I TALLER INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE PASIVOS AMBIENTALES
(septiembre de 2020)

SAN CRISTÓBAL (MAZARRÓN, MURCIA). UN CASO DE INVENTARIO, CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN DE RIESGOS, PRIORIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE UNA PRESA MINERA EN ESPAÑA

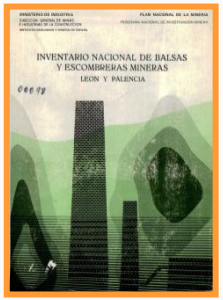
Dr. Ing. Julio César Arranz González – Área de Geoquímica y Sostenibilidad Minera – Instituto Geológico y Minero de España

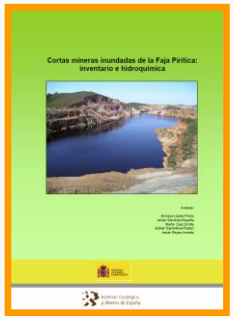
INTRODUCCIÓN: EL IGME

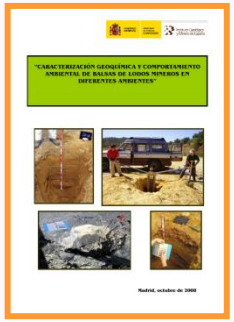
Actualmente, el IGME es un Organismo Público de Investigación (OPI) con carácter de Organismo Autónomo, adscrito al Ministerio de Ciencia e Innovación. Su misión fundamental es doble: como Organismo Público de Investigación, y como Servicio Geológico Nacional, responsable de la producción de infraestructura de conocimiento básica y prestando apoyo y asesoramiento científico-técnico a las administraciones públicas.

PROGRAMAS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

- CARTOGRAFÍA GEOCIENTÍFICA
- RIESGOS GEOLÓGICOS, PROCESOS ACTIVOS Y CAMBIO GLOBAL
- HIDROGEOLOGÍA Y CALIDAD AMBIENTAL
- GEOLOGÍA DEL SUBSUELO Y ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO_2
- RECURSOS MINERALES E IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA
- GEODIVERSIDAD, PATRIMONIO GEOLÓGICO-MINERO Y CULTURA CIENTÍFICA
- SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA

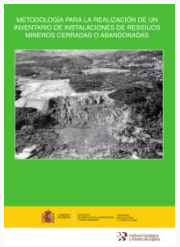


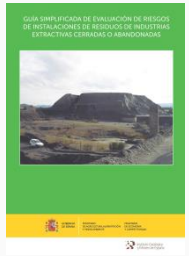




SUBLÍNEA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A INSTALACIONES DE RESIDUOS MINEROS

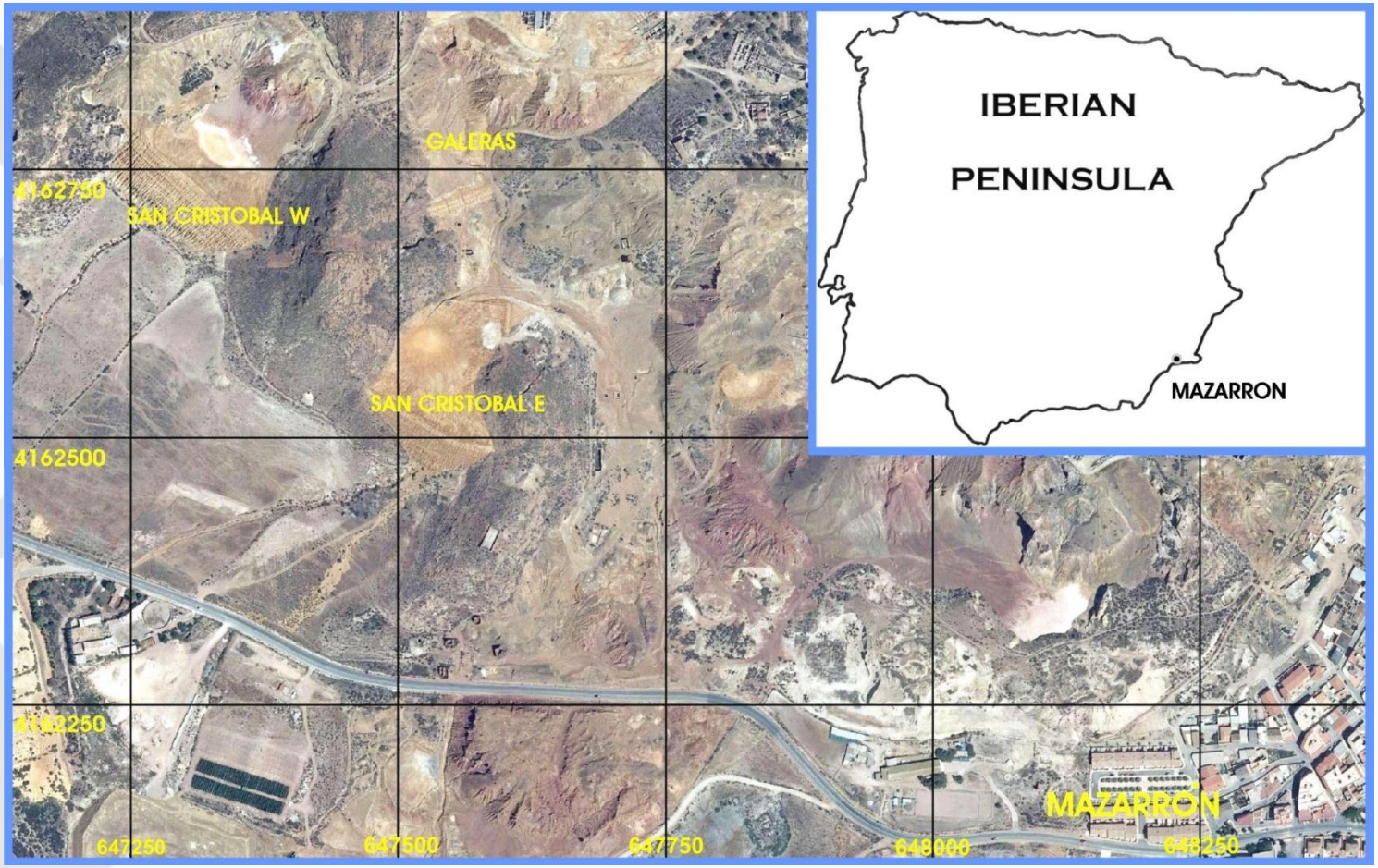
INVENTARIO de instalaciones de residuos mineros cerradas o abandonadas que tengan un impacto medioambiental grave o que puedan convertirse a medio o corto plazo en una amenaza grave para la salud de las personas o para el medio ambiente (según al Artículo 20 de la Directiva 2006/21/CE):





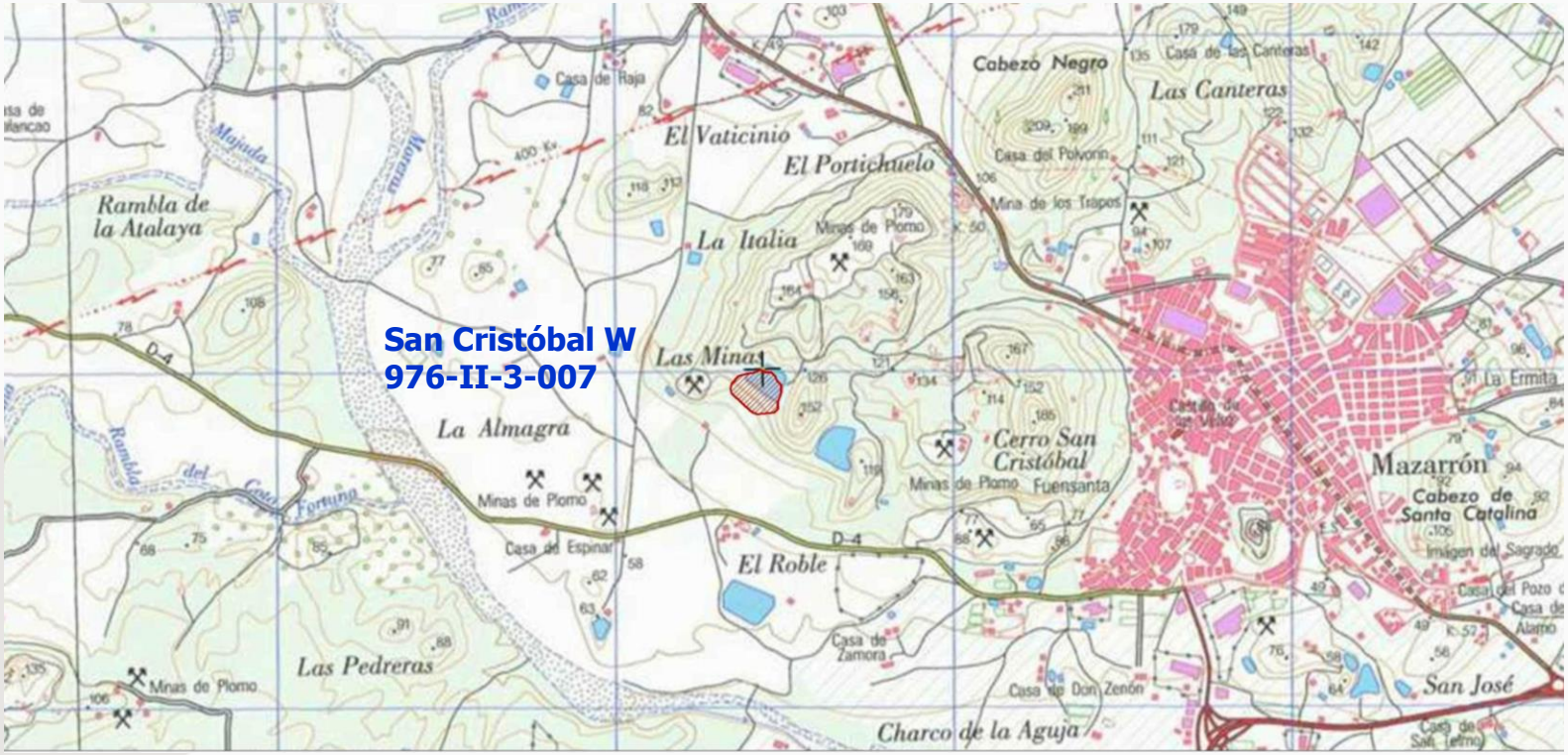
- **Desarrollo de una <u>metodología para la evaluación preliminar del riesgo</u> de las instalaciones.**
- **<u>Metodología para la realización del inventario</u> de las instalaciones.**
- **<u>Elaboración de un inventario y evaluación preliminar del riesgo</u> de instalaciones, según el Artículo 20 de la Directiva (100 estructuras evaluadas e incluidas en el inventario, 3 bases de datos relacionales elaboradas ad-hoc)**
- **<u>Investigación metodológica para identificar medidas prácticas de probada eficacia para la rehabilitación</u> de las instalaciones.**

En marzo de 2011 se realizaron los trabajos de campo para la caracterización e inclusión de la presa de San Cristóbal W. Se le asignó el código de inventario 976-II-3-007.



El distrito minero de Mazarrón fue intensamente explotado hasta 1962, especialmente en los yacimientos del Cabezo de San Cristóbal, para obtener plomo, zinc y plata.

El proceso de producción de concentrado de mineral a partir de técnicas de flotación diferencial, originó el depósito de lodos objeto de esta presentación.



TRABAJOS DE CAMPO

TRABAJOS DE CAMPO

FICHA DE INVENTARIO

INVENTARIO DE INSTALACIONES MINERAS ABANDONADAS O CERRADAS - 2011

976 II 3 007

☒ PRESA ☐ ESCOMBRERA ☐ PILA / VERTEDERO DE LIXIVIADOS ☐ BALSA

PAÍS	España
COMUNIDAD / REGIÓN	Murcia, Región de
PROVINCIA	Murcia
MUNICIPIO	Mazarrón
DISTRITO MINERO	Mazarrón
SECTOR DE PRODUCCIÓN	Minería Metálica
CLASIFICACIÓN (RTSPE)	Gran presa
SUPERFICIE (m²)	18180
VOLUMEN (m³)	180000
ALTURA MÁXIMA (m)	32

RESUMEN

Presa de lodos de flotación de un solo dique construido por el método aguas arriba. La laguna de decantación se encuentra con agua a una distancia de 16 metros del dique. El vaso de la presa se encuentra saturado y con un nivel freático en el dique.

Dique en estado de estabilidad crítico. Con basculamiento y asentamiento de estratos; grandes cárcavas. Los drenajes de fondo no funcionan.

Hay una alta sedimentación sobre la laguna de decantación, debido a la erosion de las escombreras de gravimetría situadas en la cola de la presa, que empujan la laguna hacia el dique.

Se encuentra en un alto grado de abandono

Contenido total de metales de los lodos en (mg/kg): As (265); Pb (1697); Zn (3889); Cr (203); Sb (91,72), Cu (57); Sn (36,56).

Concentración del sobrenadante de la laguna en (mg/L) : pH (2,4); Conductividad (20400 µ S/cm) Al (1313); Cr (1.15); As (14.9); Cd (14.84); Co (2.41); Ni (6.59); Pb (0.13); Cu (36.71); Zn (5254); V (0.96). Clasificación de aguas de minas (Plumlee et al. 1992): Highly acid, Extremely metal (Altamente ácida, concentración en metales extremadamente alta).

1 de 16

INFORMACIÓN GENERAL

	37º 36' 01,93"
	01º 19' 52,01"
X UTM (2)	647320,24
Y UTM (2)	4162804,37
	30
	Mazarrón
	Gran presa

INFORME 976 II 3 007

ESTABILIDAD FÍSICA

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

OBSERVACIONES

T (°)	RL (m)	DL (m)	OBSERVACIONES
26		16	Este tipo de diques no tienen, propiamente, coronación. Puntualmente hay secciones del dique con taludes verticales de 40º debidos a erosión en cárcavas

OBSERVACIONES

Asentamientos en zona SE y basculamiento de los estratos

OBSERVACIONES

No se observan fallos en la estructura

INFORME 976 II 3 007

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA ESTRUCTURA

LARGO (m)	145
ANCHO (m)	158
SUPERFICIE (m²)	18180
VOLUMEN (m³)	180000
ALTURA MÁXIMA (m)	32
TALUD GENERAL (°)	26

FICHA DE INVENTARIO

INFORME 976 II 3 007 — ESTABILIDAD FÍSICA

FACTORES CONDIDIONANTES DE LA ESTABILIDAD

Diques

CÓDIGO FR	SOBREPASO	BASCULAMIENTO	COSTRAS OXID.	EFLORESCENCIAS	OBSERVACIONES
976 II 3 007/PR	NO	SI	SI	SI	

CÓDIGO FR: Código de fase de recrecimiento

Vasos

CÓDIGO FR	SOBREPASO	BASCULAMIENTO	COSTRAS OXID.	EFLORESCENCIAS	OBSERVACIONES
976 II 3 007/PR	NO	SI	SI	NO	

CÓDIGO FR: Código de fase de recrecimiento

FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL DIQUE PRINCIPAL

Surgencias

SURGENCIAS	NO
ALTURA DE SURGENCIAS (m)	
CAUDAL DE SURGENCIAS (m^3/s)	
SOCAVACIÓN DE PIE POR SURG.	NO

Abombamiento

ABOMBAMIENTO	NO
ALTURA DE ABOMBAMIENTO (m)	

Rezume

REZUME	NO
ALTURA DE REZUME (m)	
NIVEL FREÁTICO EN DIQUE (m)	
VEGETACIÓN HIDRÓFILA EN DIQUE	NO

Alturas y nivel freático medidos desde la base del dique

OBSERVACIONES: No se observan surgencias ni tubificación en el dique

FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS LAGUNAS DE DECANTACIÓN

CÓDIGO FR	LAGUNA	ESTADO	SOBRENADANTE	GEOMETRÍA L	A	P	ÁREA	VA	V HID	OBSERVACIONES
976 II 3 007/PR	SI	Intacta	SI	61	41	0,4	3647		NO	No hay presencia de vegetación hidrófita debido al pH

CÓDIGO FR: Código de la fase de recrecimiento; L: Longitud de la laguna en metros; A: Ancho de la laguna en metros; P: Profundidad de la laguna en metros; ÁREA: Área de la laguna en metros cuadrados; VA: Volúmen de agua estimado en metros cúbicos; V HID: Presencia de vegetación hidrófila

6 de 16

ESTABILIDAD FÍSICA

ESTABILIDAD QUÍMICA

OBSERVACIONES

...ONES

...; Sc: Presencia de sulfatos en la corona de ...e hidroxisulfatos o hidroxisulfatos en talud; Hc ...

...ID | OBSERVACIONES

Los estériles de granulometría ubicados encima de la presa están sedimentando en el vaso, empujando la laguna hacia el dique

...BSERVACIONES

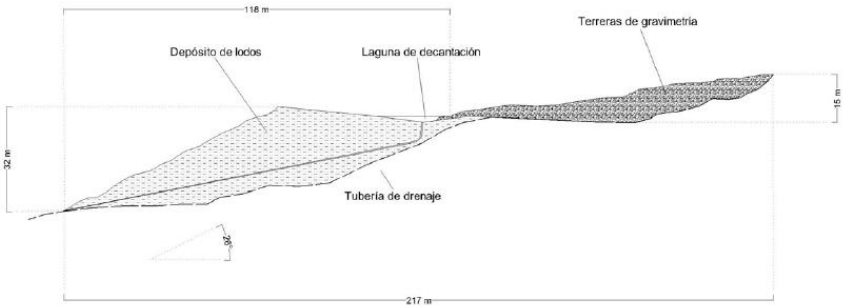
...99):
...ltamente ácido, extremada concentración de

FACTORES DE EXPOSICIÓN

OBSERVACIONES

INFORME 976 II 3 007 — ESQUEMA DE PERFIL

ESQUEMA LONGITUDINAL (perpendicular al dique principal)



DATOS ANALÍTICOS

Material	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Sb	Zn	IC
SCW	450	3.1	45.4	4.4	2,762	139.0	4,524	**94.6**
SCE	565	14.1	45.9	7.1	2,602	170.0	5,652	**101.5**
GAL	381	5.9	43.7	5.5	4,487	163.0	3,254	**124.5**
Soil background levels[a]	8.1	0.12	18.7	0.05	9.8	1.1	55.2	
Topsoil of local volcanic outcrops[b]	83 20 15	0.3 0.1 0.5	103 21 42		181 97 201	1.9 0.9 3.3	110 58 143	
Soils on local rhyodacites[c]		0.14	33.9		31.9		32.4	
PEC[d]	33	5	150	1.1	130	25	460	

[a] Martínez-Sánchez & Pérez-Sirvent (2007)
[b] Oyarzun et al. (2009)
[c] Faz-Cano et al. (2009)
[d] Mac Donald et al. (2000)

ELEMENTOS (µg/g)	San Cristóbal W (Mazarrón)	NGR propuestos para la zona de Mazarrón
As	450,0	57
Cd	3,09	0,5
Hg	4,45	1
Pb	1967,4	22

$$IC = 1/n \times \Sigma^{n} \frac{[X]}{NF_X}$$

Donde:
-[X] es la concentración medida en el residuo del elemento X
-NF_X es el nivel de fondo de suelos correspondiente al elemento X en la zona

Environ Earth Sci (2016)75:656
DOI 10.1007/s12665-016-5495-7

CrossMark

ORIGINAL ARTICLE

A methodology for ranking potential pollution caused by abandoned mining wastes: application to sulfide mine tailings in Mazarrón (Southeast Spain)

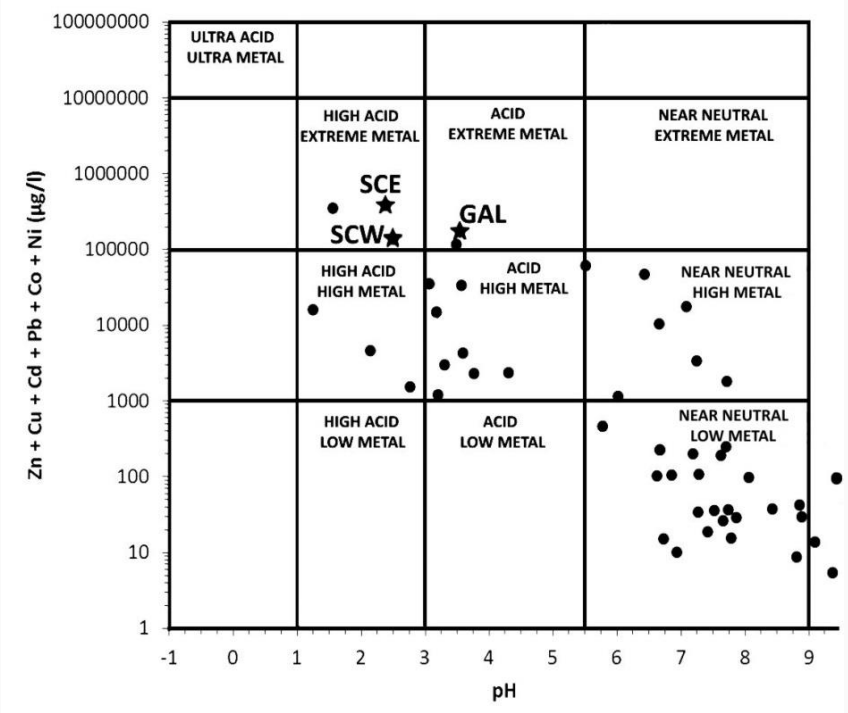
J. C. Arranz-González[1] · V. Rodríguez-Gómez[1] · E. Alberruche del Campo[1] · L. Vadillo-Fernández[1] · F. J. Fernández-Naranjo[1] · J. Reyes-Andrés[1] · R. Rodríguez–Pacheco[1]

	SCW	SCE	GAL
S_{total}	4.29	6.57	4.78
$S_{sulphate}$	2.59	4.25	2.68
$S_{sulphide}$	1.70	2.32	2.10
pH	2.41	2.30	2.52

DATOS ANALÍTICOS

Norma EN 12457-2: Characterización of waste-Leaching-Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges-Part 2: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10l/kg for materials with high solid content and with particle size below 4 mm (without or with size reduction).

		SCW		SCE		GAL	
	Water Standard	Leachate conc.	wt% released	Leachate conc.	wt% released	Leachate conc.	wt% released
Al	50[a]	153,000	6.94	218,000	7.91	141,000	8.34
As	10 [a,b]	18.4	0.04	284.2	0.5	93.0	0.24
Cd	0.25[c]	346.1	≈100	974.5	68.79	584.1	98.65
Co	20[d]	144.0	30.64	282.3	64.68	124.1	35.83
Cu	10[c]	1,127.8	24.82	2,030.7	44.25	1,401.0	32.06
Hg	1[b]	<0.5	<0.11	<0.5	<0.07	8.3	1.50
Ni	20[b]	316.8	24.88	874.1	52.02	251.9	37.89
Pb	10[b]	<0.2	≈0	<0.8	≈0	24.8	≈0
Se	1[b]	13.1	12.62	27.0	12.98	11.1	11.00
Zn	120[c]	135,981	30.06	367,395	65.00	169,000	51.94
pH	6.5-8.5[a]	2.50		2.39		3.54	
EC		3,160		3,920		2,870	
SO_4^{2-}	250[b]	3,122		5,104		3,214	
CPP		**818.4**		**1662.7**		**750.5**	



$$CPP_{LAB}=1/n \times \sum^{n} \frac{[X]_{LIX\text{-}LAB}}{NCA_X}$$

Se evaluó la probabilidad y severidad para los siguientes escenarios

	EFECTOS SOBRE EL MEDIO NATURAL	EFECTOS SOBRE LAS PERSONAS Y LA POBLACIÓN	EFECTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO
Escenarios de riesgo por contaminación			
Generación de efluentes contaminantes con afección sobre las aguas superficiales (C1).	C1NA	C1PO	C1SE
Generación de efluentes contaminantes con afección sobre los recursos hídricos subterráneos (C2).	C2NA	C2PO	C2SE
Movilización de material particulado por acción del viento (C3)	C3NA	C3PO	C3SE
Emisión de sedimentos contaminantes por erosión hídrica (C4).	C4NA	C4PO	C4SE
Contacto directo originado por el acceso ocasional o por el desarrollo de actividades (CD)	---	CD	---
Escenarios de riesgo por fallo en la estructura			
Fallo o rotura del talud de escombreras de desmonte, estériles o minerales de baja ley (FESC)	FESCNA	FESCPO	FESCSE
Fallo o rotura del talud de pilas de residuos de lixiviación (FLIX)	FLIXNA	FLIXPO	FLIXSE
Fallo o rotura del dique de contención o el talud exterior de presas de lodos (FPRE)	FPRENA	FPREPO	FPRESE
PARA CADA UNO DE LOS ESCENARIOS DE RIESGO SE HACE UNA VALORACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA Y DE LA SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS			

EVALUACIÓN DE RIESGOS

Índice de probabilidad de ocurrencia de escenarios de riesgo por contaminación (valores entre 0 y 5)	
Generación de efluentes contaminantes con afección sobre las aguas superficiales (C1)	I_P(C1)= 4,5
Generación de efluentes contaminantes con afección sobre los recursos hídricos subterráneos (C2)	I_P(C2)= 0
Movilización de material particulado por acción del viento (C3)	I_P(C3)= 4,3
Emisión de sedimentos contaminantes por erosión hídrica (C4)	I_P(C4)= 1,6
Contacto directo originado por el acceso ocasional o por el desarrollo de actividades (CD)	I_P(CD)= 5

Índice de probabilidad de ocurrencia de escenarios de riesgo por fallo en la estructura(valores entre 0 y 5)	
Fallo o rotura del dique de contención o el talud exterior de presas de lodos (FPRE)	I_P(FPRE)= 4,4

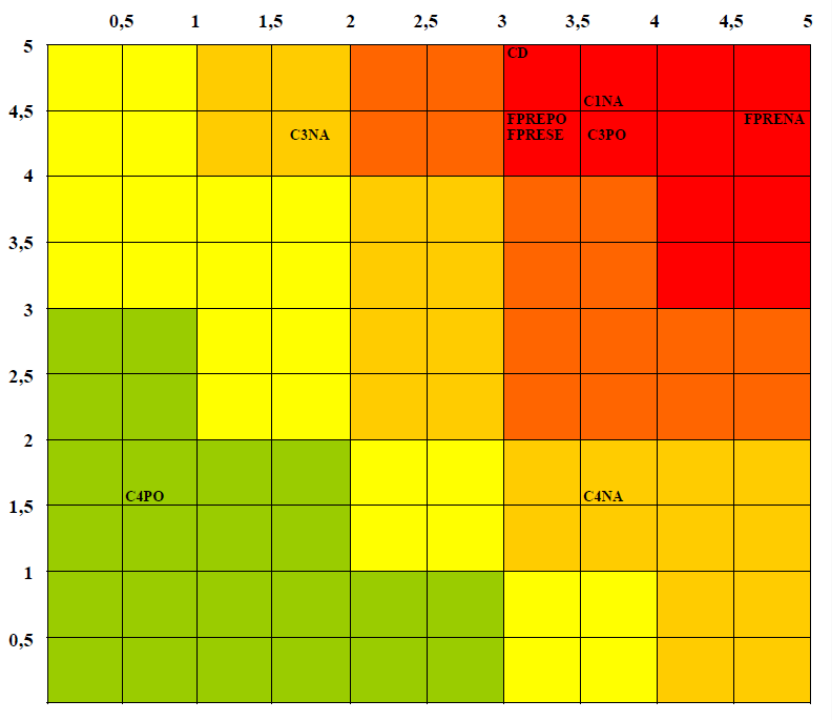
	EFECTOS SOBRE EL MEDIO NATURAL	EFECTOS SOBRE LAS PERSONAS Y LA POBLACIÓN	EFECTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO
Índice de severidad de las consecuencias de escenarios de riesgo por contaminación (valores entre 0 y 5; NP: no procede)			
Generación de efluentes contaminantes con afección sobre las aguas superficiales (C1)	Is(C1NA)= 3,5	Is(C1PO)= 0	Is(C1SE)= 0
Generación de efluentes contaminantes con afección sobre los recursos hídricos subterráneos (C2)	Is(C2NA)= NP	Is(C2PO)= NP	Is(C2SE)= NP
Movilización de material particulado por acción del viento (C3)	Is(C3NA)= 1,7	Is(C3PO)= 3,6	Is(C3SE)= NP
Emisión de sedimentos contaminantes por erosión hídrica (C4)	Is(C4NA)= 3,5	Is(C4PO)= 0,5	Is(C4SE)= NP
Contacto directo originado por el acceso ocasional o por el desarrollo de actividades (CD)	---	Is(CD)= 3	---
Índice de severidad de las consecuencias de escenarios de riesgo por fallo en la estructura (valores entre 0 y 5; NP: no procede)			
Fallo o rotura del dique de contención o el talud exterior de presas de lodos (FPRE)	Is(FPRENA)= 5	Is(FPREPO)= 3	Is(FPRESE)= 3

La presa San Cristóbal W entró en el inventario a finales de 2012, junto a 0tras 48 instalaciones.

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS: MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
MUY ALTA	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
ALTA	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
MEDIA	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	ALTO
BAJA	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO
MUY BAJA	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	MODERADO

GRAVE

NO GRAVE

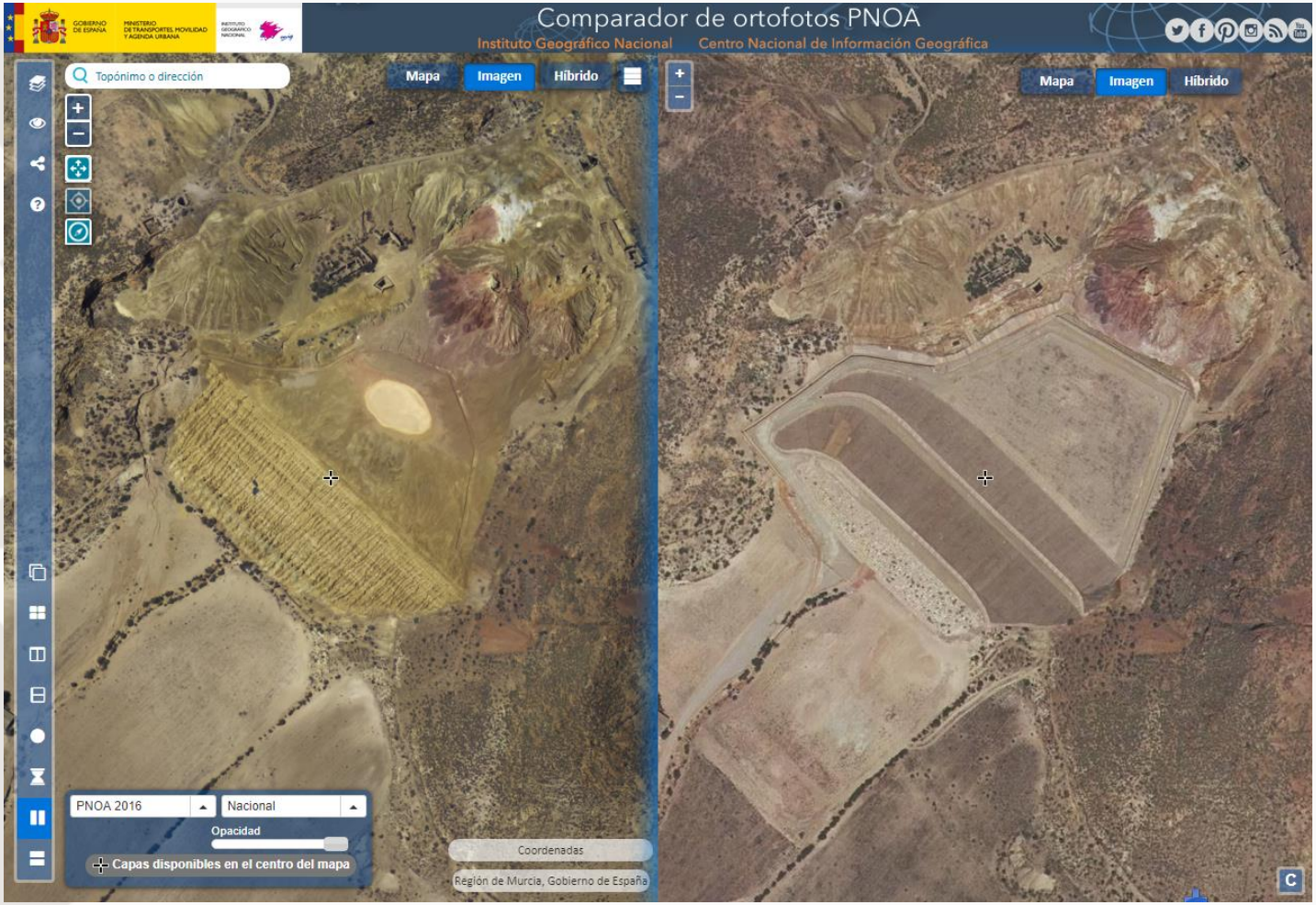


PRIORIZACIÓN

El establecimiento de prioridades de actuación se demoró hasta marzo-abril de 2019, incluyendo 73 instalaciones. Sin embargo, se sabía ya que esta instalación había sido sometida a prácticas de remediación/rehabilitación.

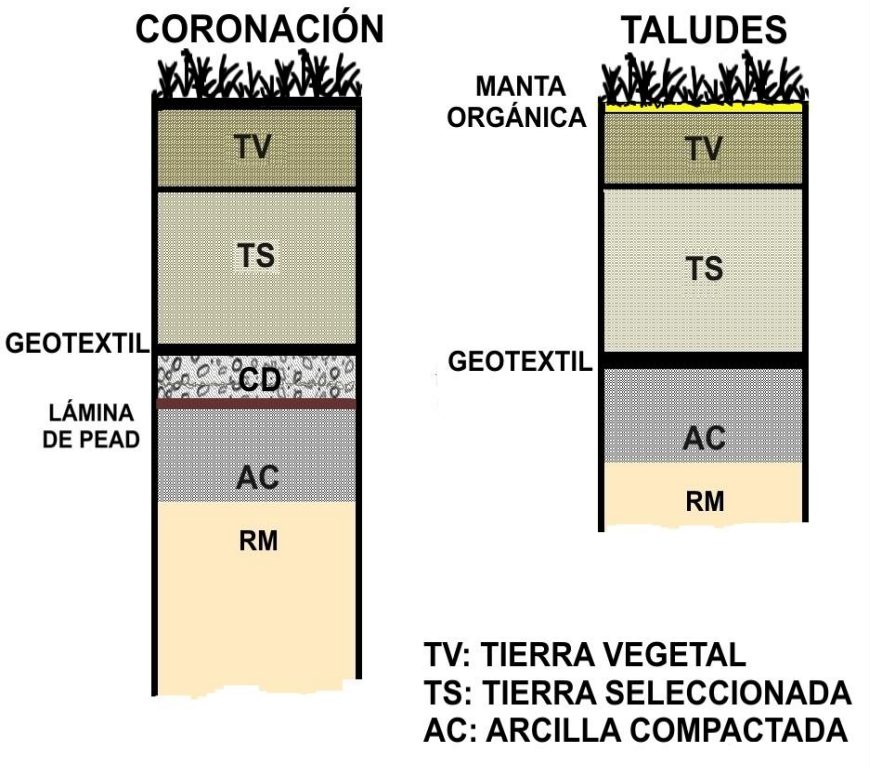
Código	Nombre	Valor ordenación	Rojos	N_Oscuro	N_Claro	Amarillo	Verde	Suma
976 II 3 007	San Cristóbal W	60201	FRENA C1NA C3PO CD FPREPO FPRESE	-	C3NA C4NA	-	C4PO	108,34
978 I 3 026	Lirio	42133	FPREPO FPRENA C3NA FPRESE	C3PO C4NA	C2PO	C1NA CD C2NA	C4PO C1PO C1SE	119,17
53 III 3 001	Soterraña	41412	C1NA FESCNA FESCPO FESCSE	C4NA	C1PO CD C2PO C3NA	C4PO	C2NA C3PO	103,32
977 II 4 029	Dos colores	42011	C3NA FPRENA FPREPO FPRESE	C3PO C4NA	-	CD	C4PO	94,88
976 II 3 006	San Cristóbal E	42021	FPRENA C3PO C2NA CD	FPREPO FPRESE	-	C3NA C4NA	C4PO	93,58
938 IV 4 002	Nerva (meandro)	40211	FPREPO FPRENA FPRESE C3NA	-	C1NA C4NA	C3PO	CD	78,75

Como consecuencia de los últimos episodios de lluvias intensas acaecidas a finales de enero y principios de febrero de 2018, el estado de deterioro del depósito de lodos incrementó de forma alarmante. En marzo de 2018, la Comunidad de Murcia, determino la realización de actuaciones con carácter de emergencia.

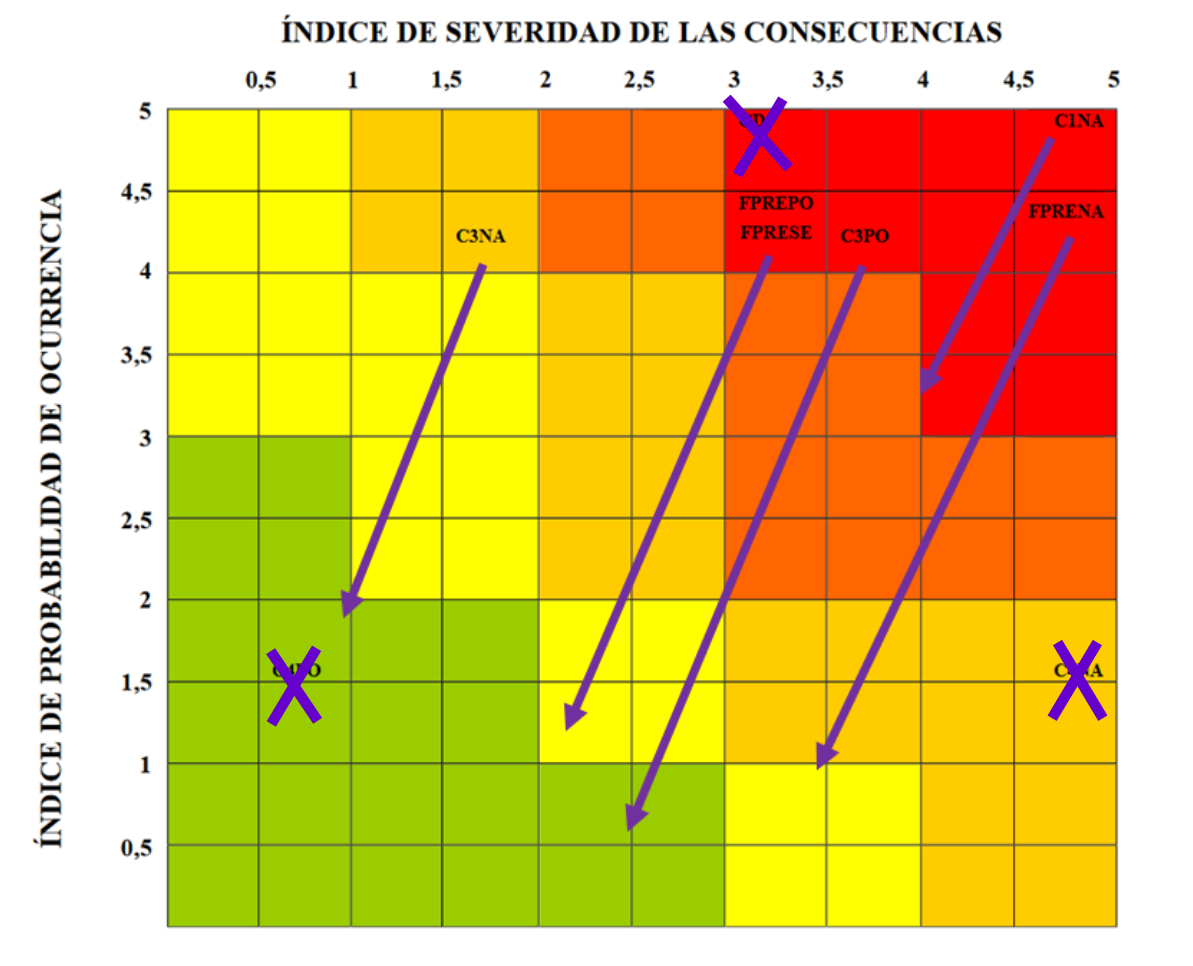


REHABILITACIÓN

Total Presupuesto de Ejecución Material 1.241.583,89 €



No es posible saber con exactitud como quedaría la nueva matriz de evaluación de riesgos de la presa, aunque se puede intuir cómo se moverían los códigos. Es necesario evaluar de nuevo.



CONCLUSIONES

En el caso mostrado, el IGME ha actuado realizando el inventario, la evaluación de riesgos y la priorización. Próximamente, se prevé la reevaluación de la presa San Cristóbal W.

De modo general, con el trabajo de los últimos años para la Administración General del Estado, el IGME se ha constituido en el organismo de referencia para las tareas de inventario, evaluación de riesgos, priorización de actuaciones y propuestas de rehabilitación de instalaciones abandonadas de residuos mineros.

Aunque pudiera ser necesaria una adaptación, los equipos del IGME podrían realizar las mismas funciones en el caso de que se tratase de otros tipos de Pasivos Ambientales Mineros.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Dr. Ing. Julio César Arranz González – Área de Geoquímica y Sostenibilidad Minera – Instituto Geológico y Minero de España