



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico  
y Minero de España

**CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL INSTITUTO DE FOMENTO  
DE ANDALUCIA Y EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA  
PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE UN PROCESO Y SU  
POSTERIOR APLICACIÓN A UNAS AGUAS ACIDAS DE LA FAJA  
PIRITICA DE HUELVA PARA SU USO EN EL RIEGO DE CITRICOS U  
OTRO CULTIVO ALTERNATIVO**

**INFORME**

**IGME 2003**



## **1. ANTECEDENTES TECNICOS**

En la Faja Pirítica existen gran cantidad de embalses de aguas ácidas procedentes de actividades mineras, explotaciones a cielo abierto y subterráneas abandonadas con importantes cantidades de aguas ácidas, que no tienen utilidad alguna y que contaminan el medio ambiente.

Por otro lado, el IGME, tiene gran experiencia en el tratamiento de aguas ácidas de origen minero y su adecuación para otros usos o descontaminación para su posterior vertido, habiendo sido, por ejemplo, encargado de diseñar el proceso y tratar las aguas ácidas vertidas en la rotura de la balsa de la Mina de Aznacóllar para su posterior vertido al mar.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo que se propone en este convenio es la caracterización química de 3 tipos de aguas ácidas procedentes de un embalse minero, una mina a cielo abierto y una mina subterránea, procediendo en laboratorio a investigar y desarrollar un proceso de tratamiento de dichas aguas para su posterior uso en el riego de cítricos u otro cultivo alternativo. Finalmente se usará una planta de tratamiento para una de las 3 aguas estudiadas.

## **3. DESCRIPCION DEL PROCESO**

El agua para su uso agrícola tiene unas prescripciones muy estrictas en pH, CE a 20° C, sólidos totales, contenidos en potasio, sodio, calcio, magnesio, amonio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos, cobre, manganeso, hierro, cinc, boro, etc.. y determinados índices tales como RAS, RAS ajustado, relación Ca, relación Na, dureza °F, etc.

Las aguas ácidas de la Faja Pirítica por no cumplir muchos de los parámetros indicados anteriormente no son aptas para el uso agrícola, pero mediante una adición controlada de una base, se puede conseguir que se cumplan todos los requisitos. Para ello, sin embargo, es necesario realizar el tratamiento en una planta adecuada que permita la adición controlada de los reactivos y la separación de los sólidos producidos por la precipitación de los metales y del yeso generado en la neutralización de la acidez.



Las operaciones a desarrollar son las siguientes:

1. Caracterización química de tres tipos de aguas ácidas procedentes de un embalse, una mina a cielo abierto y una mina subterránea.
2. Investigación y desarrollo en laboratorio de un proceso de tratamiento de dichas aguas para su posterior uso en riego de cítricos u otro cultivo alternativo.
3. Selección del IGME de una de las aguas caracterizadas y diseño de una planta de tratamiento del agua seleccionada
4. Tratamiento del agua seleccionada para su posterior uso en el riego de cítricos u otro cultivo alternativo



## 4. RESULTADOS

### 1. Caracterización química de tres tipos de aguas ácidas procedentes de un embalse, una mina a cielo abierto y una mina subterránea.

Las aguas ácidas son de la siguiente procedencia:

- **Agua de embalse** Dique Grande
- **Agua de mina a cielo abierto** Filón Centro y Corta Lagunazo
- **Agua de mina subterránea\*** Filón Norte-Sierra Bullones

\*Al no disponer de agua ácida de Aguas Teñidas, se ha sustituido por agua ácida del Filón Norte-Sierra Bullones

#### a) Agua de embalse

##### Dique Grande

El agua del Dique Grande tiene un pH de 3.30

La composición química es la siguiente:

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	1.25
Zn	10
Fe	20
Pb	0.7
Al	45
As	0.2



Elemento	Concentración (mg/L)
Ca	45
Cd	<0.005
Co	0.50
Cr	<0.025
K	10
Mg	200
Mn	15
Na	35
Ni	0.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1350
Cl <sup>-</sup>	55

## b) Agua de mina a cielo abierto

### Filón Centro

El agua del Filón Centro tiene un pH de 2.75

La composición química es la siguiente:

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	20
Zn	30
Fe	650
Fe <sup>2+</sup>	0.0



Elemento	Concentración (mg/L)
Fe <sup>3+</sup>	650
Pb	0.25
Ag	< 0.1
Al	0.03
As	< 0.1
Ba	< 0.1
Be	< 0.01
Ca	0.05
Cd	0.03
Co	0.25
Cr	0.1
K	0.01
Mg	0.1
Mn	6.50
Mo	< 0.04
Na	< 0.01
Ni	0.2
Sb	< 0.25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3350
Cl <sup>-</sup>	80



## Corta Lagunazo

El agua tiene un pH de 3.65.

La composición química es la siguiente:

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	0.5
Zn	5.5
Fe	0.60
Fe <sup>2+</sup>	0.00
Fe <sup>3+</sup>	0.60
Pb	< 0.1
Ag	< 0.1
Al	< 0.01
As	< 0.1
Ba	< 0.1
Be	< 0.01
Ca	0.03
Cd	< 0.02
Co	< 0.02
Cr	< 0.05
K	< 0.01
Mg	0.01
Mn	1



Elemento	Concentración (mg/L)
Mo	< 0.05
Na	< 0.01
Ni	< 0.1
Sb	< 0.25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	425
Cl <sup>-</sup>	35

### c) Agua de mina subterránea

#### Filón Norte-Sierra Bullones

El agua del Filón Norte tiene un pH de 2.80

La composición química es la siguiente:

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	75
Zn	325
Fe	2850
Fe <sup>2+</sup>	0
Fe <sup>3+</sup>	2850
Pb	1.0
Ag	<0.01
Al	250
As	10
Ba	<0.01
Be	<0.01





Elemento	Concentración (mg/L)
Ca	275
Cd	1.0
Co	5.0
Cr	0.25
K	<1
Mg	500
Mn	75
Mo	<0.05
Na	25
Ni	1.5
Sb	<0.1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17000
Cl <sup>-</sup>	135



## 2. Investigación y desarrollo en laboratorio de un proceso de tratamiento de dichas aguas para su posterior uso en riego de cítricos u otro cultivo alternativo.

### a) Agua de embalse

#### Dique Grande

Se trata con 0.4 g/l  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y se obtiene un agua con la siguiente calidad analítica:

Elemento	Concentración	meq/l
pH	5.27	
Conductividad	0.82 mS/cm	-
Sólidos Totales disueltos	0.5 g/l	-
Potasio ( $\text{K}^+$ )	5.0 mg/l	0.13
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	50 mg/l	2.2
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	35 mg/l	1.80
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	45 mg/l	3.75
Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )	0.1 mg/l	0.01
Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	0 mg/l	0.00
Bicarbonatos ( $\text{CO}_3 \text{H}^-$ )	5.0 mg/l	0.08
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	525 mg/l	10.9
Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )	50 mg/l	1.4
Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	4.0 mg/l	0.06
Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )	0.0 mg/l	0.0
Cobre (Cu)	0.4 mg/l	-
Manganeso (Mn)	4.0 mg/l	-



Elemento	Concentración	meq/l
Hierro (Fe)	0.8 mg/l	-
Zinc (Zn)	0.8 mg/l	-
Boro (B)	<0.1 mg/l	
Relación de calcio (meq)		0.23
Carbonato sódico residual (meq/l)		-5.55
Coeficiente alcalimétrico		37.3
RAS		1.37
RAS corregido Ca°		0.75
RAS ajustado		1.2
Relación de sodio (meq)		0.28
Dureza (° Franceses)		28
Valoración: buena, no alcalinizable		

## b) Agua de mina a cielo abierto

### Filón Centro

Se trata con 2 g/l de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y se obtiene un agua con la siguiente calidad analítica

Elemento	Concentración	meq/l
pH	5.78	
Conductividad	3.70 mS/cm	-
Sólidos Totales disueltos	2.5 g/l	-
Potasio ( $\text{K}^+$ )	5 mg/l	0.12
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	30 mg/l	1.4
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	650 mg/l	33.50
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	200 mg/l	18.67



Elemento	Concentración	meq/l
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	2.0 mg/l	0.09
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0.0 mg/l	0.00
Bicarbonatos (CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> )	0.0 mg/l	0.00
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2500 mg/l	50.0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	50 mg/l	1.41
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	2.0 mg/l	0.03
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0.0 mg/l	0.0
Cobre (Cu)	0.40 mg/l	-
Manganeso (Mn)	30 mg/l	-
Hierro (Fe)	0.5 mg/l	-
Zinc (Zn)	20 mg/l	-
Boro (B)	0.1 mg/l	
Relación de calcio (meq)		0.67
Carbonato sódico residual (meq/l)		-50.17
Coefficiente alcalimétrico		40.80
RAS		0.28
RAS corregido Ca°		0.47
RAS ajustado		---
Relación de sodio (meq)		0.03
Dureza (° Franceses)		175.90



### Corta Lagunazo

Se trata con 0.15 g/l de  $\text{Ca(OH)}_2$  y se obtiene un agua con la siguiente calidad analítica.

Elemento	Concentración	meq/l
pH	5.95	
Conductividad	0.82 mS/cm	-
Sólidos Totales disueltos	0.52 g/l	-
Potasio ( $\text{K}^+$ )	4.5 mg/l	0.12
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	30 mg/l	1.31
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	145 mg/l	7.25
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	30 mg/l	2.50
Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )	0.0 mg/l	0.0
Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	0.0 mg/l	0.00
Bicarbonatos ( $\text{CO}_3 \text{H}^-$ )	6.0 mg/l	0.10
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	490 mg/l	10.0
Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )	37 mg/l	1.04
Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	2.5 mg/l	0.04
Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )	0.0 mg/l	0.0
Cobre (Cu)	< 0.1 mg/l	-
Manganeso (Mn)	3.5 mg/l	-
Hierro (Fe)	< 0.1 mg/l	-
Zinc (Zn)	4.5 mg/l	-



Elemento	Concentración	meq/l
Boro (B)	< 0.1 mg/l	
Relación de calcio (meq)		0.73
Carbonato sódico residual (meq/l)		-9.65
Coeficiente alcalimétrico		52.37
RAS		0.59
RAS corregido Ca°		0.86
RAS ajustado		0.64
Relación de sodio (meq)		0.12
Dureza (° Franceses)		37.51

### c) Agua de mina subterránea

#### Filón Norte-Sierra Bullones

Se trata con 11 g/l de  $\text{Ca(OH)}_2$  y se obtiene un agua con la siguiente calidad analítica:

Elemento	Concentración	meq/l
pH	6.77	-
Conductividad	3.76 mS/cm	-
Sólidos Totales disueltos	2.5 g/l	-
Potasio ( $\text{K}^+$ )	8.0 mg/l	0.2
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	20 mg/l	0.86
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	550 mg/l	25
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	300 mg/l	26
Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )	0.0 mg/l	0
Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	0.0 mg/l	0
Bicarbonatos	80 mg/l	1.30



Elemento	Concentración	meq/l
(CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> )		
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2500 mg/l	51.26
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	55 mg/l	1.49
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1.0 mg/l	0.02
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0 mg/l	0
Cobre (Cu)	< 0.1 mg/l	-
Manganeso (Mn)	12 mg/l	-
Hierro (Fe)	0.20 mg/l	-
Zinc (Zn)	1.4 mg/l	-
Relación de calcio (meq)		0.51
Carbonato sódico residual (meq/l)		-51.70
Coeficiente alcalimétrico		38.49
RAS		0.17
RAS ajustado		0.46
RAS corregido Ca°		0.24
Relación de sodio (meq)		0.02
Dureza (° Franceses)		148.10



Con la siguiente composición química:

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	< 0.05
Zn	6.0
Fe	< 1
Fe <sup>2+</sup>	<1
Fe <sup>3+</sup>	<1
Pb	< 0.1
Ag	< 0.01
Al	< 1
As	< 0.1
Ba	< 0.01
Be	< 0.01
Ca	700
Cd	< 0.02
Co	0.2
Cr	< 0.02
K	< 1
Mg	0.5
Mn	14
Mo	< 0.04
Na	45
Ni	< 0.1
Sb	< 0.1





### 3. Selección del IGME de una de las aguas caracterizadas y diseño de una planta de tratamiento del agua seleccionada

Los trabajos de laboratorio se han realizado en las instalaciones que el IGME posee en Tres Cantos (Madrid).

Una vez realizada la caracterización de las diferentes aguas ácidas y en función de los datos obtenidos y de los resultados alcanzados en los ensayos y pruebas de laboratorio, el IGME ha elegido el agua ácida del **Dique Grande** para llevar a cabo el acondicionamiento de ésta, y proceder a las pruebas de riego de cítricos.

La Finca seleccionada para realizar el riego de cítricos ha sido “Cítricos Tharsis” propiedad de Nueva Tharsis SAL, ubicada en el término municipal de Tharsis-Alosno en la provincia de Huelva.

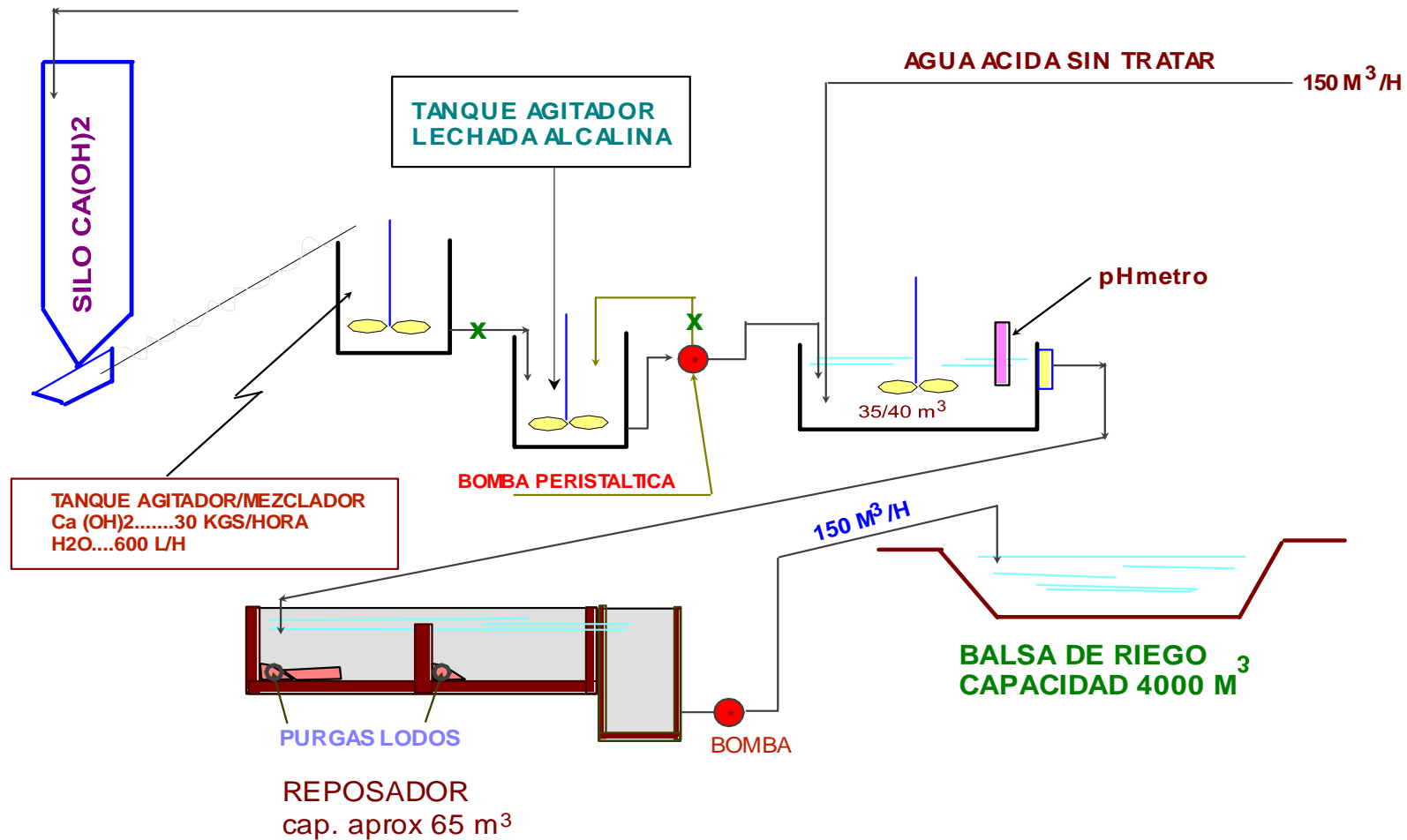
El diseño de la planta de tratamiento se muestra en la siguiente Figura. La planta consta de los siguientes equipos:

- Instalación de bombeo de aguas ácidas
- Silo de hidróxido cálcico.
- Tanques de reactivos líquidos.
- Un reactor agitador.
- Bomba peristáltica de dosificación.
- Control de pH.
- Depósito de decantación de sólidos
- Material auxiliar
- Suministro de energía eléctrica



## ESQUEMA TRATAMIENTO AGUAS ACIDAS

CAPACIDAD 35-40 TONS  
SUMINISTRO C. CISTERNAS 24 TONS





#### **4. Tratamiento del agua seleccionada para su posterior uso en el riego de cítricos**

La planta inició su funcionamiento en el mes de Junio continuando hasta la fecha, tratando aguas de Dique Grande con un resultado muy satisfactorio, lo que ha permitido el riego de 200 hectáreas de cultivos cítricos de Cítricos Tharsis S.A.



***Foto 1: Vista Dique Grande***



***Foto 2: Vista Planta Tratamiento de Aguas***



***Foto 3: Vista Planta Tratamiento de Aguas***



***Foto 4: Vista Planta Tratamiento de Aguas.***





***Foto 5: Vista Planta Tratamiento de Aguas***



***Foto 6: Vista Balsa de Riego***





***Foto 7: Vista Plantaciones Cítricos Tharsis S.A.***



***Foto 8: Vista Plantaciones Cítricos Tharsis S.A.***



## 5. Conclusiones.

De los análisis y pruebas realizadas se deduce que el agua de Corta Lagunazo sería igualmente válida para el riego de cítricos, tras ser sometidas a un tratamiento similar a las del Dique Grande.

De los análisis y pruebas realizadas también se deduce que las aguas del Filón Centro y Filón Norte-Sierra Bullones no serían aptas para el riego de cítricos u otro cultivo alternativo, tras ser sometidas únicamente a un tratamiento similar a las del Dique Grande, debido a su elevada conductividad  $\cong 3,70$  mS/cm, sin embargo ensayos de laboratorio realizados con este agua, mediante intercambio iónico con resinas, demuestran que la conductividad puede bajarse a niveles inferiores a 1 mS/cm, lo que las haría válidas igualmente, para el riego de cítricos u otros cultivos alternativos.



## ANEXO

### Dique grande

Composición química después de su tratamiento

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	< 0.08
Zn	1.2
Fe	< 10
Fe <sup>2+</sup>	-
Fe <sup>3+</sup>	<10
Pb	< 0.1
Ag	< 0.1
Al	< 1
As	< 0.1
Ba	< 0.01
Be	< 0.01
Ca	48
Cd	< 0.02
Co	0.02
Cr	< 0.05
K	22
Mg	39
Mn	2.53
Mo	< 0.04
Na	34



Elemento	Concentración (mg/L)
Ni	< 0.1
Sb	< 0.25

## Filón Centro

Composición química después de su tratamiento

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	0.5
Zn	10
Fe	< 10
Fe <sup>2+</sup>	-
Fe <sup>3+</sup>	<10
Pb	< 0.1
Ag	< 0.1
Al	< 1
As	< 0.1
Ba	< 0.1
Be	< 0.01
Ca	857
Cd	0.03
Co	0.2
Cr	<0.05
K	14
Mg	316



Elemento	Concentración (mg/L)
Mn	18
Mo	< 0.04
Na	28
Ni	0.23
Sb	< 0.25

### Corta Lagunazo

Composición química después de su tratamiento

Elemento	Concentración (mg/L)
Cu	< 0.08
Zn	4
Fe	< 10
Fe <sup>2+</sup>	-
Fe <sup>3+</sup>	<10
Pb	< 0.1
Ag	< 0.1
Al	< 1
As	< 0.1
Ba	< 0.1
Be	< 0.01
Ca	120
Cd	< 0.02
Co	<0.02



<b>Elemento</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>
Cr	< 0.05
K	<10
Mg	32
Mn	2.96
Mo	< 0.04
Na	51
Ni	< 0.1
Sb	< 0.25