVOS DE DE PRODUCCIÓN DE ALCALINIDAD (SAPS).	12
2.2.5. BARRERAS REACTIVAS PERMEABLES (PRB).	13
2.2.6. SISTEMA REACTIVO ALCALINO.	13
3. VALORACION GLOBAL DE LA ACTUACIÓN.	14
3.1 INTRODUCCIÓN.	14
3.2 DEFINICIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA.	14
3.2.1 MATERIAL A EMPLEAR.	14
3.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PLANTAS EN CADA UBICACIÓN.	15
3.3 HIPÓTESIS 1.- VARIOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO PASIVOS ALCALINOS.	17
3.3.1 UBICACIÓN DE LAS PLANTAS.	17
3.3.2 CARGA CONTAMINANTE DE LOS EMPLAZAMIENTOS.	18
3.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PLANTAS.	19
3.3.4 CONSUMOS DE MATERIAL REACTIVO PARA LA IMPLANTACIÓN Y EXPLOTACIÓN.	21
3.4 HIPÓTESIS 2.- UNA ÚNICA PLANTA, UBICADA EN LA PRESA DE LA ALCOLEA.	22
3.4.1. JUSTIFICACIÓN.	22
3.4.2. UBICACIÓN DE LAS PLANTA.	22
3.4.3. CARGA CONTAMINANTE.	22
3.4.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA.	23
3.4.5. CONSUMOS DE MATERIAL REACTIVO PARA LA IMPLANTACIÓN Y EXPLOTACIÓN.	25

MEMORIA

3.5	CONSIDERACIONES AMBIENTALES.	25
4.	<u>JUSTIFICACIÓN DEL PILOTAJE.</u>	27
5.	<u>IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LA ACTUACIÓN.</u>	28
5.1	OBJETO Y ALCANCE. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ACTUACIÓN.	28
5.2	UBICACIÓN.	28
5.3	JUSTIFICACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.	29
6.	<u>CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A TRATAR.</u>	31
6.1.	ANALÍTICA DEL AGUA.	31
6.2.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.	32
6.3.	ESTACIONALIDAD DE LOS VALORES.	32
7.	<u>DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO.</u>	34
7.1.	CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO.	34
7.2.	MATERIAL REACTIVO.	34
7.3.	DIMENSIONAMIENTO PREVIO.	35
7.4.	DIMENSIONAMIENTO FINAL DEL SISTEMA.	39
8.	<u>PRESUPUESTO.</u>	40
8.1.	IMPORTE DEL PRESUPUESTO.	40
8.2.	PRESUPUESTO Y MEDICIONES.	41
8.3.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO.	42
9.	<u>PLANOS.</u>	43
	<u>ANEJO N° 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO DE LA LOCALIZACION SELECCIONADA.</u>	44
	<u>ANEJO N° 2.- ANALÍTICAS DE LAS DIFERENTES UBICACIONES.</u>	46

MEMORIA

1. ANTECEDENTES Y PROBLEMA A TRATAR.

1.1 Introducción.

En la actualidad se está desarrollando la construcción (recién adjudicada) de la Presa de la Alcolea en Gibraleón (Huelva) con el fin de preservar los recursos hidrogeológicos de la cuenca y mejorar la capacidad agrícola de la zona mediante una puesta en riego de la misma.

La construcción contará con otra obra adicional consistente en un sistema de conducción del agua desde esta infraestructura hasta la zona del Condado (Canal de Trigueros).

La presa, con capacidad de 274 Hm^3 , se abastecerá del agua procedente de la cuenca del río Odiel. En particular, el área efectiva de la cuenca con capacidad de captación de aguas y con afección a la presa es de 1659 km^2 , los cuales supondrán un aporte neto de un volumen de agua del orden de 331 Hm^3 , aguas procedentes en gran medida de una zona donde una de las actividades tradicionales y actuales, ha sido la minería.

La cuenca del Odiel ocupa una superficie de 2.400 Km^2 , con un total de 1.149 Km . de cursos fluviales. Los principales cursos de agua de la cuenca son el propio Río Odiel, sus afluentes por la derecha el Olivargas, Oranque y Meca, y por la izquierda el Arrollo Villar.

Esta cuenca recoge las aguas de una de las zonas mineras metalúrgicas más importantes del mundo, la Faja Pirítica Ibérica. Asociada esta zona rica en metales, existen multitud de yacimientos mineros que se calcula que empezaron a explotarse hace 4.500 años para la extracción de oro, plata y cobre.

Derivado del obligado drenaje de aguas subterráneas y de la escorrentía superficial generada por la actividad de la explotación minera, se produce un lixiviado conocido como (Drenaje Ácido de Minas, o sus siglas en inglés, AMD).

En cada punto de vertido de AMD se provoca una contaminación puntual en el río. Esta contaminación, va disminuyendo según nos alejamos del foco de vertido.

MEMORIA

Dado que en la zona existen una gran cantidad de explotaciones, se cuenta con que 427 Km. de la cuenca, un 37% del total, están afectados por Drenaje Ácido de Mina.

El AMD se caracteriza por la presencia de altas concentraciones de elementos tóxicos principalmente metales y metaloides y un pH muy bajo.

En conclusión, dada la presencia de un gran número de instalaciones mineras abandonadas, los cauces en general, y en particular aquellos que abastecen al Odiel, poseen altos niveles de contaminación.

Esta carga contaminante ha dado lugar a que ciertos sectores de la población se planteen la posibilidad de que la calidad final del agua no sea la adecuada para el destino previsto, el riego de cultivos.

1.2 Calidad del agua requerida.

Se estima que la calidad que presentará el agua procedente de la presa de la Alcolea diferirá entre los valores presentados por el estudio incluido en el Proyecto de la Presa de la Alcolea y el estimado por un estudio de la Universidad de Huelva (Sobre la calidad del agua del futuro embalse de la Alcolea (Cuenca del Río Odiel, Huelva). *M. Olías, J.M. Nieto, A.M. Sarmiento y C.R. Canovas*).

Parece oportuno que ambos resultados se confronten con los requisitos de esta agua, al objeto de determinar su adecuación al fin previsto, el uso para riego agrícola.

MEMORIA

En la siguiente tabla se recoge un comparativo entre ambos estudios y algunos valores recomendados.

Calidad del Agua				
Valores de la calidad del agua				
Parámetro	Estudio del Proyecto de la Presa	Estudio Universidad de Huelva	Calidad agua riego recomendada	Notas
pH				
Eh (mV)				
CE ($\mu\text{S/cm}$)	720,00			Riesgo salinidad medio
Al (mg/L)		4,90	5,00	
As ($\mu\text{g/L}$)		25,00	100,00	
Be ($\mu\text{g/L}$)			100,00	
Ca (mg/L)				
Cd ($\mu\text{g/L}$)	30,00	8,00	10,00	
Co ($\mu\text{g/L}$)		67,00	50,00	
Cr ($\mu\text{g/L}$)			100,00	
Cu (mg/L)	2,80	1,34	0,20	
Fe (mg/L)	2,50	3,05	5,00	Alto riesgo obstrucción goteros
K (mg/L)				
Li ($\mu\text{g/L}$)			2.500,00	
Mg (mg/L)				
Mn (mg/L)	2,30	1,55	0,20	Alto riesgo obstrucción goteros
Mo ($\mu\text{g/L}$)			10,00	
Na (mg/L)				
Ni ($\mu\text{g/L}$)		36,00	200,00	
Pb ($\mu\text{g/L}$)		13,00	5.000,00	
Sb ($\mu\text{g/L}$)				
Se ($\mu\text{g/L}$)			20,00	
Si (mg/L)				
Sn ($\mu\text{g/L}$)				
Sr ($\mu\text{g/L}$)				
Zn (mg/L)	5,30	2,79	2,00	
HCO ₃ (mg/L)				
SO ₄ (mg/L)	292,00	157,40		

Para considerar la influencia del aporte de estos contaminantes en el suelo, dada la inexistencia de referencias y la gran heterogeneidad de los suelos, se ha tomado como referencia el Real Decreto 1310/1990, que regula la utilización de los lodos de depuración.

En esta norma, existe una tabla que especifica las cantidades anuales de metales pesados que se pueden introducir en el suelo en promedio. De esta forma consiguen fijarse los límites máximos de aporte de metales pesados en función de la concentración de éstos en los lodos (o del agua en nuestro caso).

MEMORIA

A continuación se incluye una tabla que hace referencia al aporte de compuestos a través del agua y su interpretación.

Calidad del Agua						
Aporte de compuestos al suelo agrícola al año en función de la dosis de riego						
Calidad del agua de riego			Aporte al suelo de compuestos al año			Notas
Unidades	Estudio del Proyecto de la Presa	Estudio Universidad de Huelva	Unidades	Estudio del Proyecto de la Presa	Estudio Universidad de Huelva	
pH			pH			
Eh (mV)			Eh (mV)			
CE (µS/cm)	720,00		Sales (Kg/Ha)	3.225,60		
Al (mg/L)		4,90	Al (Kg/Ha)		34,30	
As (µg/L)		25,00	As (Kg/Ha)		0,18	
Be (µg/L)			Be (Kg/Ha)			
Ca (mg/L)			Ca (Kg/Ha)			
Cd (µg/L)	30,00	8,00	Cd (Kg/Ha)	0,21	0,06	0,15
Co (µg/L)		67,00	Co (Kg/Ha)		0,47	
Cr (µg/L)			Cr (Kg/Ha)			3,00
Cu (mg/L)	2,80	1,34	Cu (Kg/Ha)	19,60	9,38	12,00
Fe (mg/L)	2,50	3,05	Fe (Kg/Ha)	17,50	21,35	
K (mg/L)			Ks (Kg/Ha)			
Li (µg/L)			Li (Kg/Ha)			
Mg (mg/L)			Mg (Kg/Ha)			
Mn (mg/L)	2,30	1,55	Mn (Kg/Ha)	16,10	10,85	
Mo (µg/L)			Mo (Kg/Ha)			
Na (mg/L)			Na (Kg/Ha)			
Ni (µg/L)		36,00	Ni (Kg/Ha)		0,25	3,00
Pb (µg/L)		13,00	Pb (Kg/Ha)		0,09	15,00
Sb (µg/L)			Sb (Kg/Ha)			
Se (µg/L)			Se (Kg/Ha)			
Si (mg/L)			Si (Kg/Ha)			
Sn (µg/L)			Sn (Kg/Ha)			
Sr (µg/L)			Sr (Kg/Ha)			
Zn (mg/L)	5,30	2,79	Zn (Kg/Ha)	37,10	19,53	30,00
HCO3 (mg/L)			HCO3 (Kg/Ha)			
SO4 (mg/L)	292,00	157,40	SO4 (Kg/Ha)	2.044,00	1.101,80	
Nota: Volumen de riego anual:			7.000			
			m3/Ha y año			

MEMORIA

1.3 Conclusiones.

A la vista de las tablas anteriores, no se prevé alcanzar la calidad requerida en el agua de riego en los siguientes parámetros: **salinidad, cobalto, hierro, cobre, manganeso y zinc**

Por otro lado, también se espera que se superaren los valores máximos de aporte de metales pesados al suelo en **cadmio y cobre** (estudio incluido en el Proyecto de la Presa) y **Zinc** (estudio Universidad de Huelva).

A partir de estos resultados, parece razonable que se planteen cuestiones en relación a la calidad del agua, tanto en lo referente a su adecuación al sistema de riego previsto (por ejemplo, en el riego por goteo pueden ser frecuentes las obturaciones de los elementos de riego), como en cuanto a la calidad de los suelos (contaminación por metales pesados) y finalmente, en referencia a la seguridad alimentaria (cosechas en las parcelas de riego).

A pesar de lo expuesto, se estima que aún resulta insuficiente la información disponible específicamente aplicada al caso particular de la presa de la Alcolea, de manera que se proponen las siguientes actuaciones:

- Profundizar en los requisitos de calidad del agua en función de los cultivos, del tipo suelo y de los sistemas de cultivo y de riego.
- Desarrollar una experiencia orientada a tratar estas aguas mediante sistemas pasivos.

El presente trabajo se orienta hacia la definición de los requisitos, necesidades y alcance de un sistema de tratamiento pasivo, que permita el planteamiento específico de una experiencia adecuada a la envergadura del problema a resolver, mediante la ejecución de una planta piloto para el tratamiento del AMD.

MEMORIA

La necesidad de esta planta piloto surge de la falta de capacidad técnica para abordar con solvencia el tratamiento del drenaje ácido de minas mediante los sistemas pasivos, dado que son de reciente desarrollo y en muchos casos no pasan de ser meras experiencias (especialmente en Andalucía).

Mediante la planta propuesta, se pretende comprobar y estudiar los parámetros de diseño de un tipo concreto de tratamiento pasivo (el sistema reactivo alcalino) y adaptarlo a las necesidades específicas que requiere el agua de la presa de la Alcolea, de manera que se sirva como instrumento para definir posteriormente el dimensionamiento de las plantas a una escala industrial.

MEMORIA

2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO PASIVOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA.

2.1 Introducción.

Existen dos grandes grupos de tecnologías para el tratamiento de de los Drenajes Ácidos de Minas, los métodos tradicionales o activos y los tratamientos pasivos.

El presente documento se centra en el grupo de tecnologías de tratamiento pasivas. En los últimos 20 años se han utilizado estas tecnologías en algunas experiencias realizadas con buenos resultados en la neutralización del pH y la eliminación de metales pesados. Además presenta bajos costes, sobre todo en comparación a los tradicionales, lo que permite que sean mantenidos durante largos periodos de tiempo.

Los métodos pasivos se basan en la simulación de los procesos de remediación que tienen lugar en la naturaleza. Concretamente se reproducen los procesos físicos, químicos y biológicos que se dan en los humedales.

Los principales métodos pasivos para la remediación del Drenaje Ácido de Mina son:

- Humedales aerobios
- Humedales anaerobios o balsas orgánicas
- Drenajes anóxicos calizos (ALD)
- Sistemas sucesivos de de producción de alcalinidad (SAPS)
- Barreras reactivas permeables (PRB)
- Sistema Reactivo Alcalino

Estos métodos pueden ser usados de forma individual o mediante la combinación de ellos. La utilización de uno u otro método dependerá de diversos factores, de las características iniciales del agua, los parámetros de salida requeridos, la disponibilidad de espacio, etc.

MEMORIA

A continuación se describen brevemente cada una de las distintas tecnologías.

2.2 Descripción genérica de los sistemas de tratamiento.

2.2.1. Humedales aerobios.

Esta tecnología se fundamenta en la reproducción artificial de los condicionantes que se dan en los humedales naturales.

Consisten en espacios en los que se favorece la aparición de ambientes pseudonaturales en los que se van a implantar de forma natural o inducida distintas comunidades de plantas y microorganismos. Estos organismos participan en el proceso natural de depuración de las aguas, de manera que también realizaran la misma función en condiciones recreadas para este fin.

Estos sistemas necesitan de una gran disponibilidad de superficie, ya que requieren una lámina de agua que no supere los 30 cm y además el tiempo de retención del agua en el sistema es largo ya que los procesos depuradores son lentos.

Bajo esta lámina de agua existe un sustrato sobre el que se desarrolla la vegetación que cumple una doble función. En primer lugar se ocupa de realizar la oxigenación de la lámina de agua y por otro lado de favorecer la aparición de colonias bacterianas que catalicen los procesos de oxidación.

Los procesos físicos, químicos y biológicos que se dan en este tipo de sistemas son: filtración de materiales en suspensión, adsorción de metales, intercambio iónico, bioacumulación de metales y precipitación de óxidos e hidróxidos metálicos.

MEMORIA

2.2.2. Humedales anaerobios o balsas orgánicas.

A diferencia de los humedales expuestos en el apartado anterior, los humedales anaerobios persiguen la creación de ambientes anaerobios, creando para ellos condiciones anóxicas, con ausencia de oxígeno. Estos escenarios favorecen la aparición de bacterias sulfo-reductoras.

El ambiente anóxico se crea mediante balsas con una lámina de agua superior a los 30 cm. El sustrato está formado por materia orgánica y algo de material calizo de entre 30 y 60 cm.

El proceso depurador lo realizan las comunidades bacterianas existentes que producen la reducción del sulfato y la producción de ácido sulfhídrico y alcalinidad. Adicionalmente se produce una reducción de la acidez mineral debida a la precipitación del hierro y otros metales en forma de sulfuros.

Otro proceso que se produce en estos sistemas es que, en la parte superior existe una zona con ambiente oxidante, y debido a la alcalinidad generada se produce la precipitación del Fe y del Mn. Como además en la parte basal del sistema existe un ambiente reductor, se impide que el Fe reducido forme hidróxido férrico, evitándose así la pérdida de rendimiento de la caliza.

Los humedales anaerobios permiten trabajar con Drenajes Ácidos de Mina con pH menores a 4 debido a la alcalinidad generada.

2.2.3. Drenajes anóxicos calizos (ALD).

Este proceso se basa en la dilución de la caliza, proceso que está afectado por el pH y la presión parcial de CO₂. Un pH bajo junto con una elevada presión parcial de CO₂ favorece la disolución de la calcita, que a su vez aporta alcalinidad al efluente.

MEMORIA

Como el influente a tratar viene con un bajo pH, para conseguir las condiciones de elevada concentración de CO_2 , se encapsula el sistema y como del proceso de disolución de la caliza se produce el desprendimiento de CO_2 , se crea un aumento de la presión parcial de este gas.

Se trata de un sistema anóxico, que impide la precipitación de óxidos e hidróxidos que produzcan el recubrimiento de la caliza lo que disminuiría la acción alcalinizadora del sistema.

Este sistema por sí mismo no elimina los efectos del contaminante de metales, si no que neutraliza el pH del drenaje, de forma que se utiliza muchas veces como complemento de algún otro sistema.

La implantación de los Drenajes anóxicos calizos se realizan mediante la construcción de una zanja profunda de entre 1 y 2 m, rellena de material calizo y cubierta por un geotextil y material arcilloso que actúa como impermeabilizante

2.2.4. Sistemas sucesivos de de producción de alcalinidad (SAPS).

Este sistema surge como método para solucionar la gran necesidad de espacio que requieren los humedales anaerobios. Se trata de un sistema que integra una balsa orgánica y un ALD. Con el primer elemento se consigue una reducción del sulfato y la retención de distintos elementos metálicos, mientras que con el segundo se neutraliza el efluente.

El sistema se realiza mediante la construcción de una balsa profunda. En la parte basal se instala una capa de material alcalino, con un espesor de entre 0,5 y 1 m. Sobre éste se deposita otra capa de materia orgánica con un espesor de 0,5 y 1,0 m y sobre, ambas capas, existe una lámina de agua de entre 1 y 3 m.

De esta forma la capa de agua almacenada crea una zona anóxica en la parte basal del sistema, la capa de material orgánico elimina el oxígeno disuelto, reduce el sulfato y se produce la reacción de Fe^{3+} a Fe^{2+} , lo que evita su precipitación sobre la capa de caliza. Finalmente la capa de caliza proporciona actúa como sistema neutralizante del pH.

MEMORIA

2.2.5. Barreras reactivas permeables (PRB).

Es un sistema similar a los Drenajes anóxicos calizos. Está especialmente diseñado para los Drenajes Ácidos de Mina que tienen un flujo subterráneo. Como en el caso mencionado se trata de una pantalla permeable y reactiva colocada perpendicularmente a la dirección del flujo.

La estructura de estas barreras es variable, tanto en composición como en proporciones y composición. De forma general puede estar formada por materia orgánica y materiales calizos, por lo que también se podría asemejar a un SAPS.

2.2.6. Sistema Reactivo Alcalino.

Se trata de una barrera de calcita oxigenada. Esta barrera tiene una matriz formada por un sustrato alcalino disperso (DAS Dispersed Alkaline Substrate). Esta matriz está compuesta genéricamente por dos componentes principales por un lado tenemos un componente alcalino con una granulometría fina y por otra un material inerte de grano más grueso, que proporciona porosidad, permitiendo el flujo hidráulico.

Al tratarse de una barrera formada por un grano de calcita pequeño, permite una mayor reactividad del sistema ya que tiene una mayor superficie reactiva. Además la estructura de calcita se disuelve antes de ser recubierta por precipitados, lo cual evita los fenómenos de pasivización que suceden en otros de los sistemas. Además la mayor parte del reactivo se consume, minimizando los costes económicos del tratamiento (operaciones de retirada del compuesto inactivo).

MEMORIA

3. VALORACION GLOBAL DE LA ACTUACIÓN.

3.1 Introducción.

En este apartado se pretende aportar una visión global de la actuación, al objeto de disponer de una herramienta que posibilite comprender la dimensión de la solución que se desarrolla en este documento, o sea la instalación de las plantas de tratamiento a escala industrial.

El estudio se basa en el desarrollo de dos hipótesis. En la primera se implantarían una serie de plantas próximas a los focos de contaminación, de manera que aguas abajo de estas instalaciones, la carga contaminante se encontrará aminorada (hipótesis 1). La segunda alternativa consiste en un único sistema de tratamiento, ubicado en el emplazamiento de la futura presa de la Alcolea, tratando las aguas inmediatamente antes de alimentarla (hipótesis 2).

Los datos analíticos que se presentan para los diferentes emplazamientos propuestos se han obtenido a partir de una tesis doctoral de la Universidad de Huelva (*Estudio de la Contaminación de Suelos de las Aguas Superficiales en la Cuenca del Río Odiel. Tesis Doctoral de AguaSanta Sarmiento*).

3.2 Definición del diseño del sistema.

3.2.1 Material a emplear.

Dado que estos sistemas requieren un gran aporte de material reactivo, tanto para la puesta en funcionamiento de cada planta como para la reposición de material, parece apropiado que la materia prima a emplear se encuentre próxima a los lugares donde se utilizará. Por estos motivos, se propone emplear como material para la generación de alcalinidad la **wollastonita**, un recurso minero presente en el municipio de Aroche (Huelva), muy cercano a los lugares donde se demandará.

MEMORIA

La wollastonita a emplear no será pura (procesada), sino será una mezcla (todo-uno), tal como se extrae en la cantera. Este producto tiene la siguiente riqueza:

- 75% CaCO₃.
- 25% Wollastonita.

A su vez, la composición química de la wollastonita es:

- 47,30% de CaO.
- 48,75% de SiO₂.

3.2.2 Dimensionamiento de las plantas en cada ubicación.

Dada la magnitud de emplazamientos a dimensionar, en este apartado se desarrollará una metodología sencilla de cálculo, de cara a presentar una primera aproximación a la dimensión del problema técnico a resolver.

El proceso de cálculo es el siguiente:

1.- Determinación de la Acidez Calculada (Ac_c).

La acidez calculada o acidez total (Ac_c), como suma de la acidez atribuible a los iones H⁺ y la potencial de los cationes metálicos se calculará con la siguiente expresión:

$$AC_c = 50,045 \times \{(2/55,847) * [Fe^{2+}] + (3/55,847) * [Fe^{3+}] + (3/26,982) * [Al^{3+}] + (2/54,938) * [Mn^{2+}] + 1.000 \times (10^{-pH})\}$$

MEMORIA

De manera que sólo introduciremos en el balance de la ecuación la acidez que pueden generar el Fe, el Al y el Mn.

Finalmente, esta ecuación expresa la acidez en mg/l de CaCO₃, debiéndose ponderar al sustrato a emplear a la hora de determinar las superficies y cantidades de sustrato, mediante la aplicación del siguiente factor de minoración: 1,000 gr de CaCO₃ equivale a 2,043 gr de sustrato (1,226 de todo-uno).

2.- Determinación de la acidez que se eliminará por el sistema.

El sistema no se diseña para eliminar la totalidad de la acidez presente, sino sólo para una parte. De esta forma, la acidez que se introducirá para el dimensionamiento del sistema de tratamiento será:

$$\text{Reducción } ACc = ACc_{in} - ACc_{out} \text{ (mg/l de CaCO}_3\text{)}$$

En los cálculos, consideraremos una reducción de la acidez del 50%, de manera que $ACc = ACc_{in}/2$.

3.- Superficie y masa de sustrato requerida por el tratamiento.

La estimación del rendimiento de un sistema de estas características es enormemente variable. Los ensayos realizados, en la mayoría de los casos, presentan factores externos que alteran la fiabilidad de los mismos, de forma que sus valores deben recogerse con cierta reserva.

Para el dimensionamiento de los sistemas, partiremos de los siguientes rendimientos:

Reducción acidez normalizada por área del sistema; $Ra = 75 \text{ gr/ m}^2 \text{ y día}$.

Reducción acidez normalizada por la masa de sustrato; $Rm = 50 \text{ gr/ Tm y día}$

MEMORIA

El cálculo del área o la masa de sustrato es el siguiente:

$$A \text{ (m}^2\text{)} = ACc \times Q \text{ (m}^3\text{/día)} / Ra$$

$$M \text{ (Tm)} = ACc \times Q \text{ (m}^3\text{/día)} / Rm$$

4.- Tiempo de residencia.

Los sistemas, se diseñarán inicialmente para tiempos de residencia de al menos 10 h, según la bibliografía existente.

3.3 Hipótesis 1.- Varios sistemas de tratamiento pasivos alcalinos.

3.3.1 Ubicación de las plantas.

Las plantas se dispondrían en las fuentes generadoras de contaminación por el AMD, es decir, en aquellas zonas mineras con vertidos a las aguas que forman parte de la red hidrográfica que alimentará la presa.

De entre todos los puntos inventariados, se proponen como ubicaciones de plantas de tratamiento los siguientes, por ser aquellos que aportar mayor carga contaminante:

MEMORIA

UBICACIÓN DE PLANTAS**Tratamiento del AMD mediante
sistema pasivo alcalino**

Ubicación	Punto	Coordenada X	Coordenda Y
Mina Concepción	S5	177.897	4.187.064
Mina Esperanza	S6	175.983	4.185.571
Mina La Poderosa	S8	176.914	4.184.597
Arroyo Agrio (El Campillo)	S13	179.118	4.180.850
Arroyo Agrio (Odiel)	S14	174.970	4.182.319
Mina San Miguel	S18	169.395	4.186.389
Bco. de Majofre (Perrunal)	S32	161.465	4.178.983
Mina Tinto Sta Rosa	S40	164.488	4.172.184
Bco. del Batán	S42	162.416	4.171.648
Bco. Aguas Agrias	S46	161.890	4.162.693
Ayo. de Galaparosa	S54	156.522	4.167.530
Bco. Gonzalo	S58	156.923	4.188.603
Riv. de la Pelada	S59	154.673	4.190.559
Mina de San Telmo	S65	149.084	4.191.901
Bco. de Aguas Agrias	S66	149.861	4.191.130
Riv. de la Panera	S67	146.805	4.188.821
Riv. del Agua Agria (Tharsis)	S76	140.667	4.169.404

Nota: Coordenadas en ED-50; UTM-30

3.3.2 Carqa contaminante de los emplazamientos.

La carga contaminante que aporta el agua afectada por el AMD en cada tratamiento se recoge en el Anejo 1.

De cara a obtener la *Acidez calculada*, elemento básico de dimensionamiento de los sistemas de tratamiento, seleccionamos para cada punto los siguientes parámetros de cada analítica:

MEMORIA

ANALÍTICAS POR UBICACIONES**Tratamiento del AMD mediante sistema pasivo alcalino**

Ubicación	Punto	Caudal (l/s)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
Mina Concepción	S5	20,00	3,14	157,00	1.089,00	46,20	12,90	111,00
Mina Esperanza	S6	20,00	3,00	70,70	629,00	3,64	4,65	8,60
Mina La Poderosa	S8	5,00	2,05	232,00	1.330,00	5,80	122,00	55,00
Arroyo Agrio (El Campillo)	S13	122,00	2,71	1.046,00	835,00	201,00	103,00	311,00
Arroyo Agrio (Odiel)	S14	873,00	2,80	429,00	264,00	84,20	58,20	122,00
Mina San Miguel	S18	20,00	2,60	N.D.	1.205,00	28,00	2,60	9,51
Bco. de Majofre (Perrunal)	S32	47,00	2,68	87,40	233,00	46,80	11,20	16,70
Mina Tinto Sta Rosa	S40	20,00	3,25	63,30	651,00	38,90	12,00	59,70
Bco. del Batán	S42	263,00	3,80	23,00	94,70	36,40	3,75	45,00
Bco. Aguas Agrias	S46	64,00	3,23	8,35	1,23	0,00	21,90	N.D.
Ayo. de Galaparosa	S54	4,82	492,00	6,12	9,37	5,41	1,11	4,64
Bco. Gonzalo	S58	337,00	2,67	282,00	131,00	151,00	1.121,00	0,00
Riv. de la Pelada	S59	3,51	654,00	11,40	23,10	90,50	5,91	0,00
Mina de San Telmo	S65	83,00	2,64	338,00	826,00	67,30	63,20	172,00
Bco. de Aguas Agrias	S66	20,00	2,38	210,00	205,00	22,00	2,88	14,80
Riv. de la Panera	S67	20,00	2,69	115,00	116,00	29,20	9,56	62,40
Riv. del Agua Agria (Tharsis)	S76	2,68	661,00	496,00	1.154,00	103,00	43,30	204,00

Nota: Los caudales en negrita son estimaciones. Debe aforarse el arroyo para obtener valor real

3.3.3 Dimensionamiento de las plantas.

A partir de los datos de concentraciones en el agua y de las ecuaciones presentadas, se puede realizar el predimensionamiento de las plantas de tratamiento en las ubicaciones indicadas.

Estos cálculos se recogen en la tabla siguiente, donde además se reflejan los agregados para el conjunto de ellas. A este respecto, es de destacar el volumen total de todo-uno que se estima preciso para la puesta en marcha de las instalaciones, 2.450.481 de m³.

MEMORIA

Tratamiento del AMD mediante sistema pasivo alcalino

Ubicación	Punto	Acidez calculada (Acc)			Superficie requerida			Masa reactivo		Volumen reactivo	
		Accin (mg/l de CaCO3)	Accout (mg/l de CaCO3)	Reducción Acc (mg/l de CaCO3)	Ra (g/(m ² *día))	Area (m2)	Area (Ha)	Rm g/(Tm*día)	Masa todo-uno (Tm)	Densidad (Tm/m3)	Volumen (m3)
Mina Concepción	S5	2.937,09	1.468,54	1.468,54	75,00	33.835	3,38	50,00	62.223	2,20	28.283
Mina Esperanza	S6	1.572,61	786,31	786,31	75,00	18.116	1,81	50,00	33.316	2,20	15.144
Mina La Poderosa	S8	4.120,06	2.060,03	2.060,03	75,00	11.866	1,19	50,00	21.821	2,20	9.919
Arroyo Agrío (El Campillo)	S13	7.765,13	3.882,56	3.882,56	75,00	545.671	54,57	50,00	1.003.489	2,20	456.131
Arroyo Agrío (Odiel)	S14	3.087,10	1.543,55	1.543,55	75,00	1.552.341	155,23	50,00	2.854.755	2,20	1.297.616
Mina San Miguel	S18	2.328,29	1.164,14	1.164,14	75,00	26.822	2,68	50,00	49.325	2,20	22.421
Bco. de Majofre (Perrunal)	S32	1.091,18	545,59	545,59	75,00	29.540	2,95	50,00	54.325	2,20	24.693
Mina Tinto Sta Rosa	S40	1.613,01	806,51	806,51	75,00	18.582	1,86	50,00	34.172	2,20	15.533
Bco. del Batán	S42	370,99	185,50	185,50	75,00	56.201	5,62	50,00	103.353	2,20	46.979
Bco. Aguas Agrias	S46	78,03	39,01	39,01	75,00	2.876	0,29	50,00	5.290	2,20	2.404
Ayo. de Galaparosa	S54	60,57	30,28	30,28	75,00	168	0,02	50,00	309	2,20	141
Bco. Gonzalo	S58	2.182,04	1.091,02	1.091,02	75,00	423.560	42,36	50,00	778.927	2,20	354.058
Riv. de la Pelada	S59	269,13	134,56	134,56	75,00	544	0,05	50,00	1.001	2,20	455
Mina de San Telmo	S65	3.589,68	1.794,84	1.794,84	75,00	171.616	17,16	50,00	315.601	2,20	143.455
Bco. de Aguas Agrias	S66	1.781,17	890,59	890,59	75,00	20.519	2,05	50,00	37.735	2,20	17.152
Riv. de la Panera	S67	1.001,21	500,60	500,60	75,00	11.534	1,15	50,00	21.211	2,20	9.641
Riv. del Agua Agría (Tharsis)	S76	5.003,54	2.501,77	2.501,77	75,00	7.724	0,77	50,00	14.204	2,20	6.456
TOTALES		38.850,83	19.425,42	19.425,42		2.931.516	293,15		5.391.057		2.450.481

MEMORIA

3.3.4 Consumos de material reactivo para la implantación y explotación.

En este apartado, se pretende aportar una primera aproximación de las cantidades y kilómetros de transporte del material a utilizar como reactivo.

Para las cantidades de reactivo de reposición necesario durante la fase de explotación, a falta de datos que traten sobre esta cuestión en la bibliografía existente, se ha considerado como gasto la Reducción de acidez normalizada por la masa de sustrato (Rm), ponderada de acuerdo la masa de todo-uno que se empleará.

Las distancias de transporte, representa el recorrido desde la cantera de wollastonita (Aroche) hasta cada una de las ubicaciones de las plantas previstas.

Tratamiento del AMD mediante sistema pasivo alcalino							
Ubicación	Punto	Cantidades reactivo			Transporte reactivo		
		Volumen implantación (m ³)	Masa implantación (Tm)	Gasto de explotación (Tm/año)	Distancia transporte (Km)	Implantación (Tm x Km)	Explotación (Tm x Km)
Mina Concepción	S5	28.283	62.223	1.135,57	46	2.862.258	52.236
Mina Esperanza	S6	15.144	33.316	608,02	43	1.432.596	26.145
Mina La Poderosa	S8	9.919	21.821	398,24	44	960.131	17.522
Arroyo Agrio (El Campillo)	S13	456.131	1.003.489	18.313,68	53	53.184.932	970.625
Arroyo Agrio (Odiel)	S14	1.297.616	2.854.755	52.099,27	47	134.173.472	2.448.666
Mina San Miguel	S18	22.421	49.325	900,19	44	2.170.320	39.608
Bco. de Majofre (Perrunal)	S32	24.693	54.325	991,43	52	2.824.899	51.554
Mina Tinto Sta Rosa	S40	15.533	34.172	623,64	64	2.187.014	39.913
Bco. del Batán	S42	46.979	103.353	1.886,19	62	6.407.893	116.944
Bco. Aguas Agrias	S46	2.404	5.290	96,54	71	375.569	6.854
Ayo. de Galaparosa	S54	141	309	5,64	67	20.719	378
Bco. Gonzalo	S58	354.058	778.927	14.215,41	43	33.493.847	611.263
Riv. de la Pelada	S59	455	1.001	18,26	35	35.022	639
Mina de San Telmo	S65	143.455	315.601	5.759,72	32	10.099.238	184.311
Bco. de Aguas Agrias	S66	17.152	37.735	688,66	31	1.169.774	21.348
Riv. de la Panera	S67	9.641	21.211	387,10	26	551.484	10.065
Riv. del Agua Agria (Tharsis)	S76	6.456	14.204	259,23	54	767.026	13.998
TOTALES		2.450.481	5.391.057	98.387	814	252.716.194	4.612.071

MEMORIA

3.4 Hipótesis 2.- Una única planta, ubicada en la presa de la Alcolea.**3.4.1. Justificación.**

Los sistemas pasivos para tratar el AMD, presentan la ventaja de su escaso coste de mantenimiento y pocas necesidades de supervisión, de manera que la propuesta de la hipótesis 1 puede justificarse por estos principios.

No obstante, se estima oportuno plantear una alternativa, en la cual el tratamiento del agua se realice en una única instalación, ubicándola en la Presa de la Alcolea, tratando las aguas justamente antes de llegar al embalse o recirculando las mismas.

3.4.2. Ubicación de las planta.

La planta, tal como se ha indicado, se dispondría en la futura presa de la Alcolea, donde llega la contaminación del drenaje ácido de minas con menores concentraciones por el efecto de la dilución y la atenuación natural.

Los caudales a tratar serían superiores, dado que ahora nos encontramos en la cola de la cuenca que aporta el agua a la presa.

En resumen, se trataría un agua con menor concentración de contaminantes pero con un caudal muy superior.

3.4.3. Carga contaminante.

La carga contaminante que aporta el agua afectada por el AMD se obtiene a partir del estudio realizado por la Universidad de Huelva. Este estudio trata sobre la calidad final del agua de la presa y no sobre la que llega a la misma, pero debido a que se plantean las dos posibilidades de ubicación y ante la falta de otros datos, los consideraremos para el cálculo que desarrollamos.

MEMORIA

De cara a obtener la *Acidez calculada*, elemento básico de dimensionamiento de los sistemas de tratamiento, seleccionamos los siguientes parámetros de la analítica:

ANALÍTICA DEL AGUA EN LA PRESA								
Tratamiento del AMD mediante sistema pasivo alcalino								
Ubicación	Punto	Caudal (l/s)	pH	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
Presa de la Alcolea	Gibraleón	3.805,00	3,00	4,90	3,05	1,55	1,34	2,79

Nota: Los caudales valores en negrita son estimaciones.

3.4.4. Dimensionamiento de la planta.

A partir de los datos de concentraciones en el agua y de las ecuaciones presentadas, se plantea el siguiente predimensionamiento de la planta a ubicar en la presa de la Alcolea.

A este respecto, es de destacar, frente a la solución anterior, la significativa reducción del volumen total de reactivo requerido. Así, para la puesta en marcha de las plantas (H1) necesitamos, 2.450.481 de m³, frente a 156.616 m³ de una única planta situada en el embalse (H2).

MEMORIA

DIMENSIONAMIENTO DE PLANTAS POR UBICACIONES

Tratamiento del AMD mediante sistema pasivo alcalino

Ubicación	Punto	Acidez calculada (Acc)			Superficie requerida		Masa reactivo		Volumen reactivo		
		Accin (mg/l de CaCO3)	Accout (mg/l de CaCO3)	Reducción Acc (mg/l de CaCO3)	Ra (g/(m2*día))	Area (m2)	Area (Ha)	Rm g/(Tm*día)	Masa todo-uno (Tm)	Densidad (Tm/m3)	Volumen (m3)
Presa Alcolea	Gibraleón	85,49	42,74	42,74	75,00	187.360	18,74	50,00	344.555	2,20	156.616

MEMORIA

3.4.5. Consumos de material reactivo para la implantación y explotación.

En este apartado, se pretende aportar una primera aproximación de las cantidades y kilómetros de transporte del material a utilizar como reactivo.

Al igual que en el apartado anterior, para las cantidades de reactivo de reposición necesario durante la fase de explotación, a falta de datos que traten sobre esta cuestión, se ha considerado como gasto a la Reducción acidez normalizada por la masa de sustrato (Rm), ponderada a la masa de todo-uno que se empleará.

Las distancias de transporte, representan el recorrido desde la cantera de wollastonita (Aroche) hasta la presa.

GASTO DE REACTIVO							
Tratamiento del AMD mediante sistema pasivo alcalino							
Ubicación	Punto	Cantidades reactivo			Transporte reactivo		
		Volumen implantación (m3)	Masa implantación (Tm)	Gasto de explotación (Tm/año)	Distancia transporte (Km)	Implantación (Tm x Km)	Explotación (Tm x Km)
Presa Alcolea	Gibraleón	156.616	344.555	6.288,12	75	25.841.598	471.609

Al igual que en el apartado anterior, se observa una significativa reducción de las necesidades de transporte en el caso de ubicar una sola planta en la presa de la Alcolea.

3.5 Consideraciones ambientales.

Comparando ambas hipótesis, parece más adecuada la segunda, ya que requiere menores requerimientos de implantación, reactivos, logística, etc. Además, con una sola instalación en la presa, el control y las labores de operación y mantenimiento parecen mucho más asumibles que en varias plantas diseminadas, aunque por diseño y características, requieran poca supervisión.

MEMORIA

No obstante, disponer de varias plantas, ubicadas en los focos del AMD, permite retirar de los ríos una fuerte carga de contaminantes, que en la mayoría de los casos no tienen un origen natural, sino antrópico.

Por otra parte, los cauces de los ríos se encuentran extremadamente contaminados, de forma que es probable que la carga contaminante que estos tienen en la actualidad puedan dar lugar a incrementos de estos compuestos en el agua, en todo el trayecto que va desde cada planta hasta la presa, disminuyéndose así la eficacia de los tratamientos en cabecera.

Finalmente, los lodos resultantes del precipitado en el tratamiento pasivo-reactivo son unos materiales cuya gestión debe plantearse, dado la gran presencia de metales pesados que representan.

MEMORIA

4. JUSTIFICACIÓN DEL PILOTAJE.

Los sistemas de tratamiento pasivos son una técnica de tratamiento relativamente reciente, motivo por el cual su desarrollo tecnológico todavía es incipiente, careciéndose en muchos casos de información lo suficientemente contrastada, tanto a escala de sistema piloto como plantas industriales.

Muchas de las experiencias desarrolladas trabajan a pequeña escala, con caudales muy discretos y en condiciones de laboratorio, y con problemas posiblemente derivados de la pequeña escala de los sistemas y no por incapacidades del sistema, etc.

En otros casos, las investigaciones desarrolladas en campo adolecen del suficiente rigor, al estar muy expuestas a las variaciones de caudales y concentraciones de las aguas a tratar, en una circunstancias de trabajo en las cuales la supervisión es ocasional, de manera que ante circunstancias de atascos, ausencias de caudales, excesiva rigidez del sistema, no se actúa con la suficiente celeridad, ni se extraen de estos episodios la valiosa información que pueden aportar.

Aunque en la provincia de Huelva se ha trabajado en varias experiencias, que han aportado datos sobre estos sistemas, frecuentemente las experiencias han adolecido de los problemas comentados, debiéndose recoger la información que proporcionan con cierta reserva.

Se propone pues, el desarrollar una planta piloto, donde a una escala adecuada, se trabaje con estos sistemas en unas condiciones de trabajo los más parecidas posible a las que tendrán cuando se extrapolen a escala industrial. Esta planta diseñará con cierta flexibilidad en su funcionamiento, de manera que pueda operarse con ella, al objeto de evaluar los parámetros de diseño de estas instalaciones.

MEMORIA

5. IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LA ACTUACIÓN.

5.1 Objeto y alcance. Características generales de la actuación.

Es el objeto del presente documento el definir las características de una instalación destinada a la evaluación de los parámetros representativos (*planta piloto*) en el tratamiento de aguas contaminadas por el Drenaje Ácido de Minas (AMD) procedentes de zona de la explotación minera de Tharsis y Filón Sur, en Alosno (Huelva).

La instalación se diseñará de acuerdo al principio de operar como una barrera reactiva, de manera que en sus características implícitas llevará asociada la potencialización de los fenómenos de atenuación natural, el empleo de materiales no contaminantes y disponibles en la zona así como el uso limitado de energía para el funcionamiento del sistema.

A la vez, y dado que se trata de un piloto, se pretende que su diseño permita jugar y analizar la influencia de los diferentes parámetros que se estiman representativos en el diseño de estos equipos, en aras de posibilitar su extrapolación a sistema y a escala industrial de instalaciones en un único punto o en diferentes afluentes del Odiel, orientados a la remediación previa de las aguas ácidas que se almacenarán en la futura presa de la Alcolea, destinada al riego agrícola.

5.2 Ubicación.

La planta se localizará en la rivera del Aguas Agrias, en el arroyo de la Tiesa, a la altura del puente que lo atraviesa en las coordenadas $X=140651.5004$ $Y=4169360.0762$ (ED-50; UTM 30). Este punto se corresponde con el denominado S76 en el presente trabajo y en la tesis doctoral de la Universidad de Huelva.

Este arroyo nace en el embalse Grande, a partir de donde recoge los lixiviados de las escombreras y balsas de lodos de los alrededores, desembocando después de recorrer 15 kilómetros hacia el sureste en el río Oraque y desde éste, hasta el Odiel.

MEMORIA

5.3 Justificación del emplazamiento.

La elección del emplazamiento para la planta piloto se ha realizado en función de características hidroquímicas de la zona y los requisitos de implantación de la planta.

Características hidroquímicas.

Para trabajar con la planta piloto, se precisa disponer de un suministro continuo de agua afectadas por el AMD, en tal cantidad y composición que los resultados obtenidos puedan extrapolarse a otras zonas de la cuenca del Odiel.

Donde se propone instalar la planta, el caudal del arroyo de la Tiesa es elevado durante todo el año (media anual de 243 l/s), lo cual resulta idóneo de cara a disponer de una cantidad adecuada de agua a lo largo de todo el año.

El embalse Grande, con una capacidad de 1,3 Hm³, se encuentra situado al norte del pueblo minero de Tharsis. A pesar de la ubicación en donde se encuentra el embalse, los niveles de contaminación de sus aguas no son excesivamente altos, con un pH de 3.7. Desde aquí, y mediante el aporte de los vertidos ácidos de explotaciones mineras se va produciendo un incremento de los valores contaminantes, hasta alcanzar unos valores, en las muestras tomadas en el entorno de la ubicación propuesta que ya revelan un significativo grado de contaminación.

Así, tenemos concentraciones máximas de hasta 1.8 g/l de Fe, 24 g/l de sulfatos, 940 mg/l de Al, 377 mg/l de Zn, 200 mg/l de Mn y 83 mg/l de Cu. Otros elementos también se encuentran en altas concentraciones tales como 4.3 mg/l de As, 1.3 mg/l de Cd, 12.5 mg/l de Co, 8.7 mg/l de Ni, etc. Los valores de la conductividad eléctrica son de hasta 16 mS/cm y el pH se mantiene siempre por debajo de 3.

MEMORIA

En suma, el elevado caudal que posee este arroyo durante todo el año y las características de los AMD de los vertidos que se realizan al mismo, provocan una alta carga contaminante al río Oraque, lo cual, desde el punto de vista de los objetivos perseguidos con la investigación propuesta, resulta adecuado.

Requisitos de implantación.

Los requisitos de implantación se refieren tanto a la adecuación del emplazamiento para desarrollar la obra constructiva en unas condiciones adecuadas como a que la posición de la planta pueda trabajar de acuerdo a las necesidades que precisan los sistemas de tratamiento pasivos, empleando el mínimo de energía posible (a ser posible por gravedad), disponiendo del suficiente espacio para la planta y tener un fácil suministro de insumos y acceso de personal de mantenimiento y supervisión.

La ubicación elegida se encuentra muy próxima a la carretera A-476, accediendo desde ésta por una pista de tierra de 1,3 Km, en buen estado y lo suficiente ancha para que las máquinas de obra y de mantenimiento puedan acceder sin dificultades. Desde ésta, una vez pasado el puente sobre el arroyo de La Tiesa, es posible llegar a la zona de trabajo sin tener que afrontar grandes desniveles, accediendo a una parcela amplia, relativamente llana y despejada.

En principio, con unas excavaciones de pequeña envergadura, la parcela elegida podría permitir operar por gravedad, lo cual redundaría en una economía de costes y facilidad de operación.

No obstante, al objeto de reducir la obra, facilitar el uso e incrementar el número de parámetros que se controlan se opta por bombear el agua desde el arrollo hasta una arqueta y desde aquí, circular por gravedad.

La energía que se requiere para el funcionamiento de esta bomba, otras de maniobra y de los otros equipos que puedan instalarse, se hará mediante una acometida a una línea eléctrica cercana.

La superficie disponible para la implantación del sistema está entorno a los 3.777 m².

MEMORIA

6. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A TRATAR.**6.1. Analítica del agua.**

En la tabla siguiente se recogen, para la ubicación elegida, las principales características del agua a tratar en la planta.

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar en la ubicación del Piloto		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	243,00	585,00
pH	2,68	0,17
Eh (mV)	661,00	23,00
CE (µS/cm)	10.128,00	4.185,00
Al (mg/L)	496,00	278,00
As (µg/L)	1.489,00	1.238,00
Be (µg/L)	27,50	17,60
Ca (mg/L)	227,00	112,00
Cd (µg/L)	605,00	358,00
Co (µg/L)	6.471,00	3.695,00
Cr (µg/L)	138,00	69,90
Cu (mg/L)	43,30	23,20
Fe (mg/L)	1.154,00	546,00
K (mg/L)	1,84	1,18
Li (µg/L)	896,00	512,00
Mg (mg/L)	1.210,00	824,00
Mn (mg/L)	103,00	60,20
Mo (µg/L)	95,50	82,40
Na (mg/L)	38,30	18,10
Ni (µg/L)	4.377,00	2.612,00
Pb (µg/L)	411,00	305,00
Sb (µg/L)	172,00	198,00
Se (µg/L)	194,00	230,00
Si (mg/L)	22,50	13,90
Sn (µg/L)	300,00	351,00
Sr (µg/L)	304,00	230,00
Zn (mg/L)	204,00	109,00
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	11.706,00	6.663,00

Nota: Número de muestras 16

MEMORIA

6.2. Interpretación de los resultados.

Este punto es de los que presentan mayores niveles de concentración de contaminantes de todos los que se han trabajado en este trabajo, lo cual condicionará, tal como se verá más adelante, el diseño de la planta piloto.

El pH del agua es extremadamente bajo, 2,68, lo cual indica una elevada carga contaminante, al posibilitar la presencia de éstos compuestos en estado iónico en la solución.

Con respecto a los metales, p.e., el valor del hierro es de 1,15 g/l de agua, cuando las recomendaciones máximas van en torno a los 20 mg/l (casi 58 veces más). Igualmente, el aluminio presenta valores de 496 mg/l cuando la recomendación es entorno a 20 (casi 20 veces más).

La salinidad, por encima de los 10 dS/m supera ampliamente los criterios de salinidad severa (3 dS/m), lo cual indica la alta presencia de sales en esta agua (en torno a 6,6 g/litro de agua).

Estas características químicas del agua hacen aconsejable reducir la fuerte carga contaminante de la misma y su elevada salinidad, a valores que, sin estar en condiciones ya de por sí de riego, posibiliten que los fenómenos de atenuación natural, tanto en los cauces como en la presa de la Alcolea, permitan que en los puntos de riego, el agua si presente ya una buena calidad agronómica.

6.3. Estacionalidad de los valores.

La estacionalidad de los valores presentados en la analítica es alta, con desviación estándar en muchos casos que incluso superan el 50% del valor medio (o incluso superior para el régimen de caudales).

En general, durante el período húmedo, los valores de la cargas contaminante es menor (pH más elevado y menor concentración de contaminantes) debido al fenómeno de dilución producido por la lluvia. Durante la estación seca, los aportes a los arroyos son en gran medida procedentes del AMD, de forma que la concentración contaminante es superior. No obstante, la carga contaminante resultante

MEMORIA

del producto del caudal por la concentración es superior durante las épocas húmedas, lo cual significa un aporte bruto de productos tóxicos superior.

Además, durante el verano ocurre una intensa meteorización de los sulfuros, debido al aumento de las temperaturas, lo cual junto a la elevada evaporación induce a que precipiten las sales solubles en formas minerales. Cuando llegan las primeras lluvias, los disuelven rápidamente, liberando la acidez y los metales tóxicos que contienen.

Esto, lejos de ser un problema, es la realidad en la cual deberán trabajar estas plantas, de manera que estos tipos de eventualidades deben quedar incorporadas en su diseño.

MEMORIA

7. DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO.

7.1. Consideraciones generales para el diseño.

- El sistema que se propone para el piloto es pasivo y alcalino y se basa en la eliminación de metales trivalentes, pero no divalentes, de manera que se favorecerá las reacciones de oxidación mediante cascadas de aireación u otros elementos similares.
- La alcalinidad se logrará mediante la disolución de un todo-uno de wollastonita y carbonato cálcico u otros productos alternativos.
- El reactivo se probará en diferentes granulometrías y mezclas con otros productos que aseguren la porosidad y eviten la pasivización del sistema.
- En cola, después del reactivo, se dispondrá un sistema de aireación y un estanque de decantación, al objeto de favorecer la precipitación de los oxihidróxidos metálicos.
- En el piloto deberán poder regularse y controlarse los parámetros básicos, que posibilite un análisis de los resultados obtenidos.
- El sistema será de fácil manejo para las máquinas, al objeto de retirar y añadir sustratos con medios mecánicos.

7.2. Material reactivo.

Se empleará el material wollastonítico, tal como se extrae de la cantera (todo uno). En la experiencia, se ensayarán granulometrías variables, desde tamaño grava (0,6-1,2 cm) hasta material fino (0,1-0,3 cm).

Cuando se emplee material fino, al objeto de evitar la pasivación del sistema por colmatación del mismo, se mezclará con una sustancia, disponible en el entorno, que proporcione estructura y esponjamiento (corteza de pino, virutas de madera, etc).

MEMORIA

Para los cálculos de las estimaciones globales de las necesidades de materiales (hipótesis 1 y 2 anteriores y para el diseño del piloto), se considerarán las siguientes cantidades por cada unidad de sustrato:

- Todo uno de Wollastonita: 60%.
- Matriz inerte (virutas): 40%.
- Porosidad: 40%.

7.3. Dimensionamiento previo.

Utilizando los valores del análisis y las ecuaciones planteadas en apartados anteriores, resultan los siguientes resultados del dimensionamiento del sistema:

MEMORIA

DIMENSIONAMIENTO PLANTA PILOTO UBICACIÓN: ARROYO DE LA TIESA

Acidez calculada (Acc)

Acc _{in} =	5.108,01	(mg/l de CaCO ₃)
Reducción Acc =	2.554,00	(mg/l de CaCO ₃)
Objetivo acidez salida del sistema Acc _{out} =	2.554,00	(mg/l de CaCO ₃)

Superficie horizontal requerida por el tratamiento

Reducción acidez normalizada por área del sistema; Ra =	75,00	g/(m ² *día)
Área =	1.059,20	m ²
Área =	0,11	Ha

Masa sustrato reactivo requerida

Reducción acidez normalizada por la masa de sustrato; Rm =	50,00	g/(Tm*día)
Masa reactivo	1.947,86	Tm
Volumen reactivo	885,39	m ³
Densidad reactivo	2,20	T/m ³

Espesor capa sustrato

Profundidad	1,39	m
-------------	------	---

Tiempo de residencia

Tres =	455,37	h
d, espesor del sustrato	1,39	m
μ, porosidad del sustrato	40,00%	%

De este primer cálculo, resulta un elevado tiempo de residencia (455,37 h), muy superior a las 10-20 h que se cita como objetivos en la bibliografía. Esto es debido a la gran superficie que precisa el sistema frente al caudal que le llega. A este respecto, comentar que, concretamente, este punto recibe una fortísima carga contaminante, de forma que se requiere mayores superficies de tratamiento y por consiguiente superiores tiempos de retención.

MEMORIA

Los caudales a tratar en esta planta oscilarán entre 0,3 y 2 l/s. Estos valores no son muy elevados, pero resultan del condicionamiento que representa la fuerte carga contaminante de esta agua.

Una opción alternativa que debe considerarse, aunque no es la propuesta en este trabajo, es la ubicación de la planta piloto en el entorno donde se construirá la presa de la Alcolea. Aquí la carga contaminante es menor y se permite una mayor capacidad de tratamiento del sistema, tal como se recogen en la tabla siguiente:

MEMORIA

DIMENSIONAMIENTO PLANTA PILOTO UBICACIÓN: PRESA DE LA ALCOLEA

Acidez calculada (Acc)

Acc _{in} =	85,49	(mg/l de CaCO ₃)
Reducción Acc =	42,74	(mg/l de CaCO ₃)
Objetivo acidez salida del sistema Acc _{out} =	42,74	(mg/l de CaCO ₃)

Superficie horizontal requerida por el tratamiento

Reducción acidez normalizada por área del sistema; Ra =	75,00	g/(m ² *día)
Área =	1.083,29	m ²
Área =	0,11	Ha

Masa sustrato reactivo requerida

Reducción acidez normalizada por la masa de sustrato; Rm =	50,00	g/(Tm*día)
Masa reactivo	1.992,17	Tm
Volumen reactivo	905,53	m ³
Densidad reactivo	2,20	T/m ³

Espesor capa sustrato

Profundidad	1,39	m
-------------	------	---

Tiempo de residencia

Tres =	7,62	h
d, espesor del sustrato	1,39	m
μ, porosidad del sustrato	40,00%	%

En estas condiciones, una planta de similares características de diseño a la que se ubicaría en el arroyo de La Tiesa podría tratar 22 l/s de agua.

MEMORIA

7.4. Dimensionamiento final del sistema.

El dimensionamiento final del sistema parte de los resultados anteriores, de manera que se dará dimensiones y cotas a la planta.

Esta instalación se dotará, además, de un sistema de aireación y un estanque de decantación.

Finalmente, existe la posibilidad de recircular desde cualquier ha cabecera o cualquier parte de la planta, e incluso hacer un by-pass entre algunos de los elementos.

MEMORIA

8. PRESUPUESTO.

8.1. Importe del Presupuesto.

El Presupuesto de Ejecución por Contrata de la actuación “Proyecto de Planta Piloto Mediante un Sistema de Tratamiento Pasivo-Alcalino” asciende a la cantidad de CUATROCIENTOS SETENTA Y OCHO MIL OCHENTA Y SIETE EUROS con OCHENTA Y UN CÉNTIMOS (478.087,81 €), que se justifica en los apartados siguientes.

MEMORIA

8.2. Presupuesto y mediciones.

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO Y EXCAVACIONES									
ACOTER001	m2 ACONDICIONAMIENTO DE PARCELA Y CAMINO DE ACCESO M2 de acondicionamiento del terreno, incluyéndose el desmonte y terraplén necesario, rasanteo de la plataforma obtenida, formación de taludes y cunetas y retirada de material sobrante al vertedero.								
	Adecuación parcela	1	3.777,00	1,00		3.777,00			
							3.777,00	1,22	4.607,94
E15VAG020	m. MALLA S/T GALV. 40/14 H=1,60 m. Cercado de 1,60 m. de altura realizado con malla simple torsión galvanizada en caliente de trama 40/14, tipo Teminsa y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión de 48 mm. de diámetro colocados cada tres metros, con p.p. de postes de esquina, jabalcones, tornapuntas, tensores, grupillas y accesorios, montada i/ replanteo y recibido de postes con hormigón HM-20/P/20/I de central.								
	Perímetro planta	1	279,00	1,00		279,00			
							279,00	13,06	3.643,74
E15VPM070	ud PUERTA MALLA GALV. 50x250x5, DE 4,00X2,00 M. Puerta abatible de una hoja de 3x2 m. para cerramiento exterior, formada por bastidor de tubo de acero laminado, montantes de 40x30x1,5 mm., travesaños de 30x30x1,5 y columnas de fijación de 80x80x2, mallazo electrosoldado 250/50 de redondo de 5 mm. galvanizado en caliente por inmersión Z-275, i/herrajes de colgar y seguridad, parador de pie y tope, elaborada en taller, ajuste y montaje en obra.								
		1	4,00	2,00		8,00			
							8,00	273,20	2.185,60
TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO Y EXCAVACIONES.....									10.437,28

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 02 PLANTA DE TRATAMIENTO PASIVO									
E02PW040	m3 EXC.MEC.CARGA/TRANSP. T.D. Y P.P. RELL./CONS. Excavación en terrenos de consistencia dura, por medios mecánicos, con relleno y consolidación necesario posterior hasta el 95% del Proctor Modificado y carga sobre camión basculante del material sobrante, incluso transporte de tierras a vertedero, a una distancia menor de 10 km., considerando ida y vuelta, incluso canon de vertedero y p.p. de medios auxiliares.								
	Tubería maniobra	1	19,83	0,50	1,00	9,92			
	Tubería desagüe	1	84,73	0,50	2,00	84,73			
	Tubería aireador	1	3,00	0,50	2,00	3,00			
	Arqueta maniobra	4	1,00	1,00	1,00	4,00			
	Arqueta desagüe	5	1,00	1,00	1,70	8,50			
	Planta Piloto	2	47,00	6,50	1,75	1.069,25			
							1.179,40	22,10	26.064,74
E04SE030	m3 HORMIGÓN HM-35/B/20/I+Qc (cem. SR) EN SOLERA Hormigón HM-35/B/20/I+Qc (cem. SR), consistencia plástica, Tmáx.20 mm, elaborado en central, incluso vertido, vibrado, reglado y curado en soleras. Según normas NTE-EHS y EHE.								
	Limpieza	2	6,50	47,00	0,10	61,10			
							61,10	125,59	7.673,55
03HAL00008	m3 HORMIGON HA-35/B/20/I+Qc (c SR) EN PAVIMENTACIÓN, P.P. ARMADURA DE HORMIGON HA-35/B/20/I+Qc (cem. SR) EN LOSAS CON ARIDO RODADO DE DIAMETRO MAXIMO 20 mm. Y CONSISTENCIA PLASTICA, LIGERAMENTE ARMADO CON MALLA DE 6X15X15, ELABORADO EN CENTRAL, TRANSPORTADO Y PUESTO EN OBRA SEGUN INSTRUCCION EHE, INCLUSO P.P. DE LIMPIEZA DE FONDOS, VIBRADO Y CURADO, CON FORMACIÓN DE JUNTAS DE DILATACIÓN Y RETRACCIÓN, SEGÚN DETALLES DE PLANOS. MEDIDO EL VOLUMEN TEORICO EJECUTADO.								
	Solera	2	6,50	47,00	0,25	152,75			
							152,75	137,77	21.044,37
03HAW00009	m3 HORMIGON HA-35/B/20/I+Qc (cem SR)EN CIMIENTOS Y MUROS CONTENC DE HORMIGON HA-35/B/20/I+Qc (cem. SR) EN MUROS DE CONTENCIÓN, CON ARIDO RODADO DE DIAMETRO MAXIMO 20 mm. Y CONSISTENCIA PLASTICA, ELABORADO,TRANSPORTADO Y PUESTO EN OBRA SEGUN INSTRUCCION EHE, INCLUSO P.P. DE LIMPIEZA DE FONDOS, VIBRADO Y CURADO. MEDIDO EL VOLUMEN EJECUTADO.								
	Muros laterales largos	4	47,00	2,50	0,25	117,50			
	Muros laterales cortos	4	6,00	2,50	0,25	15,00			
	Muros interiores	8	6,00	2,50	0,25	30,00			
	Muros laminación	6	6,00	2,50	0,25	22,50			
							185,00	120,28	22.251,80
U05LAA020	kg ACERO CORR. B 500 S Acero corrugado B 500 S colocado, incluso p/p de despuntes, alambre de atar y separadores, terminado.								
	Kg de acero								
	Solera	2	6,50	47,00	31,56	19.283,16			
	Muros laterales largos	4	47,00	2,50	31,56	14.833,20			
	Muros laterales cortos	4	6,00	2,50	31,56	1.893,60			
	Muros interiores	8	6,00	2,50	31,56	3.787,20			
	Muros laminación	6	6,00	2,50	31,56	2.840,40			
							42.637,56	0,99	42.211,18
U05LAE010	m2 ENCOFRADO PLANO ALZADOS MUROS Encofrado plano en alzados de muros de hormigón armado, incluso clavazón y desencofrado, totalmente terminado.								
	Total m2								
	Muros laterales largos	4	47,00	2,50		470,00			
	Muros laterales cortos	4	6,00	2,50		60,00			
	Muros interiores	8	6,00	2,50		120,00			

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	Muros laminación	6	6,00	2,50		90,00			
	Muros 50 m	2	50,00	2,00		200,00			
	Muros 24,5 m	2	24,50	2,00		98,00			
							1.038,00	15,83	16.431,54
JUNTAESTANQ	MI. JUNTA ELASTOMÉRICA DE ESTANQUEIDAD								
	MI de junta elastomérica de estanqueidad realizada en banda de PVC de 230 mm con colocación central.								
		12	6,00			72,00			
							72,00	9,02	649,44
PATE	Ud. PATE DE POLIPROPILENO								
	Ud. de pate de acero forrado de polipropileno, prefabricado, totalmente colocado.								
		6				6,00			
							6,00	11,68	70,08
15ACP00004	m CANALIZACION DE PVC. CON TUBERIA REFORZADA DE 110 MM								
	DE CANALIZACION DE PVC. CON TUBERIA REFORZADA DE 200 mm. DE DIAMETRO, INCLUSO FORMACION DE PENDIENTES CON PUNTOS DE HORMIGON, ENVOLTURA DE ARENA CON UN ESPESOR DE 15 cm. Y P.P. DE PIEZAS ESPECIALES Y ADHESIVOS. MEDIDO ENTRE EJES DE ARQUETAS.								
	Red de maniobra								
	Acometida	1	19,83			19,83			
	Tubería principal	1	49,50			49,50			
	Tuberías secundarias	8	2,80			22,40			
	Red de desagüe								
	Tubería principal	1	56,00	0,50	2,00	56,00			
	Tuberías secundarias	3	2,80			8,40			
							156,13	25,73	4.017,22
U13VE116	ud VÁLVULA ESFERA PVC D=75 mm.								
	Válvula de corte de esfera, de PVC, roscado, de 75 mm de diámetro, colocada en redes de riego, incluso accesorios entre los que se incluyen T de derivación en 90 mm en PEAD con reducción a 75 mm y tramo de < 1m finalizado en rosca machón para dicha válvula. se mide completamente instalada.								
	Válvulas red maniobra	27				27,00			
	Válvulas red de desagüe	8				8,00			
							35,00	205,63	7.197,05
04EAP00001A	u ARQUETA DE PASO DE 1.00X1.00 M. 1.00 M PROF. EXC. EN TIERRAS								
	DE ARQUETA DE PASO DE 100X100 cm. (EXTERIOR) Y 1.50 m DE PROFUNDIDAD MEDIA, FORMADA POR SOLERA DE HORMIGON HM-20 DE 15 cm. DE ESPESOR CON FORMACION DE PENDIENTES; FABRICA DE LADRILLO PERFORADO POR TABLA DE 1/2 PIE, ENFOSCADA Y BRUÑIDA POR EL INTERIOR, TAPA DE HORMIGON ARMADO, CON CERCO DE PERFIL LAMINADO L 50:5 Y CONEXION DE TUBOS DE ENTRADA Y SALIDA, INCLUSO EXCAVACION EN TIERRAS, RELLENO Y TRANSPORTE DE TIERRAS SOBRAINTES A VERTEDERO; CONSTRUIDO SEGUN NTE/ISS-51. MEDIDA LA UNIDAD TERMINADA.								
	Arqueta desagües	2				2,00			
							2,00	219,49	438,98
04EAP00002A	u ARQUETA DE PASO DE 1.75X1.00 M. 1.00 M PROF. EXC. EN TIERRAS								
	DE ARQUETA DE PASO DE 175X75 cm. (EXTERIOR) Y 1.50 m DE PROFUNDIDAD MEDIA, FORMADA POR SOLERA DE HORMIGON HM-20 DE 15 cm. DE ESPESOR CON FORMACION DE PENDIENTES; FABRICA DE LADRILLO PERFORADO POR TABLA DE 1/2 PIE, ENFOSCADA Y BRUÑIDA POR EL INTERIOR, TAPA DE HORMIGON ARMADO, CON CERCO DE PERFIL LAMINADO L 50:5 Y CONEXION DE TUBOS DE ENTRADA Y SALIDA, INCLUSO EXCAVACION EN TIERRAS, RELLENO Y TRANSPORTE DE TIERRAS SOBRAINTES A VERTEDERO; CONSTRUIDO SEGUN NTE/ISS-51. MEDIDA LA UNIDAD TERMINADA.								
	Arqueta de desagües	1				1,00			

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
							1,00	219,49	219,49
U13TPB100	m. TUB.PEAD ENTERRADO PN6 D=90mm Tubería de polietileno alta densidad, para instalación enterrada de red de riego, para una presión de 6 kg./cm2., de 90 mm. de diámetro exterior, colocada superficialmente, i/p.p. de elementos de unión y pequeño material, medida la unidad instalada.								
	Red de maniobra bombeada	1	120,00			120,00			
							120,00	19,86	2.383,20
TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 02 PLANTA DE TRATAMIENTO PASIVO.....									150.652,64

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 03 Balsa de Decantación									
E02PW040	m3 EXC.MEC.CARGA/TRANSP. T.D. Y P.P. RELL./CONS. Excavación en terrenos de consistencia dura, por medios mecánicos, con relleno y consolidación necesario posterior hasta el 95% del Proctor Modificado y carga sobre camión basculante del material sobrante, incluso transporte de tierras a vertedero, a una distancia menor de 10 km., considerando ida y vuelta, incluso canon de vertedero y p.p. de medios auxiliares.								
	Balsa decantación	1	22,00	12,00	2,00		528,00		
	Tubería maniobra	1	20,23	0,50	1,00		10,12		
	Tubería desagüe	1	19,23	0,50	2,00		19,23		
	Red de aireación	1	12,54	0,50	2,00		12,54		
							569,89	22,10	12.594,57
LAMPPE001	m2 IMPERMEABILIZACIÓN CON LÁMINA DE POLIETILENO ud de protección de escollera, realizada con doble lámina de geotextil antipunzonamiento de 200 g/m2, lámina de PEHD de 2 mm de espesor y recubrimiento lateral con geomalla con matriz de polipropileno. Cobertura con piedra de escollera de tamaño entre 30 y 50 Kg. colocadas careadas, incluso preparación de la superficie de asiento y terminado según detalle contemplado en planos.								
	Base	20	12,00				240,00		
	Talud 1	2	12,00	2,82			67,68		
	Talud 2	2	22,00	2,82			124,08		
							431,76	28,30	12.218,81
04EAP00001A	u ARQUETA DE PASO DE 1.00X1.00 M. 1.00 M PROF. EXC. EN TIERRAS DE ARQUETA DE PASO DE 100X100 cm. (EXTERIOR) Y 1.50 m DE PROFUNDIDAD MEDIA, FORMADA POR SOLERA DE HORMIGON HM-20 DE 15 cm. DE ESPESOR CON FORMACION DE PENDIENTES; FABRICA DE LADRILLO PERFORADO POR TABLA DE 1/2 PIE, ENFOSCADA Y BRUÑIDA POR EL INTERIOR, TAPA DE HORMIGON ARMADO, CON CERCO DE PERFIL LAMINADO L 50:5 Y CONEXION DE TUBOS DE ENTRADA Y SALIDA, INCLUSO EXCAVACION EN TIERRAS, RELLENO Y TRANSPORTE DE TIERRAS SOBANTES A VERTEDERO; CONSTRUIDO SEGUN NTE/ISS-51. MEDIDA LA UNIDAD TERMINADA.								
	Arqueta red maniobra	1					1,00		
	Arqueta desañe	2					2,00		
							3,00	219,49	658,47
U13TPB100	m. TUB.PEAD ENTERRADO PN6 D=90mm Tubería de polietileno alta densidad, para instalación enterrada de red de riego, para una presión de 6 kg./cm2., de 90 mm. de diámetro exterior, colocada superficialmente, i/p.p. de elementos de unión y pequeño material, medida la unidad instalada.								
	red general de riego	1	1.645,00				1.645,00		
							1.645,00	19,86	32.669,70
U13VE116	ud VÁLVULA ESFERA PVC D=75 mm. Válvula de corte de esfera, de PVC, roscado, de 75 mm de diámetro, colocada en redes de riego, incluso accesorios entre los que se incluyen T de derivación en 90 mm en PEAD con reducción a 75 mm y tramo de < 1m finalizado en rosca machón para dicha válvula. se mide completamente instalada.								
	Válvulas red de maniobra	1					1,00		
	Válvulas red de desagües	1					1,00		
							2,00	205,63	411,26
15ACP00004	m CANALIZACION DE PVC. CON TUBERIA REFORZADA DE 110 MM DE CANALIZACION DE PVC. CON TUBERIA REFORZADA DE 200 mm. DE DIAMETRO, INCLUSO FORMACION DE PENDIENTES CON PUNTOS DE HORMIGON, ENVOLTURA DE ARENA CON UN ESPESOR DE 15 cm. Y P.P. DE PIEZAS ESPECIALES Y ADHESIVOS. MEDIDO ENTRE EJES DE ARQUETAS.								
	Red de maniobra								
	Acometida	1	2,20				2,20		
	Sifones	4	0,20				0,80		
	Sifón principal	1	1,98				1,98		
	Tubería principal	1	20,23				20,23		

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	Red de desague								
	Tubería principal	1	19,23	0,50	2,00	19,23			
							44,44	25,73	1.143,44
001REDAIRE	ud RED DE AIREACIÓN								
	Ud ee equipo de aireación de 8,81 Kg de aireación en agua por hora de capacida, compuesto por por electrobomba, eyector, kit de elevación, silenciador y bastidor de soporte, incluida red de aireación en PVC de D 110mm. Medida la unidad completamente instalada.								
	Equipo de aireación	1				1,00			
							1,00	9.862,09	9.862,09
TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 03 Balsa de Decantación.....									69.558,34

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 04 CASETA-ALMACÉN									
01PA001	1 CASETA ALMACEN DE OBRA DE FÁBRICA								
	Ud de caseta de obra de fábrica de 48-50 m2 de una planta y cimentación en losa de hormigón, con solería de hormigón fratasado y acabado con tratamiento silíceo, cerrajería metálica, cristalería y acabado mediante pintura plástica. Cubierta a cuatro aguas, con forjado superior y tejas cerámicas. Instalación eléctrica trifásica y monofásica, con puntos de energía y luz. Medida la unidad ejecutada.								
	Caseta	1	6,00	8,00		48,00			
							48,00	424,00	20.352,00
	TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 04 CASETA-ALMACÉN								20.352,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 05 INSTALACIONES ELÉCTRICAS									
TTIERRA	<p>ud TOMA DE TIERRA PARA APOYOS</p> <p>Ud. de toma de tierra simple para apoyos por medio de dos pica de acero cobrizado de 2 m. y 14 mm. de diámetro y conductor de cobre desnudo de 50 mm². de sección, enterrados a una profundidad mínima de 50 cm sobre el terreno, incluso p.p. de pequeño material. Totalmente instalada.</p>								
	EBAR 3	1					1,00		
								401,00	401,00
SECEXPULSB	<p>ud SECCIONADORES FUSIBLES DE EXPULSIÓN (15 A)</p> <p>Juego de tres cortacircuitos seccionadores unipolares con fusibles de expulsión (24 Kv, 200 A) con fusibles de 15 A, incluyendo juego de crucetas auxiliares para fijación al apoyo, medida la unidad montada y totalmente terminada.</p>								
	Apoyo nº 1	1					1,00		
								1.724,40	1.724,40
APOYOSEV	<p>ud APOYO METÁLICO DE ENTRONQUE</p> <p>Apoyo de entronque a línea aérea de M.T. de 15/20 kV perteneciente a la CSE ENDESA formada por: apoyo metálico de celosía galvanizado, armado e izado; cruceta metálica galvanizada R.U. 6706 A, bastidor metálico galvanizado; cadena de aisladores y demás aparamenta según requisitos de CSE; realizado en terreno accesible a camiones, incluso apertura de pozo en terreno de consistencia media/dura, hormigonado y transportes (no se incluye la tramitación y permiso de los propietarios de los terrenos afectados por el paso de la línea).</p>								
	A instalar por CSE	1					1,00		
								2.795,65	2.795,65
APOC200014	<p>ud APOYO METÁLICO C 2000 14</p> <p>Apoyo de línea aérea de M.T. de 15/20 kV. formada por: apoyo metálico galvanizado de 14 m. de altura total y 2.000 kg. de esfuerzo en punta, armado e izado; cruceta metálica galvanizada R.U. 6706 A, bastidor metálico galvanizado; cadena de aisladores horizontales tipo AM, Cr o AL etc; realizado en terreno accesible a camiones, incluso apertura de pozo en terreno de consistencia media/dura, hormigonado y transportes (no se incluye la tramitación y permiso de los propietarios de los terrenos afectados por el paso de la línea).</p>								
	Apoyos	4					4,00		
								2.637,89	10.551,56
APOSTRAF	<p>ud APOYO METÁLICO C 2000 14 soporte trafo</p> <p>Apoyo metálico de celosía para soporte del Trafo, incluidos si fuesen precisos herrajes para seccionador, accesorios para fisibles y autoválulas y caja con puente seccionable de puesta a tierra, realizado en terreno accesible a camiones, incluso formación de plataforma cortafuegos, apertura de pozo en terreno de consistencia media/dura, hormigonado y transportes (no se incluye la tramitación).</p>								
	Apoyo trafo	1					1,00		
								2.231,02	2.231,02
LINEAMT	<p>km LINEA AEREA DE M.T. 15/20 Kv</p> <p>Línea aérea de M.T. de 15/20 kV. montada sobre apoyos metálicos de celosía para un vano medio de 100 m. considerando un ángulo en la traza de la línea, compuesta por conductor LA-56, tendido, tensado y engrapado e incluso el transporte del mismo.</p>								
	Línea Planta	1	0,74				0,74		
								3.643,86	2.696,46
APARCTB	<p>ud ENTRONQUE AEREO M.T. - C.G.P. (10 A)</p> <p>Entronque para paso de red aérea de media tensión (20 kV) a C.G.P., formado por: 1 juego de base portafusibles de interperie de 24 Kv y 200 A para fusibles APR de 10 A (incluso éste), 1 juego de pararrayos (autoválulas), para protección de sobretensiones de origen atmosférico y cable de conexión con Caja General de Protección, incluso tubo de acero galvanizado de 6" de diámetro para protección mecánica de estos cables, provisto de capuchón de protección en su parte superior; puesta a tierra de los pararrayos. Totalmente instalado.</p>								
	Apoyo nº 4	1					1,00		
								1.208,88	1.208,88

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
TRAF050	<p>ud TRAF0 ACEITE MT/BT 50 KVA</p> <p>Transformador de media a baja tensión de 50 KVA. de potencia, en baño de aceite, refrigeración natural, para exterior, de las siguientes características: tensión primaria 15 kV., tensión secundaria 400 V., regulación +- 2,5% +- 5%; conexión Yzn11. Según normas RU 5201C, UNE 20138, totalmente montado.</p> <p>Apoyo nº 4</p>	1				1,00			
							1,00	3.127,95	3.127,95
CGP400A	<p>ud CAJA GENERAL DE PROTECCIÓN (FUSIBLE 400 A)</p> <p>Caja de conexión y protección según norma ENDESA NNLO10 de 400 A, esquema 7, fusible gT de tamaño 2 de 200 A, totalmente instalada, incluyendo herrajes de fijación al apoyo de celosía.</p> <p>Apoyo nº 4</p>	1				1,00			
							1,00	237,60	237,60
CONTADORES	<p>ud EQUIPO DE MEDIDA</p> <p>Ud. de tarificación en B.T. para instalación interior o intemperie sobre muro de mampostería u hormigón, compuesto por armario de poliestéer con placa base y contador de activa, triple tarifa, contador de reactiva, maxímetro y reloj electromecánico para conmutación tarifaria. Incluso p.p. de pequeño material. Totalmente instalado y conexionado.</p> <p>C.T. en caseta</p>	1				1,00			
							1,00	1.082,49	1.082,49
U10BCC010C	<p>m LIN. SUBTERR. 4(1x50) Al. (incluye excavación) tipo II</p> <p>Línea de distribución en baja tensión, desde Centro de Transformación hasta EBAR, enterrada bajo tubo, realizada con cables conductores de 4(1x50) mm2. Al. RV 0,6/1 kV., formada por: conductor de aluminio con aislamiento en polietileno reticulado y cubierta de PVC, en zanja de dimensiones mínimas 60 cm. de ancho y 60 cm. de profundidad, incluyendo excavación de zanja, asiento con 20 cm. de arena de río, montaje de tubos de PVC corrugados de 160 mm. de diámetro, relleno con arena hasta una altura de 10 cm. por encima de los tubos envolviéndolos completamente, sin incluir reposición de pavimento; incluso suministro y montaje de cables conductores, con parte proporcional de empalmes para cable al CGP del C.T. y CCM, retirada y transporte a vertedero de los productos sobrantes de la excavación y pruebas de rigidez dieléctrica, instalada, transporte, montaje y conexionado.</p> <p>Tramo Apoyo C.T. a CCM</p>	1	20,00			20,00			
							20,00	17,64	352,80
U10BZ030	<p>ud ARQ.PREF.PP HIDROSTANK 45x45x60 S/FONDO</p> <p>Arqueta eléctrica fabricada en polipropileno reforzado marca Hidrostack sin fondo, de medidas interiores 45x45x60 cm. con tapa y marco de fundición incluidos, colocada sobre cama de arena de río de 10 cm. de espesor y p.p. de medios auxiliares, sin incluir la excavación ni el relleno perimetral exterior.</p> <p>Apoyo C.T.</p> <p>Pié cerramiento Piloto</p>	1				1,00			
		1				1,00			
							2,00	119,03	238,06
CCMBOMBEO	<p>ud CUADRO DE CONTROL DE MOTORES</p> <p>Centro de control de motores con la siguiente aparamenta: En acometida a la red dispondrá de interruptores automáticos tetrapolares, analizador de redes, relés auxiliares para señales de estado, disyuntores magnetotérmicos de protección de circuitos de maniobra y medida y protección contra sobretensiones. también incluirá contactores de mando, amperímetro, selector de modo y demás aparamenta incluida en el anejo de cálculos eléctricos, planos de esquemas unifilares y el PPTP. Se considera también incluida la puesta a tierra de este cuadro (cable, electrodo, arqueta etc). midiéndose la unidad totalmente montada y probada.</p> <p>Cuatro motores</p>	1				1,00			
							1,00	8.689,56	8.689,56
ARRANC01	<p>ud ARRANCADOR BOMBA</p> <p>Arrancador estrella-triángulo para bombas de 25 KW, 380 V totalmente instalado y probado en CCM.</p> <p>CCM Planta Piloto</p>	2				2,00			
							2,00	563,50	1.127,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
U10BW020	ud CUADRO SERVICIOS AUXILIARES Cuadro de mando para servicios auxiliares, para 6 salidas, montado sobre armario de poliéster reforzado con fibra de vidrio, de dimensiones 1000x800x250 mm., con los elementos de protección y mando necesarios para atender a circuitos de alumbrado exterior e interior (emergencia) y tomas de fuerza trifásicas y monofásicas y apartamiento establecida en el PPTP. Cuadro auxiliar	1				1,00	1,00	755,04	755,04
PROG01	ud UNIDAD DE PROGRAMACIÓN P.A. para programación del PLC y SCADA según pliego de prescripciones técnicas. Grupo bombas	1				1,00	1,00	9.321,64	9.321,64
LEGMT01	ud LEGALIZACIÓN EN M.T. PA de legalización del proyecto de M.T. incluyéndose derechos de acometida, proyecto visado, certificado de la dirección de obra visado y gestión con organismos competentes Planta Piloto	1				1,00	1,00	1.325,00	1.325,00
LEGBT01	ud LEGALIZACIÓN EN B.T. PA de legalización del proyecto de B.T. incluyéndose derechos de acometida, certificado de la dirección de obra visado y gestión con organismos competentes Planta piloto	1				1,00	1,00	1.219,00	1.219,00
INSCREG	ud INSCRIPCIÓN DE MAQUINAS PA de inscripción de la maquinaria de acuerdo con el RD 1215/97. Planta piloto	1				1,00	1,00	1.070,60	1.070,60
ULTRAS01	ud EQUIPO ULTRASÓNICO Equipo ultrasónico de nivel totalmente montado y probado de acuerdo al PPTP. Planta Piloto	1				1,00	1,00	2.480,96	2.480,96
BOYA01	ud BOYA DE NIVEL Boya de mínimo nivel para seguridad de las bombas de acuerdo al PPTP Planta Piloto	1				1,00	1,00	137,61	137,61
FOTOC01	ud FOTOCÉLULA Unidad de fotocélulas totalmente montada y probada según PPTP. Planta Piloto	1				1,00	1,00	114,29	114,29
PAE01	ud PROTECCIÓN AVIFAUNA PA que contempla las medidas de protección de la avifauna reflejadas en el estudio ambiental que se adjunta en este documento como anejo. Planta Piloto	1				1,00	1,00	1.537,00	1.537,00
TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 05 INSTALACIONES ELÉCTRICAS									54.425,57

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 06 INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS									
U07VAV265	ud VÁLV.RETENC.BOLA PN-16 D=100 mm, TIPO BELGICAST O SIMILAR Válvula de retención de fundición, de bola, PN-16, tipo Belgicast o similar, de 100 mm de diámetro interior, incluso uniones y accesorios, completamente instalada.								
	Bombeos	2				2,00			
							2,00	433,96	867,92
BOMIMP001	ud BOMBA DE IMPULSION TIPO ABS, MOD.AFP1049.3, 80m3/h,14 mca Ud. bomba de impulsión tipo ABS Mod. AFP 1049.3, o similar, instalación vertical sumergida, unidad de grupo motobomba de impulsión especial de aguas residuales capaz de elevar 80 m3/h. a 14 m.c.a., accionamiento por motor de 7,23 Kw, impulsor CB monocanal abierto, de 80 mm de paso de sólido y demás características reflejadas en ficha técnica adjunta en anejos. Se incluye también pedestal, 7 metros de cadena de izado de 5 mm AISI 316, 6 metros de tubo guía AISI 316 de 2 pulgadas y conexión de descarga para acoplamiento automático de las bombas con salida para tubería DN 100, espárragos de anclaje y soportes superiores de tubo guía AFP 1 etc Totalmente montada y funcionando.								
	EBAR.1	2				2,00			
							2,00	4.814,11	9.628,22
TUBIMP	ud CONJUNTO DE IMPULSION AISI-316 Ud. conjunto de impulsión formado por colector de 100 mm. de diámetro para dos entradas de 100 mm. y una salida de 110 mm., conectado a tubería de polietileno y conexiones a bomba de tubería de acero, todo ello ejecutado en AISI 316 serie milimétrica DIN 2642, presión de trabajo 10 atm., incluso p.p. de juntas y piezas especiales. Totalmente instalado y probado.								
		2	1,00			2,00			
							2,00	1.936,43	3.872,86
TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 06 INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS.....									14.369,00

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 07 ACCESORIOS									
DEPPEINST001	ud Depósito PE 1000 l instalado Ud de depósito de polietileno de alta densidad de 1.000 litros de capacidad útil, suministrado con reja galvanizada de transporte, apertura superior de llenado y apertura lateral para conexionado de tuberías en PEHD, incluyendo conexión, llave de PVC y tramo de tubería, todo en 50 mm, medida la unidad ejecutada.						6,00	360,87	2.165,22
INSTMED001	pa Instrumental de medida y control Pa de instrumental de medida y control para medir parámetros hidráulicos y físico químicos durante la experiencia, como conductivímetros, sondas de diversa naturaleza, etc.						1,00	19.080,00	19.080,00
TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 07 ACCESORIOS									21.245,22

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Proyecto de Planta Piloto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO CAPÍTULO 08 SEGURIDAD Y SALUD									
SYSA001	pa Seguridad y salud construcción pa de seguridad y salud durante la obra de construcción de la Planta Piloto y otras infraestructuras, incluyendo la figura de un responsable de la Coordinación, redacción de documentos y las proteccio- nes individuales y colectivas						1,00	5.300,00	5.300,00
TOTAL CAPÍTULO CAPÍTULO 08 SEGURIDAD Y SALUD.....									5.300,00
TOTAL.....									346.340,05

MEMORIA

8.3. Resumen del presupuesto.

RESUMEN DE PRESUPUESTO

Proyecto de Planta Piloto

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
CAPÍTULO 01	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO Y EXCAVACIONES.....	10.437,28	3,01
CAPÍTULO 02	PLANTA DE TRATAMIENTO PASIVO.....	150.652,64	43,50
CAPÍTULO 03	BALSA DE DECANTACIÓN.....	69.558,34	20,08
CAPÍTULO 04	CASETA-ALMACÉN.....	20.352,00	5,88
CAPÍTULO 05	INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	54.425,57	15,71
CAPÍTULO 06	INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS.....	14.369,00	4,15
CAPÍTULO 07	ACCESORIOS.....	21.245,22	6,13
CAPÍTULO 08	SEGURIDAD Y SALUD.....	5.300,00	1,53
	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	346.340,05	
	13,00% Gastos generales.....	45.024,21	
	6,00% Beneficio industrial.....	20.780,40	
	SUMA DE G.G. y B.I.	65.804,61	
	16,00% I.V.A.	65.943,15	
	TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA	478.087,81	
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	478.087,81	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CUATROCIENTOS SETENTA Y OCHO MIL OCHENTA Y SIETE EUROS con OCHENTA Y UN CÉNTIMOS

HUELVA, a enero de 2009.

MEMORIA

9. PLANOS.

- Plano nº 1: Situación.
- Plano nº 2: Emplazamiento.
- Plano nº 3: Planta General.
- Plano nº 4: Detalles Constructivos.

MEMORIA

ANEJO Nº 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO DE LA LOCALIZACION SELECCIONADA.



Fotos 1y 2: Aspecto general del emplazamiento seleccionado.



Fotos 3 y 4: Aspecto parcial de la zona, aguas abajo y arriba del lugar seleccionado.



Fotos 5, 6 y 7: Vistas del .cauce del arroyo de la tiesa, a la altura donde se tiene prevista la actuación

MEMORIA



Fotos 8 y 9: Accesos al emplazamiento.



Fotos 10 y 11: trabajos topográficos realizados.



Fotos 12, 13 y 14: Aspecto del agua del cauce.

MEMORIA

ANEJO Nº 2.- ANALÍTICAS DE LAS DIFERENTES UBICACIONES.

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S5		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	N.D.	
pH	3,14	
Eh (mV)	N.D.	
CE (µS/cm)	6.350,00	
Al (mg/L)	157,00	
As (µg/L)	63,60	
Be (µg/L)	13,40	
Ca (mg/L)	78,00	
Cd (µg/L)	286,00	
Co (µg/L)	3.375,00	
Cr (µg/L)	9,09	
Cu (mg/L)	12,90	
Fe (mg/L)	1.089,00	
K (mg/L)	0,66	
Li (µg/L)	257,00	
Mg (mg/L)	177,00	
Mn (mg/L)	46,20	
Mo (µg/L)	16,90	
Na (mg/L)	9,37	
Ni (µg/L)	242,00	
Pb (µg/L)	119,00	
Sb (µg/L)	< L.D.	
Se (µg/L)	< L.D.	
Si (mg/L)	6,80	
Sn (µg/L)	374,00	
Sr (µg/L)	444,00	
Zn (mg/L)	111,00	
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	5.117,00	
Nota: Número de muestras 1		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S6		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	N.D.	
pH	3,00	
Eh (mV)	N.D.	
CE (µS/cm)	N.D.	
Al (mg/L)	70,70	
As (µg/L)	285,00	
Be (µg/L)	4,28	
Ca (mg/L)	113,00	
Cd (µg/L)	37,90	
Co (µg/L)	373,00	
Cr (µg/L)	19,70	
Cu (mg/L)	4,65	
Fe (mg/L)	629,00	
K (mg/L)	4,47	
Li (µg/L)	145,00	
Mg (mg/L)	113,00	
Mn (mg/L)	3,64	
Mo (µg/L)	36,80	
Na (mg/L)	20,10	
Ni (µg/L)	95,50	
Pb (µg/L)	74,60	
Sb (µg/L)	< L.D.	
Se (µg/L)	< L.D.	
Si (mg/L)	31,10	
Sn (µg/L)	419,00	
Sr (µg/L)	569,00	
Zn (mg/L)	8,60	
HCO₃ (mg/L)	N.D.	
SO₄ (mg/L)	2.410,00	
Nota: Número de muestras 1		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S8		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	5,00	
pH	2,05	
Eh (mV)	N.D.	
CE (µS/cm)	6.080,00	
Al (mg/L)	232,00	
As (µg/L)	4.686,00	
Be (µg/L)	9,53	
Ca (mg/L)	53,30	
Cd (µg/L)	350,00	
Co (µg/L)	1.120,00	
Cr (µg/L)	17,20	
Cu (mg/L)	122,00	
Fe (mg/L)	1.330,00	
K (mg/L)	2,16	
Li (µg/L)	153,00	
Mg (mg/L)	46,50	
Mn (mg/L)	5,80	
Mo (µg/L)	47,70	
Na (mg/L)	13,50	
Ni (µg/L)	116,00	
Pb (µg/L)	106,00	
Sb (µg/L)	< L.D.	
Se (µg/L)	< L.D.	
Si (mg/L)	16,20	
Sn (µg/L)	354,00	
Sr (µg/L)	1.231,00	
Zn (mg/L)	55,00	
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	5.690,00	
Nota: Número de muestras 1		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S13		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	122,00	163,00
pH	2,71	0,09
Eh (mV)	655,00	71,00
CE (µS/cm)	12.380,00	2.519,00
Al (mg/L)	1.046,00	353,00
As (µg/L)	257,00	195,00
Be (µg/L)	50,70	27,50
Ca (mg/L)	331,00	77,10
Cd (µg/L)	1.217,00	370,00
Co (µg/L)	5.864,00	1.800,00
Cr (µg/L)	103,00	50,50
Cu (mg/L)	103,00	25,80
Fe (mg/L)	835,00	291,00
K (mg/L)	0,99	1,46
Li (µg/L)	1.881,00	788,00
Mg (mg/L)	1.628,00	529,00
Mn (mg/L)	201,00	65,80
Mo (µg/L)	202,00	124,00
Na (mg/L)	14,60	8,31
Ni (µg/L)	4.160,00	1.409,00
Pb (µg/L)	451,00	338,00
Sb (µg/L)	355,00	234,00
Se (µg/L)	420,00	335,00
Si (mg/L)	34,40	19,20
Sn (µg/L)	154,00	139,00
Sr (µg/L)	820,00	327,00
Zn (mg/L)	311,00	90,20
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	16.818,00	5.611,00

Nota: Número de muestras 7

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S14		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	873,00	1.841,00
pH	2,80	0,20
Eh (mV)	694,00	42,00
CE (µS/cm)	7.139,00	3.129,00
Al (mg/L)	429,00	281,00
As (µg/L)	77,20	86,60
Be (µg/L)	20,70	20,20
Ca (mg/L)	236,00	110,00
Cd (µg/L)	525,00	311,00
Co (µg/L)	2.968,00	1.940,00
Cr (µg/L)	40,30	25,30
Cu (mg/L)	58,20	37,10
Fe (mg/L)	264,00	163,00
K (mg/L)	2,89	1,17
Li (µg/L)	882,00	618,00
Mg (mg/L)	648,00	425,00
Mn (mg/L)	84,20	52,30
Mo (µg/L)	80,70	91,20
Na (mg/L)	41,70	27,00
Ni (µg/L)	1.462,00	890,00
Pb (µg/L)	246,00	182,00
Sb (µg/L)	131,00	145,00
Se (µg/L)	209,00	199,00
Si (mg/L)	23,80	17,80
Sn (µg/L)	147,00	159,00
Sr (µg/L)	1.720,00	2.987,00
Zn (mg/L)	122,00	84,40
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	7.016,00	4.452,00

Nota: Número de muestras 11

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S18		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	N.D.	
pH	2,60	
Eh (mV)	553,00	
CE ($\mu\text{S/cm}$)	3.870,00	
Al (mg/L)	N.D.	
As ($\mu\text{g/L}$)	73,40	
Be ($\mu\text{g/L}$)	9,00	
Ca (mg/L)	84,80	
Cd ($\mu\text{g/L}$)	23,80	
Co ($\mu\text{g/L}$)	557,00	
Cr ($\mu\text{g/L}$)	24,60	
Cu (mg/L)	2,60	
Fe (mg/L)	1.205,00	
K (mg/L)	0,30	
Li ($\mu\text{g/L}$)	399,00	
Mg (mg/L)	203,00	
Mn (mg/L)	28,00	
Mo ($\mu\text{g/L}$)	22,20	
Na (mg/L)	9,31	
Ni ($\mu\text{g/L}$)	154,00	
Pb ($\mu\text{g/L}$)	109,00	
Sb ($\mu\text{g/L}$)	<L.D.	
Se ($\mu\text{g/L}$)	<L.D.	
Si (mg/L)	41,50	
Sn ($\mu\text{g/L}$)	243,00	
Sr ($\mu\text{g/L}$)	623,00	
Zn (mg/L)	9,51	
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	4.420,00	
Nota: Número de muestras 1		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S32		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	47,00	85,00
pH	2,68	0,09
Eh (mV)	735,00	36,00
CE (µS/cm)	3.113,00	987,00
Al (mg/L)	87,40	46,30
As (µg/L)	316,00	248,00
Be (µg/L)	9,30	9,05
Ca (mg/L)	119,00	68,80
Cd (µg/L)	60,60	35,90
Co (µg/L)	796,00	575,00
Cr (µg/L)	23,30	16,20
Cu (mg/L)	11,20	6,71
Fe (mg/L)	233,00	109,00
K (mg/L)	0,90	0,28
Li (µg/L)	396,00	275,00
Mg (mg/L)	145,00	99,00
Mn (mg/L)	46,80	34,60
Mo (µg/L)	18,10	19,60
Na (mg/L)	17,60	9,15
Ni (µg/L)	770,00	566,00
Pb (µg/L)	130,00	89,80
Sb (µg/L)	40,80	47,40
Se (µg/L)	46,10	58,90
Si (mg/L)	17,40	14,50
Sn (µg/L)	15,60	18,00
Sr (µg/L)	223,00	120,00
Zn (mg/L)	16,70	9,86
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	2.252,00	1.188,00
Nota: Número de muestras 7		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S40		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	N.D.	
pH	3,25	0,17
Eh (mV)	556,00	57,00
CE (µS/cm)	3.716,00	150,00
Al (mg/L)	63,30	560,00
As (µg/L)	1.518,00	0,50
Be (µg/L)	6,12	18,90
Ca (mg/L)	150,00	40,40
Cd (µg/L)	108,00	228,00
Co (µg/L)	1.053,00	3,72
Cr (µg/L)	10,50	7,00
Cu (mg/L)	12,00	127,00
Fe (mg/L)	651,00	0,23
K (mg/L)	1,62	22,70
Li (µg/L)	314,00	26,30
Mg (mg/L)	113,00	5,72
Mn (mg/L)	38,90	2,78
Mo (µg/L)	16,70	2,13
Na (mg/L)	23,30	225,00
Ni (µg/L)	824,00	62,50
Pb (µg/L)	155,00	26,00
Sb (µg/L)	19,00	35,30
Se (µg/L)	25,80	8,66
Si (mg/L)	26,90	107,00
Sn (µg/L)	150,00	438,00
Sr (µg/L)	602,00	7,59
Zn (mg/L)	59,70	380,00
HCO3 (mg/L)	N.D.	
SO4 (mg/L)	2.544,00	1.188,00

Nota: Número de muestras 7

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S42		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	263,00	317,00
pH	3,80	1,16
Eh (mV)	591,00	148,00
CE (µS/cm)	3.521,00	1.105,00
Al (mg/L)	23,00	25,30
As (µg/L)	311,00	438,00
Be (µg/L)	< L.D.	1,87
Ca (mg/L)	481,00	336,00
Cd (µg/L)	64,80	48,10
Co (µg/L)	436,00	492,00
Cr (µg/L)	122,00	154,00
Cu (mg/L)	3,75	4,19
Fe (mg/L)	94,70	115,00
K (mg/L)	2,33	1,26
Li (µg/L)	147,00	111,00
Mg (mg/L)	135,00	128,00
Mn (mg/L)	36,40	45,70
Mo (µg/L)	21,00	25,60
Na (mg/L)	40,30	19,60
Ni (µg/L)	196,00	273,00
Pb (µg/L)	1.185,00	2.110,00
Sb (µg/L)	86,30	138,00
Se (µg/L)	52,90	66,60
Si (mg/L)	4,51	2,72
Sn (µg/L)	50,30	93,20
Sr (µg/L)	801,00	1.252,00
Zn (mg/L)	45,00	47,40
HCO₃ (mg/L)	4,46	11,80
SO₄ (mg/L)	2.620,00	1.333,00
Nota: Número de muestras 7		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S46		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	64,00	31,00
pH	3,23	0,31
Eh (mV)	708,00	54,00
CE (µS/cm)	1.138,00	626,00
Al (mg/L)	8,35	6,99
As (µg/L)	29,40	34,70
Be (µg/L)	< L.D.	0,80
Ca (mg/L)	36,20	26,30
Cd (µg/L)	6,26	8,76
Co (µg/L)	55,10	42,70
Cu (mg/L)	0,62	0,40
Fe (mg/L)	21,90	17,40
K (mg/L)	1,23	0,29
Li (µg/L)	44,30	34,10
Mg (mg/L)	30,30	19,50
Mn (mg/L)	4,32	2,95
Mo (µg/L)	< L.D.	3,29
Na (mg/L)	17,30	8,12
Ni (µg/L)	70,20	53,50
Pb (µg/L)	42,10	49,80
Sb (µg/L)	7,04	8,51
Se (µg/L)	6,05	10,20
Si (mg/L)	7,71	8,14
Sn (µg/L)	< L.D.	1,66
Sr (µg/L)	98,30	56,20
Zn (mg/L)	5,80	4,25
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	399,00	285,00
Nota: Número de muestras 5		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S54		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	4,82	0,91
pH	492,00	104,00
Eh (mV)	638,00	285,00
CE (µS/cm)	621,00	346,00
Al (mg/L)	6,12	6,04
As (µg/L)	< L.D.	4,44
Be (µg/L)	< L.D.	0,23
Ca (mg/L)	41,90	17,80
Cd (µg/L)	4,52	3,05
Co (µg/L)	86,90	50,00
Cr (µg/L)	< L.D.	1,06
Cu (mg/L)	1,11	0,74
Fe (mg/L)	9,37	7,18
K (mg/L)	0,81	0,22
Li (µg/L)	46,20	28,70
Mg (mg/L)	27,10	9,48
Mn (mg/L)	5,41	2,85
Mo (µg/L)	< L.D.	1,54
Na (mg/L)	18,80	3,61
Ni (µg/L)	106,00	61,70
Pb (µg/L)	7,48	10,30
Sb (µg/L)	< L.D.	5,15
Se (µg/L)	< L.D.	9,26
Si (mg/L)	5,22	2,98
Sn (µg/L)	8,09	18,10
Sr (µg/L)	101,00	31,20
Zn (mg/L)	4,64	2,81
HCO ₃ (mg/L)	7,56	10,60
SO ₄ (mg/L)	303,00	150,00
Nota: Número de muestras 5		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S58		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	337,00	766,00
pH	2,67	0,36
Eh (mV)	693,00	28,00
CE (µS/cm)	4.093,00	2.760,00
Al (mg/L)	282,00	306,00
As (µg/L)	72,50	80,00
Be (µg/L)	3,50	5,55
Cd (µg/L)	110,00	140,00
Co (µg/L)	1.245,00	1.325,00
Cr (µg/L)	36,90	47,30
Cu (mg/L)	1,18	1,36
Fe (mg/L)	1.121,00	1.480,00
Li (µg/L)	131,00	148,00
Mn (mg/L)	10,40	10,60
Mo (µg/L)	52,50	62,90
Ni (µg/L)	91,30	104,00
Pb (µg/L)	151,00	182,00
Sb (µg/L)	110,00	129,00
Se (µg/L)	136,00	190,00
Si (mg/L)	12,00	14,70
Sn (µg/L)	71,80	102,00
Sr (µg/L)	203,00	200,00
Zn (mg/L)	1,45	1,75
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	4.931,00	18,10

Nota: Número de muestras 6

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S59		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	3,51	0,52
pH	654,00	53,00
Eh (mV)	886,00	531,00
CE (µS/cm)	459,00	1.015,00
Al (mg/L)	11,40	13,40
As (µg/L)	5,15	10,90
Be (µg/L)	< L.D.	0,58
Cd (µg/L)	6,76	10,00
Co (µg/L)	22,40	30,60
Cr (µg/L)	3,14	5,05
Cu (mg/L)	0,53	0,56
Fe (mg/L)	5,91	3,19
Li (µg/L)	23,10	28,80
Mn (mg/L)	1,66	2,41
Mo (µg/L)	< L.D.	4,80
Ni (µg/L)	13,10	22,20
Pb (µg/L)	90,50	126,00
Sb (µg/L)	5,21	6,70
Se (µg/L)	5,15	6,37
Si (mg/L)	5,94	3,18
Sn (µg/L)	< L.D.	3,35
Sr (µg/L)	162,00	191,00
Zn (mg/L)	3,19	4,51
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	454,00	606,00

Nota: Número de muestras 6

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S65		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	83,00	136,00
pH	2,64	0,19
Eh (mV)	662,00	23,00
CE (µS/cm)	7.976,00	3.246,00
Al (mg/L)	338,00	212,00
As (µg/L)	276,00	418,00
Be (µg/L)	29,10	18,40
Ca (mg/L)	246,00	77,70
Cd (µg/L)	436,00	244,00
Co (µg/L)	1.900,00	963,00
Cr (µg/L)	67,90	53,80
Cu (mg/L)	63,20	42,00
Fe (mg/L)	826,00	572,00
K (mg/L)	1,41	1,15
Li (µg/L)	685,00	437,00
Mg (mg/L)	781,00	374,00
Mn (mg/L)	67,30	28,90
Mo (µg/L)	59,20	50,50
Na (mg/L)	14,20	5,25
Ni (µg/L)	1.107,00	622,00
Pb (µg/L)	384,00	574,00
Sb (µg/L)	115,00	122,00
Se (µg/L)	116,00	137,00
Si (mg/L)	32,40	28,80
Sn (µg/L)	85,00	99,20
Sr (µg/L)	588,00	790,00
Zn (mg/L)	172,00	98,10
HCO3 (mg/L)	N.D.	
SO4 (mg/L)	7.988,00	4.310,00
Nota: Número de muestras 11		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S66		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	N.D.	
pH	2,38	
Eh (mV)	N.D.	
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4.950,00	
Al (mg/L)	210,00	
As ($\mu\text{g}/\text{L}$)	10,50	
Be ($\mu\text{g}/\text{L}$)	7,46	
Ca (mg/L)	144,00	
Cd ($\mu\text{g}/\text{L}$)	43,70	
Co ($\mu\text{g}/\text{L}$)	691,00	
Cr ($\mu\text{g}/\text{L}$)	47,30	
Cu (mg/L)	2,88	
Fe (mg/L)	205,00	
K (mg/L)	0,56	
Li ($\mu\text{g}/\text{L}$)	265,00	
Mg (mg/L)	253,00	
Mn (mg/L)	22,00	
Mo ($\mu\text{g}/\text{L}$)	26,70	
Na (mg/L)	22,10	
Ni ($\mu\text{g}/\text{L}$)	412,00	
Pb ($\mu\text{g}/\text{L}$)	41,70	
Sb ($\mu\text{g}/\text{L}$)	< L.D.	
Se ($\mu\text{g}/\text{L}$)	20,60	
Si (mg/L)	13,20	
Sn ($\mu\text{g}/\text{L}$)	244,00	
Sr ($\mu\text{g}/\text{L}$)	5.755,00	
Zn (mg/L)	14,80	
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	3.417,00	
Nota: Número de muestras 1		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S67		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	N.D.	
pH	2,69	0,24
Eh (mV)	753,00	
CE (µS/cm)	3.837,00	2.650,00
Al (mg/L)	115,00	74,0
As (µg/L)	14,40	7,45
Be (µg/L)	14,70	10,20
Ca (mg/L)	96,40	62,80
Cd (µg/L)	139,00	96,00
Co (µg/L)	667,00	475,00
Cr (µg/L)	17,50	11,30
Cu (mg/L)	9,56	7,37
Fe (mg/L)	116,00	42,60
K (mg/L)	0,74	0,31
Li (µg/L)	302,00	235,00
Mg (mg/L)	309,00	223,00
Mn (mg/L)	29,20	20,20
Mo (µg/L)	13,40	8,89
Na (mg/L)	17,30	3,52
Ni (µg/L)	338,00	235,00
Pb (µg/L)	29,70	17,40
Sb (µg/L)	< L.D.	
Se (µg/L)	< L.D.	
Si (mg/L)	16,40	19,30
Sn (µg/L)	221,00	159,00
Sr (µg/L)	2.210,00	506,00
Zn (mg/L)	62,40	47,10
HCO3 (mg/L)	N.D.	
SO4 (mg/L)	2.840,00	2.079,00
Nota: Número de muestras 2		

MEMORIA

Calidad del Agua		
Valores medios y desviaciones estandar Punto S76		
Parámetro	Media	Desviación Estándar
Q (L/s)	2,68	0,17
pH	661,00	23,00
Eh (mV)	10.128,00	4.185,00
CE (µS/cm)	243,00	585,00
Al (mg/L)	496,00	278,00
As (µg/L)	1.489,00	1.238,00
Be (µg/L)	27,50	17,60
Ca (mg/L)	227,00	112,00
Cd (µg/L)	605,00	358,00
Co (µg/L)	6.471,00	3.695,00
Cr (µg/L)	138,00	69,90
Cu (mg/L)	43,30	23,20
Fe (mg/L)	1.154,00	546,00
K (mg/L)	1,84	1,18
Li (µg/L)	896,00	512,00
Mg (mg/L)	1.210,00	824,00
Mn (mg/L)	103,00	60,20
Mo (µg/L)	95,50	82,40
Na (mg/L)	38,30	18,10
Ni (µg/L)	4.377,00	2.612,00
Pb (µg/L)	411,00	305,00
Sb (µg/L)	172,00	198,00
Se (µg/L)	194,00	230,00
Si (mg/L)	22,50	13,90
Sn (µg/L)	300,00	351,00
Sr (µg/L)	304,00	230,00
Zn (mg/L)	204,00	109,00
HCO ₃ (mg/L)	N.D.	
SO ₄ (mg/L)	11.706,00	6.663,00

Nota: Número de muestras 16