


Estudio de vulnerabilidad de balsas de digestato

**PLANTA DE DIGESTIÓN
ANAEROBIA DE RNP Y
GENERACIÓN DE BIOGÁS
EN BENACAZÓN (SEVILLA)**



Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 1/20	

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETO 1

3. DESCRIPCION DE LAS BALSAS 2

4. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL PROYECTO ANTE RIESGOS DE ACCIDENTES GRAVES O CATÁSTROFES 5

 4.1. RIESGOS..... 5

 4.1.1. Riesgos naturales..... 5

 4.1.2. Riesgos tecnológicos 14


 4.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD 15

 ➤ Vulnerabilidad en fase de construcción..... 15

 ➤ Vulnerabilidad en fase de explotación 16

5. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y PROTOCOLO DE ACTUACIÓN..... 17

6. AUTOR DEL ESTUDIO 18

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 2/20	

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene por objeto **realizar el estudio de vulnerabilidad ambiental y de riesgos potenciales asociados a las balsas** existentes en la futura planta de producción de biogás de Benacazón (Sevilla), promovida por AGR BIOGAS, SA, (expediente AAI/SE/314/2024/N) acorde a la Ley 21/2013, de Evaluación Ambiental, que requiere análisis específico de la vulnerabilidad de los proyectos frente a accidentes graves o catástrofes y de los efectos ambientales que se derivarían de esa vulnerabilidad, respondiendo así al requerimiento de subsanación recibido con referencia Ref.: SPA/DPA/ASF.

Este análisis se elabora empleando un enfoque estructurado que permite valorar, de forma cuantitativa, los niveles de vulnerabilidad frente a los distintos riesgos de origen natural, tecnológico y antrópico que podrían comprometer la integridad de las balsas y generar efectos adversos sobre el medio ambiente, las personas y los bienes materiales.

Para ello, se identifican y clasifican los riesgos potenciales, se valora la probabilidad de ocurrencia y el nivel de afección sobre tres componentes básicos (seguridad de las personas, medio ambiente y medio socioeconómico), y se calcula el índice de vulnerabilidad (VU) asociado a cada escenario de riesgo. El resultado permite categorizar la vulnerabilidad como nula, baja, media, alta o muy alta, conforme a la escala definida en el estudio de referencia.

La información recogida en el presente documento constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en materia de diseño, explotación segura y gestión ambiental de la instalación, y forma parte de la documentación ambiental exigida para el cumplimiento de la Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental.

2. OBJETO

El objeto del presente estudio es analizar la vulnerabilidad de las instalaciones de almacenamiento de líquidos —en concreto, las balsas de digestato líquido— proyectadas en la planta de producción de biogás de Benacazón, frente a posibles eventos de origen natural, tecnológico o antrópico que puedan generar riesgos para las personas, el medio ambiente o el entorno socioeconómico.

Se persigue, específicamente:

- **Identificar y clasificar** los riesgos potenciales asociados a la fase de construcción y a la fase de explotación de las balsas.
- **Evaluar cuantitativamente** la vulnerabilidad de cada escenario de riesgo mediante la aplicación de la fórmula de análisis definida en el Estudio de Vulnerabilidad y Riesgos de referencia, basada en la combinación de la probabilidad de ocurrencia y los efectos sobre la seguridad de las personas, el medio ambiente y el medio socioeconómico.
- **Determinar la categoría de vulnerabilidad** asociada a cada evento (nula, baja, media, alta o muy alta), según los rangos establecidos.
- **Proponer un conjunto de medidas** preventivas, correctoras y de contingencia que minimicen los riesgos identificados, garanticen la integridad de las balsas y aseguren la protección efectiva de los recursos hídricos próximos.
- **Establecer un protocolo de seguimiento y control** que permita verificar de forma continua el cumplimiento de los objetivos ambientales del proyecto.

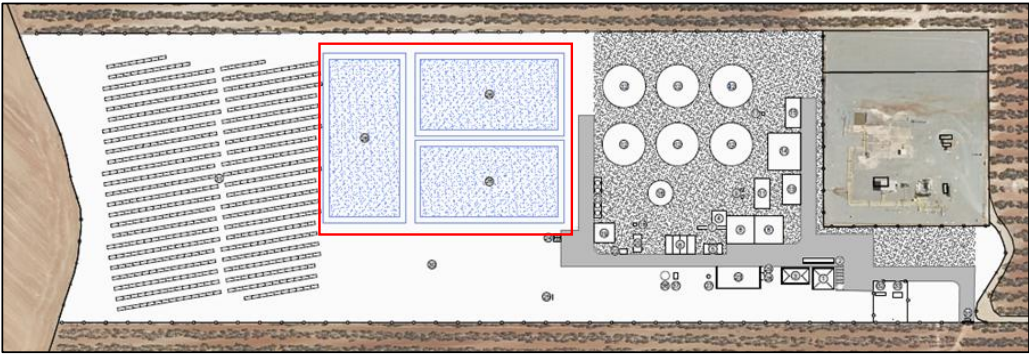
Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección <https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/> indicando el código de VERIFICACIÓN

FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 3/20



3. DESCRIPCION DE LAS BALSAS

La planta de biometano contará con tres balsas cubiertas para el almacenamiento temporal de la fracción líquida del digestato. Las balsas tendrán forma de pirámide truncada invertida con una altura media de 5 m y estarán cubiertas. La capacidad de cada balsa será de 24.040 m³. El volumen de la balsa de almacenamiento temporal de la fracción líquida del digestato, permite un tiempo de residencia de nueve meses de producción de la fracción líquida de digestato.



Como puede observarse en los siguientes perfiles de elevación, el terreno sobre el que se asentará la balsa tiene una pendiente media del 6,2% en dirección norte-sur y del 10% en dirección este-oeste.

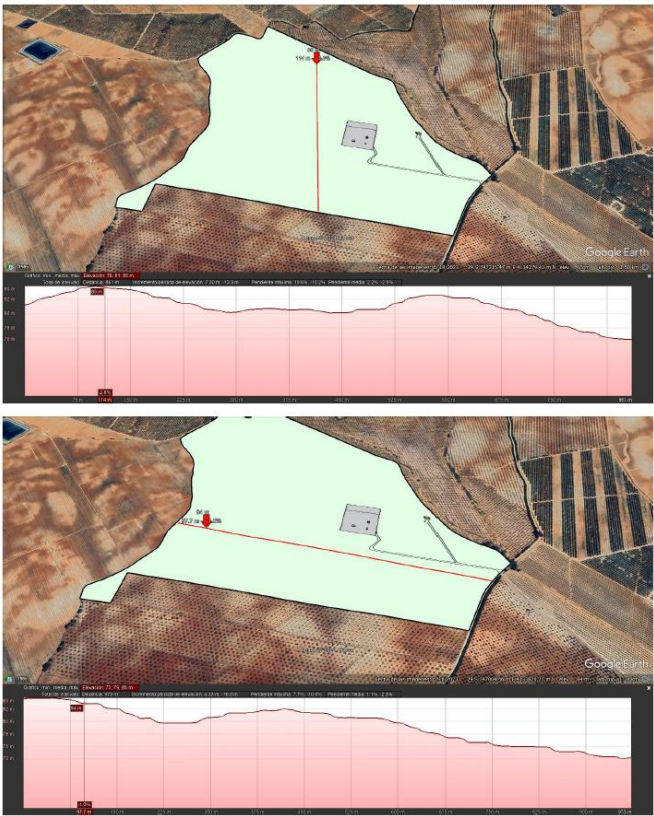


Ilustración 1. Perfiles de elevación eje N-S y E-O en la zona de ubicación de las balsas de almacenamiento.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 4/20	

Todas las balsas se ejecutarán con una lámina de PEAD formadas por distintos paños electrosoldados entre ellos. La lámina de PEAD estará protegida por un geotextil que la separará y protegerá del terreno.

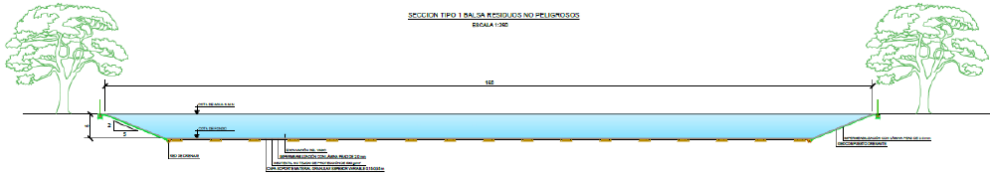


Ilustración 2. Sección tipo de una balsa de retención de residuos no peligrosos líquidos.

Cada balsa tendrá instalado en su base un sistema de recogida de las posibles filtraciones accidentales que se produzcan por rotura de la lámina impermeable de la balsa, evitando la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas de la zona donde se ubique la balsa en cuestión. La red de recogida de lixiviados de cada balsa conducirá los lixiviados recogidos a un pozo registro (un pozo registro por cada balsa). Este pozo registro, junto con el sistema de detección de nivel de agua en las balsas (detección de valores anómalos) servirá de indicador de fugas7.

DETALLE FONDO Y DRENAJE
ESCALA 1:50

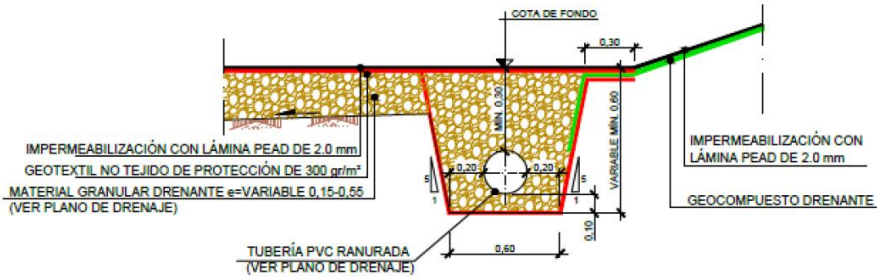


Ilustración 3. Sección tipo del sistema de drenaje de una balsa de retención de residuos no peligrosos líquidos.

Las balsas estarán valladas en el perímetro de su corona para evitar la entrada de fauna a la mismas, además contarán con rampas y/o con tramos de orilla de pendiente suave para favorecer la salida de la fauna que puedan caer en ellas.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 5/20	

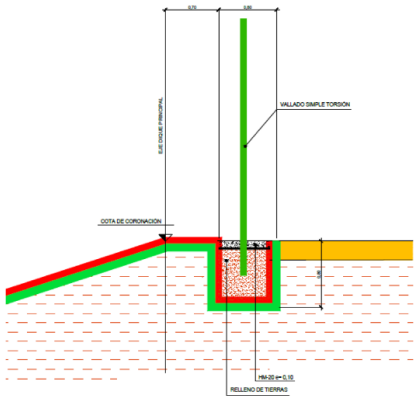


Ilustración 4. Sección de la coronación tipo de una balsa de retención de residuos no peligrosos líquidos.

Para la correcta ejecución de los trabajos de construcción de las balsas será necesario lo siguiente:

- a. Replanteo y comprobaciones de cotas.
- b. Ejecución de pendientes.
- c. Excavación en zanja para instalación de conducción de drenaje.
- d. Colocación de geotextil en fondo y taludes de zanja.
- e. Instalación de conducción de drenaje en fondo de zanja.
- f. Relleno de zanja con gravilla 10-12 mm.
- g. Ejecución de zanja perimetral para contrapeso y anclaje de láminas impermeabilizantes.
- h. Ejecución de obra de fábrica de hormigón de entrada y rebose.
- i. Instalación de lámina de geotextil 500 gr/m2
- j. Instalación lámina impermeabilizante PEAD 2 mm.
- k. Instalación de vallado perimetral.
- l. Instalación de sistema de cubrición.

Las especificaciones de cada una de estas fases vienen descritas a continuación.

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Lámina Impermeabilizante de PEAD de 2 mm de espesor.
2	Lámina Geotextil 500 gr/m2.
3	Tubo dren dn 110 mm.
4	Tubo dren dn 160 mm.
5	Tubo PVC dn 200 mm.
6	Hormigón HA-30 para estructuras.
7	Hormigón HM-20 para macizos de anclaje.
8	Gravilla 10-12 mm.
9	Malla.

4. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL PROYECTO ANTE RIESGOS DE ACCIDENTES GRAVES O CATÁSTROFES

Para llevar a cabo el análisis, se tendrá en cuenta el concepto de riesgo, como combinación de la probabilidad de que se desencadene un determinado fenómeno o suceso que, como consecuencia de su propia naturaleza o intensidad y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, puede producir efectos perjudiciales en las personas o pérdidas de bienes.

A continuación, se muestran los potenciales riesgos existentes.

4.1. RIESGOS

4.1.1. Riesgos naturales

Incendios forestales

1. Contexto territorial


Las balsas se sitúan en una finca de olivar regado, a unos tres kilómetros del casco urbano de Benacazón y a 2,3 km de Aznalcázar, rodeadas por cultivos y suelos improductivos que interrumpen la continuidad del combustible forestal. Esta matriz agrícola, unida a la cobertura estanca de las propias balsas, reduce de forma natural la probabilidad de que un foco iniciado fuera del recinto prenda en sus taludes o en la lámina de PEAD.

El relieve apenas supera pendientes medias del 6 % norte-sur y del 10 % este-oeste, valores que no favorecen aceleraciones significativas del frente de llama. Además, la rosa de vientos de la estación de La Puebla del Río muestra brisas dominantes del norte por debajo de 5 km/h, de escasa capacidad para impulsar pavesas hacia la parcela y sin núcleos habitados a sotavento.

En suma, la combinación de discontinuidad del combustible, pendientes suaves y vientos débiles convierte el riesgo de incendio forestal en un escenario marginal que puede mantenerse bajo control con las rutinas habituales de desbroce y vigilancia propias de una explotación agraria moderna.

2. Riesgos específicos para las balsas

- **El frente de fuego difícilmente alcanza las balsas.** Los pinares del Corredor Verde del Guadiamar quedan a más de un kilómetro y medio y, entre medias, domina un mosaico de olivar y rastrojera que interrumpe la continuidad vertical del combustible; además, la pendiente suave del 6-10 % y los vientos habituales del norte inferiores a 5 km/h limitan la velocidad y la capacidad de salto de las pavesas hasta la parcela .
- **Los propios taludes presentan baja inflamabilidad.** Cada balsa está excavada, impermeabilizada con lámina de PEAD y cubierta; la ausencia de vegetación permanente en el talud y la lámina expuesta reduce la probabilidad de ignición directa o de daños por radiación térmica.
- **Riesgo residual circunscrito a días extremos.** Solo la coincidencia de viento de poniente, humedad relativa <30 % y pavesas procedentes del pinar podría comprometer los taludes; un desbroce perimetral basta para mantener ese escenario como improbable.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 7/20	

3. Factores que reducen el riesgo

El diseño y ubicación de la planta incorporan características que **limitan significativamente la vulnerabilidad ante este tipo de riesgo**:

- **Implantación sobre terreno mineral, sin continuidad vegetal superficial directa** hacia las balsas.
- **Cubierta flotante en las balsas**, que aíslan el contenido y evita el contacto con el exterior.
- **Vallado perimetral** que dificulta la intrusión de materiales combustibles por arrastre eólico.
- **Distancia a masas forestales y baja densidad** de vegetación arbórea en el entorno inmediato.

4. Medidas preventivas

Para asegurar un nivel de protección adecuado frente a incendios rurales o forestales, se proponen las siguientes **medidas específicas para las balsas**:

- **Establecer y mantener una franja desbrozada alrededor de la coronación.** El talud excavado y recubierto con lámina de PEAD carece de combustible propio, pero la maleza estival de los lindes puede servir de puente a las pavesas; eliminarla consolida esa “barrera mineral” natural.
- **Revisar cubiertas, vallado y coronas tras cada campaña agrícola.** Las balsas están valladas y cubiertas para impedir la entrada de fauna; inspeccionar que la malla, las trampas de salida y la lona permanecen tensas evita acumulaciones de restos vegetales o plástico que puedan inflamarse por chispas

El riesgo por incendio forestal o rural en las balsas de la planta de biogás de Benacazón puede considerarse **bajo**, debido a la naturaleza no combustible de las estructuras, la ausencia de vegetación continua en el entorno inmediato y el diseño físico del sistema de almacenamiento. No obstante, se considera necesario mantener medidas específicas de prevención y vigilancia durante la época de riesgo alto, para asegurar la resiliencia de la instalación ante incendios externos.

Riesgo de inundaciones

1. Localización del emplazamiento y peligrosidad externa

El emplazamiento elegido se localiza sobre una terraza agrícola ligeramente elevada, a unos 3 km al sur del núcleo urbano de Benacazón y a 2,3 km al noreste de Aznalcázar, es decir, a distancia suficiente del cauce principal del Guadiamar y fuera de su llanura aluvial inmediata. La topografía muestra pendientes medias del 6,2 % en sentido N-S y del 10 % en sentido E-O, datos que evidencian una cota dominante y una capacidad natural de esorrentía que alejan al recinto de los puntos de acumulación de aguas de avenida.

La cartografía del proyecto incluye un plano específico “Zona de policía respecto DPH” que sitúa la parcela fuera del dominio público hidráulico y, por tanto, fuera de las áreas oficialmente catalogadas como inundables por la Confederación Hidrográfica. A ello se suma el esquema de drenaje interno: una red separativa recoge de forma independiente las aguas pluviales limpias y las que hayan estado en contacto con residuos, conduciéndolas a cabecera de tratamiento o a

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección <https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/> indicando el código de VERIFICACIÓN

FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 8/20



las balsas de digestato sin vertidos al exterior, lo que neutraliza la aportación de caudal y evita que la instalación agrave la peligrosidad existente. En conjunto, la elevación relativa, la distancia al cauce y las medidas de manejo hídrico confieren al emplazamiento un **riesgo de inundación muy reducido**.

2. Riesgos internos de tipo hidráulico o funcional

Más allá del peligro externo, existen riesgos internos que podrían originar situaciones análogas a una inundación dentro del recinto de las balsas, especialmente si coinciden con condiciones de tormenta intensa, fallo de sistemas o errores operativos:

- **Entrada de agua de escorrentía superficial** procedente de taludes o caminos mal canalizados, que podría desbordar las balsas o erosionar sus taludes.
- **Rebose por sobrellenado**, ya sea por exceso de aportes líquidos, fallo en el control de nivel o combinación con lluvias intensas sin drenaje suficiente.
- **Fallo del sistema de drenaje perimetral**, provocando acumulación de agua en zonas críticas o inundación de la base de las balsas.
- **Colapso localizado por subsidencia o pérdida de compactación**, que genere bolsas de agua o infiltraciones incontroladas.

3. Elementos del diseño que mitigan el riesgo

El diseño de las balsas y su integración en la planta incluyen medidas que reducen notablemente la vulnerabilidad frente a estos eventos:

- **Excavación sobreelevada respecto al entorno inmediato** y coronaciones sobredimensionadas para evitar reboses.
- **Margen libre (freeboard) $\geq 0,5$ m** en las balsas, lo que permite amortiguar aportes inesperados.
- **Sistema de recogida de lixiviados y drenaje inferior conectado a pozo de control**, lo que evita acumulaciones prolongadas.
- **Zanja de anclaje perimetral y taludes estables**, con pendientes suaves y buena resistencia a la escorrentía superficial.

4. Medidas preventivas

Para mantener el riesgo en niveles bajos, se recomiendan las siguientes acciones preventivas adicionales:

- **Limpieza periódica del sistema de drenaje superficial**, evitando obturaciones en canales, rejillas o colectores.
- **Inspección visual tras eventos de lluvia intensa**, con comprobación del estado de taludes, coronación y registros.
- **Revisión del SCADA y de las alarmas de nivel** en balsas tras episodios de tormenta o durante la temporada de lluvias.
- **Mantenimiento de los márgenes exteriores sin vegetación densa ni obstáculos**, que puedan frenar o redirigir el flujo de escorrentía.
- **Verificación anual del dimensionamiento hidráulico**, especialmente si hay cambios en la topografía o entorno del proyecto.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección <https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/> indicando el código de VERIFICACIÓN

FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 9/20



Riesgo por sismicidad

1. Contexto sísmico del emplazamiento

El emplazamiento de Benacazón se halla en la llanura del Guadalquivir, sobre un zócalo hercínico estable situado a más de 80 km de las fallas activas de la Cordillera Bética y del Golfo de Cádiz, que son las fuentes que concentran la mayor parte de la sismicidad andaluza. Esa distancia, unida a la amortiguación que ejerce la depresión sedimentaria, se refleja en los mapas oficiales de peligrosidad: la aceleración sísmica básica (ab) asignada al municipio es de 0,04 g, el umbral inferior contemplado por la normativa española y límite que define la zona de baja peligrosidad.

La historia instrumental confirma esa lectura: la provincia de Sevilla registra sólo pequeños temblores y los terremotos destructivos del sur peninsular (Lisboa 1755, Arenas del Rey 1884 o Cabo de San Vicente 1969) se han percibido en la capital con intensidades moderadas, nunca superiores a VI en la escala EMS-98 .

En síntesis, el contexto sísmico del emplazamiento es muy bajo, condicionado por la gran distancia a las fallas activas y por una aceleración de diseño mínima según la “Actualización de Mapas de Peligrosidad Sísmica de España 2012”.

2. Elementos sensibles al riesgo sísmico

- **Taludes excavados y coronación.** La estabilidad global del vaso descansa en los taludes interiores de tierra y la coronación; un sismo horizontal puede generar deslizamientos o asentamientos diferenciales que sobre-esfuerzan la pendiente media del 6 – 10 % descrita en el proyecto y arrugan la lámina adyacente.
- **Zanja perimetral y lámina de PEAD.** La lámina de 2 mm queda anclada en una zanja con macizo de contrapeso; vibraciones bruscas pueden provocar el “tirón” de ese anclaje o rasgar soldaduras entre paños si el terreno cede, comprometiendo la estanqueidad.
- **Obra de entrada/rebose y tuberías empotradas.** El conducto de PVC DN 200 mm y la obra de hormigón que sirve de vertedero rígido atraviesan un recinto flexible: en un seísmo la distinta rigidez provoca esfuerzos de corte en las juntas y riesgo de fisuración o rotura de bridas que libere digestato.

3. Mecanismos de afección sísmica posibles

Aunque el diseño es favorable, pueden identificarse ciertos **riesgos puntuales** que deben contemplarse:

- **Asentamientos diferenciales** o subsidencia si el terreno base no está correctamente compactado o si existen lentes blandas o arcillas expansivas.
- **Fallo por desplazamiento en taludes** si se produce licuefacción local o pérdida de cohesión durante un sismo.
- **Tensión en tuberías y válvulas** conectadas a las balsas, si no están diseñadas para absorber movimiento horizontal.
- **Rotura localizada de la lámina de PEAD** en zonas de cambio de plano o puntos de soldadura

4. Medidas preventivas

El proyecto incorpora medidas adecuadas que permiten mantener el riesgo bajo control:

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección <https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/> indicando el código de VERIFICACIÓN

FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 10/20



- **Compactación controlada del terreno base y rellenos perimetrales.**
- **Diseño flexible de las conducciones y válvulas**, con juntas elásticas o compensadores de dilatación que absorban movimientos.
- **Anclaje perimetral de la lámina en zanja**, que evita desplazamientos por empuje o vibración.
- **Inspección post-sismo** en caso de evento sísmico perceptible (\geq grado III EMS), incluyendo revisión visual de estructura, taludes, pozo control, anclajes lamina PEAD.

El riesgo por sismicidad en las balsas de la planta de biogás de Benacazón puede considerarse **bajo**, debido a la peligrosidad sísmica moderada de la zona, a la tipología constructiva de las balsas y a las medidas de diseño aplicadas. La naturaleza flexible y semi-enterrada de estas estructuras, junto con la baja aceleración prevista, permiten mantener un alto nivel de seguridad estructural, siempre que se garantice un control geotécnico adecuado del terreno de apoyo y de las conexiones funcionales.

Riesgo por erosividad

1. Contexto edafológico y morfológico

El riesgo de erosión en el emplazamiento viene condicionado por la combinación de un relieve suavemente ondulado y unos suelos agrícolas ya explotados.

➤ Morfología del terreno

Las balsas se excavan sobre una terraza agrícola que presenta pendientes medias del 6,2 % en sentido norte-sur y del 10 % en sentido este-oeste. Esa topografía ondulada favorece la evacuación natural de la escorrentía, pero también concentra las aguas de lluvia en los fondos de vaguada que rodean la planta, pudiendo generar microsurcos cuando la cubierta vegetal está ausente. La posición elegida —ligeramente por encima de la rasante media— sitúa las coronaciones fuera de los puntos de acumulación, reduciendo el riesgo de socavación directa en los taludes.

➤ Contexto edafológico

La finca está dedicada mayoritariamente a olivar de regadío sobre suelos profundos limo-arcillosos típicos de la depresión del Guadalquivir. Se trata de materiales finos, con estructura subangular moderada y baja pedregosidad, que muestran buena capacidad de retención hídrica pero son susceptibles a la dispersión de partículas cuando quedan descubiertos tras las labores del cultivo. En verano esa susceptibilidad se mitiga porque el riego por goteo mantiene cierta humedad superficial y la cubierta espontánea de herbáceas se siega sin retirar el residuo; en invierno, sin embargo, los episodios de lluvia intensa pueden desencadenar erosión en lámina si la labor agrícola expone la superficie.

➤ Interacción suelo-obra

Los taludes interiores de las balsas —conformados a partir del mismo terreno fino— quedan protegidos por geotextil y lámina de PEAD; por tanto, la acción erosiva se restringe al talud exterior y a los caminos de servicio. Dado que la pendiente longitudinal de los viales no supera el 3 % y están previstos con zahorra compactada, la pérdida de partículas se limitará a los primeros milímetros en eventos torrenciales, siempre que se mantengan cunetas laterales y puntos de drenaje superficial bien definidos.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección <https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/> indicando el código de VERIFICACIÓN

FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 11/20



En conjunto, **la erosividad potencial es moderada**: el material edáfico se desagrega con facilidad, pero las pendientes son cortas y la ocupación agrícola ofrece cierto control de cobertura. El riesgo aumenta en labores de movimiento de tierras o cuando los carriles de acceso concentran la escorrentía; se controla con prácticas básicas de manejo —siembras de cobertura, cunetas vegetadas y cunetones de coronación—.

2. Mecanismos de riesgo erosivo

Durante la fase de explotación, las balsas pueden verse afectadas por distintos mecanismos erosivos, especialmente si no se aplican medidas correctoras o si el mantenimiento es deficiente. Los principales escenarios de riesgo incluyen:

- **Erosión en taludes exteriores** por acción de la lluvia o escorrentía no canalizada, con desprendimiento progresivo de finos.
- **Desgaste de la coronación** por tránsito de maquinaria ligera, viento o escorrentía superficial.
- **Arrastre de partículas hacia el interior de las balsas** si los márgenes no están estabilizados o si fallan los sistemas de drenaje.
- **Desestabilización local del anclaje de la lámina** en la zanja perimetral si esta queda parcialmente desprotegida o colmatada.

3. Factores mitigadores del diseño

El proyecto contempla elementos constructivos que **reducen sustancialmente el riesgo de erosión estructural**, entre los que destacan:

- **Excavación directa sobre terreno natural**, sin rellenos artificiales extensos.
- **Taludes interiores suaves**, con pendientes controladas que disminuyen la energía del agua escurrida.
- **Zanja perimetral de anclaje de la lámina**, que actúa como barrera física ante arrastres.
- **Protección mediante geotextil** entre la lámina y el suelo base, que limita la fricción y el punzonado.
- **Sistema de drenaje periférico**, que recoge escorrentía y evita su concentración en puntos críticos.

4. Medidas preventivas

Aunque el riesgo es bajo en condiciones normales, se recomienda:

- **Establecer un programa de inspección estacional**, especialmente tras lluvias fuertes, para detectar signos de erosión incipiente.
- **Evitar el tránsito de maquinaria pesada** en la coronación de las balsas salvo en operaciones programadas y controladas.
- **Retirar de forma periódica los sedimentos acumulados** en los sistemas de drenaje para evitar obstrucciones y sobrecargas.
- **Asegurar la correcta compactación del perímetro y fondo durante la construcción**, minimizando la infiltración preferencial y la disgregación superficial.

El **riesgo de erosividad** en las balsas de la planta de biogás de Benacazón puede considerarse, por tanto, moderado. No obstante, el mantenimiento preventivo del sistema de drenaje y la

FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 12/20



estabilización de taludes son fundamentales para evitar procesos erosivos localizados que, a medio plazo, que pueden contribuir sin duda a que el **riesgo sea finalmente bajo**.

Riesgo por expansividad de arcillas

1. Contexto geotécnico del emplazamiento

El emplazamiento de las balsas se asienta sobre antiguas parcelas de olivar de regadío de la campiña del Guadalquivir, un paisaje agrario que lleva décadas funcionando sin patologías estructurales reseñables. Esa larga explotación agrícola es un primer indicio de que los limos y arcillas locales poseen un comportamiento mecánico estable, incluso cuando sufren las variaciones de humedad propias del riego .

A ello se añade un relieve suave pero bien drenado: la plataforma presenta una pendiente natural próxima al 6 % en el eje norte-sur y algo superior al 10 % en dirección este-oeste. Esa escorrentía favorece la evacuación rápida del agua de lluvia y evita la saturación prolongada del terreno, condición imprescindible para que las arcillas expansivas alcancen su máximo potencial de hinchamiento .

El diseño constructivo refuerza, además, la desconexión hidráulica entre las balsas y el sustrato arcilloso. Cada vaso se excava, se reviste con geotextil de 500 g m² y se impermeabiliza con una lámina de PEAD de 2 mm, anclada perimetralmente en zanja. Esa “triple” barrera (geotextil-PEAD-contrapeso) impide la entrada de agua en los estratos finos subyacentes y elimina los ciclos de humectación-secado que disparan la expansividad .


Por último, el sistema de drenaje incorpora tubos filtrantes y un pozo de control que permite detectar y evacuar cualquier filtración incipiente antes de que alcance el terreno natural, cerrando el círculo preventivo .

En conjunto, la litología arcillosa del enclave no se descarta, pero queda “hidráulicamente aislada” y sometida a una sollicitación muy inferior a la que requeriría un análisis de expansividad en sentido estricto; de ahí que **el riesgo geotécnico por arcillas expansivas pueda considerarse bajo en el contexto del proyecto**.

2. Mecanismo del riesgo

Las arcillas expansivas pueden generar riesgos indirectos sobre la integridad de las balsas, especialmente si no se controlan las condiciones de humedad o si no se ha ejecutado una preparación adecuada del terreno. Los principales efectos potenciales incluyen:

- **Levantamiento** o deformación del fondo de la balsa por hinchamiento de la arcilla al hidratarse.
- **Fisuración o deformación del terreno de apoyo**, que puede comprometer el sellado de la lámina impermeable de PEAD.
- **Deslizamientos locales en taludes**, especialmente en los primeros metros, al combinarse la expansión con pérdida de cohesión.
- **Pérdida de contacto uniforme entre la lámina y el soporte**, aumentando el riesgo de punzonamiento o desgaste diferencial.
- **Daños en tuberías o válvulas de conexión**, si hay desplazamientos diferenciales del terreno en sus puntos de apoyo.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 13/20	

3. Elementos del diseño que reducen el riesgo

El diseño de las balsas en el proyecto incorpora medidas que contribuyen a **mitigar los efectos de la expansividad del terreno**, tales como:

- **Excavación directa sobre terreno natural**, sin rellenos estructurales adicionales que pudieran amplificar la inestabilidad.
- **Colocación de geotextil bajo la lámina de PEAD**, que actúa como capa de reparto de tensiones y protección mecánica
- **Capa de gravilla** que actúa como capa de amortiguación ante posibles deformaciones de terreno.
- **Diseño de taludes con pendiente suave (1:2)** que favorece la estabilidad incluso en condiciones de reblandecimiento.
- **Impermeabilización continua y sistema de drenaje inferior**, que evita la saturación permanente del suelo subyacente.

4. Medidas preventivas

A pesar de las medidas previstas, el riesgo residual requiere atención mediante las siguientes actuaciones preventivas:

- **Compactación uniforme del fondo y taludes**, para reducir porosidad y evitar movimientos diferenciales.
- **Inspección periódica de las uniones**, especialmente tras lluvias prolongadas o en años con ciclos secos/húmedos intensos.

Por todo lo anteriormente expuesto, se concluye que la suma de un historial geotécnico favorable, buena escorrentía superficial y un aislamiento constructivo completo coloca el fenómeno de expansividad arcillosa fuera de los escenarios de riesgo operativo de la instalación.

Riesgo meteorológico

1. Contexto climático del emplazamiento

El clima que envuelve a la planta de Benacazón fusiona dos rasgos que, de cara a los riesgos meteorológicos, resultan casi antagónicos: una prolongada monotonía de calor seco y unos episodios otoñales capaces de concentrar en pocas horas la lluvia de todo un mes.

El régimen dominante es netamente mediterráneo de interior cálido. La estación de referencia del aeropuerto de Sevilla registra una media anual cercana a 19,6 °C y apenas 500 mm de precipitación, repartidos sobre todo entre octubre y abril; los veranos, por el contrario, pasan semanas enteras sin una gota de lluvia y con máximas que superan los 40 °C varias veces cada año. Esa aridez estival propicia dos amenazas: la evaporación acelerada de las balsas —que obliga a controlar el espesor de la lámina y la tensión en la cubierta— y el estrés térmico en equipos y personal.

En el extremo opuesto, el riesgo se concentra en los posibles aguaceros torrenciales y frentes atlánticos de otoño. Aunque el total anual sea modesto, no es raro que un solo día sume 70–100 mm en la provincia. Para las balsas, tales picos de lluvia suponen la posible entrada súbita de agua bajo la cubierta si esta se abre por mantenimiento y, sobre todo, la erosión de los taludes exteriores y de los viales si el drenaje superficial no evacúa con rapidez.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección <https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/> indicando el código de VERIFICACIÓN

FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 14/20



El viento es, en cambio, un factor menor. El proyecto refleja veinte años de registros de la estación agroclimática de La Puebla del Río: brisas de componente norte raramente por encima de 5 km/h. Esa debilidad reduce la carga dinámica sobre las cubiertas de PEAD.

En síntesis, el riesgo meteorológico del emplazamiento pivota en un binomio “calor extremo + lluvia concentrada”. El primero reclama medidas de gestión de nivel y de protección térmica; el segundo, un sistema de drenaje exterior bien dimensionado, inspecciones de la cubierta antes del otoño y bombeo que impida sobrellenados en las horas pico de precipitación.

2. Principales riesgos meteorológicos identificados

A continuación, se resumen los principales riesgos meteorológicos que pueden afectar a la seguridad funcional de las balsas:

Fenómeno	Efecto potencial sobre las balsas
Lluvias intensas	Rebose por acumulación rápida de agua si la altura de la balsa no es suficiente. Erosión de taludes y coronación.
Altas temperaturas y olas de calor	Evaporación.
Viento fuerte y rachas puntuales	Tensión o levantamiento de la lámina si no está bien anclada. Daño en cubiertas flotantes. Oleaje superficial.
Granizo o tormentas	Deterioro físico de la lámina o equipos. Acumulación de escorrentía con sedimentos.
Heladas o enfriamiento brusco	Riesgo muy bajo. Solo podrían afectar válvulas o tuberías superficiales sin protección.

3. Elementos de diseño que mitigan el riesgo

El diseño del sistema de balsas incorpora varias características que permiten **reducir notablemente la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos**:

- **Margen libre (freeboard) ≥ 0,5 m** en las balsas, lo que permite amortiguar aportes inesperados.
- **Lámina de PEAD de 2 mm, resistente a UV, agentes atmosféricos y cambios térmicos.**
- **Sistema de drenaje superficial y fondo**, que evita acumulaciones prolongadas.
- **Cubierta flotante en las balsas**, que reducen emisiones, protege contra evaporación y mejora el control térmico.
- **Vallado y perímetro sobreelevado**, que actúan como protección frente a materiales arrastrados por viento o escorrentía.

4. Recomendaciones operativas adicionales

Para complementar el diseño, se recomienda implementar las siguientes **medidas preventivas**:

- **Limpieza periódica del sistema de drenaje** antes y después del periodo de lluvias (otoño–invierno).
- **Seguimiento meteorológico local**: pluviómetro, anemómetro, termómetro.
- **Inspección visual tras eventos extremos** para detectar daños en taludes, costras o lámina.
- **Protección contra viento en zonas expuestas**, con barreras vegetales o cortavientos si fuera necesario.



El riesgo meteorológico para las balsas de la planta de biogás de Benacazón puede considerarse **moderado**, condicionado principalmente por lluvias intensas y temperaturas extremas. Las medidas de diseño y construcción adoptadas mitigan eficazmente los efectos más comunes. No obstante, es esencial mantener una vigilancia meteorológica y actuación rápida post-eventos extremos, especialmente en los meses de otoño (lluvias) y verano (calor extremo), para asegurar la estabilidad funcional y ambiental del sistema.

4.1.2. Riesgos tecnológicos

Riesgo nuclear y/o radiológico

Evaluación:
No existen instalaciones nucleares en un radio significativo en torno a Benacazón, ni se prevén actividades que impliquen el uso de materiales nucleares en la planta de biogás.

Conclusión: Riesgo nulo. No se identifica ninguna vía de exposición o impacto asociado a actividades nucleares ni radiológicas.

Riesgo de fuga por rotura de balsas

Evaluación:
Aunque las sustancias almacenadas no son peligrosas, de acuerdo a la legislación vigente, y pueden ser aplicadas como enmienda en agricultura, podrían causar afección ambiental.

- **Aguas subterráneas**, si se produce una fuga en la lámina.
- **Suelo agrícola**, en caso de rebose o derrame accidental.

Medidas preventivas:


- Lámina de PEAD de 2 mm y geotextil protector.
- Sistema de drenaje y detección de fugas con pozo de control.
- Alarmas de nivel y SCADA.

Conclusión: Riesgo bajo a moderado, dependiendo del mantenimiento y vigilancia. Controlable con las medidas previstas y seguimiento periódico.

Fallo en tuberías o válvulas

Evaluación del riesgo

La red de impulsión y distribución incluye conducciones DN 200 mm y válvulas de compuerta y mariposa que trabajan en régimen casi continuo para trasvasar digestato a los tres vasos. Una rotura de brida, el gripado de una válvula o la pérdida de alimentación del SCADA –que impediría el cierre automático– puede provocar un vaciado brusco del conducto o, al contrario, una sobrepresión que arrugue la lámina y dañe las soldaduras de PEAD en la obra de entrada/rebose. La probabilidad es **media-baja** gracias a los materiales en PN 10-16, pero aumenta si el mantenimiento preventivo decae.

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 16/20	

Medidas preventivas

- **Mantenimiento preventivo:** inspección trimestral de pares de apriete, revisión de bridas sustitución de materiales.
- **Automatización segura:** el SCADA incluye “posición de seguridad” al detectar fallo de señal (válvulas cierran por resorte y las bombas paran).
- **Protección contra sobrepresión:** válvulas de alivio taradas por encima de la presión nominal y sondas de presión que disparan la parada de bombas.

Conclusión

Con la redundancia de válvulas, un programa de mantenimiento preventivo y la lógica de fallo seguro del SCADA, el escenario de rotura catastrófica se reduce a casos muy puntuales (p. ej., impacto mecánico o defecto de fabricación no detectado). Implementadas estas salvaguardas, el riesgo residual es “**moderado-bajo**”, compatible con la operativa diaria de la instalación.

Sobrellenado o rebose

Evaluación del riesgo

El volumen útil de cada balsa (24.040 m³) se controla con un resguardo libre de 0,5 m entre la lámina y la coronación; si entra agua de lluvia con la cubierta abierta, fallan las consignas de bombeo o se atasca la válvula de salida, ese margen puede agotarse y producir un vertido por el borde. El rebose erosiona el talud exterior, arrastra digestato al vial perimetral y anega la cubeta de contención, generando un incidente ambiental grave. La probabilidad es **baja** (dependiente de operación y meteorología).

Medidas preventivas

- **Control automático de nivel:** sondas redundantes que detienen las bombas y lanzan alarma al SCADA cuando la lámina alcanza el 90 % del resguardo.
- **Cubierta y protocolo de lluvias:** mantener la lona cerrada salvo mantenimiento; si se prevé lluvia, suspender cargas, verificar nivel y dejar 0,50 m de margen antes del episodio.
- **Formación operativa:** checklist de “fin de turno” con comprobación visual del indicador de nivel y registro, alarma sonora local para rebose inminente.

Conclusión

Con la combinación de instrumentación y protocolo específico para lluvias intensas, el escenario de sobrellenado sería “**moderado**”; el vertido accidental queda limitado a casos excepcionales de fallo múltiple simultáneo y, aún entonces, se canaliza hacia la red interior, minimizando el impacto externo.

4.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

➤ Vulnerabilidad en fase de construcción

Riesgo específico	PO	SP	MA	MS	Impacto total	VU = PO × Impacto	Nivel
Inundación por lluvias intensas	4	4	4	2	14	56	Baja
Sismicidad	2	2	2	1	7	14	Baja
Erosión superficial	6	3	4	2	12	72	Baja
Expansividad de arcillas	2	1	1	2	5	10	Baja
Incendio forestal / rural	3	3	3	3	12	36	Baja

Viento fuerte / rachas	4	3	2	2	10	40	Baja
Ola de calor prolongada	5	2	2	3	9	45	Baja
Granizo / heladas puntuales	1	1	1	1	4	4	Baja
Rotura o perforación de lámina	4	3	2	2	10	40	Baja
Fallo tuberías / válvulas	1	1	1	1	4	4	Baja
Sobrellenado / rebose	1	1	1	1	4	4	Baja

Vulnerabilidad en fase de explotación

Riesgo específico	PO	SP	MA	MS	Impacto total	VU = PO × Impacto	Nivel
Inundación por lluvias intensas	5	4	4	4	16	80	Baja
Sismicidad	2	3	3	2	11	22	Baja
Erosión superficial	5	2	3	1	8	40	Baja
Expansividad de arcillas	2	2	1	2	7	14	Baja
Incendio forestal / rural	4	3	3	3	12	48	Baja
Viento fuerte / rachas	4	3	2	2	10	40	Baja
Ola de calor prolongada	4	3	2	2	10	40	Baja
Granizo / heladas puntuales	2	1	1	1	4	8	Baja
Rotura o perforación de lámina	3	5	5	4	19	57	Baja
Fallo tuberías / válvulas	4	7	8	7	29	116	Media
Sobrellenado / rebose	4	7	8	7	29	116	Media

Resultado global: Todos los eventos analizados se clasifican con vulnerabilidad **BAJA** (VU ≤ 113). No se detectan escenarios de vulnerabilidad media ni alta.

Conclusiones clave

- En explotación sobresalen **dos vulnerabilidades medias**:
 - Fallo en tuberías/válvulas** (VU = 116) debido a la criticidad del digestato y a la elevada severidad para personas y medio ambiente si se libera caudal a presión.
 - Sobrellenado/rebose** (VU = 116) porque el margen libre es reducido y un error de consignas o una DANA podría verter digestato fuera de la balsa.
- El resto de riesgos –naturales y tecnológicos– se sitúa en la franja **baja** gracias a:
 - El emplazamiento fuera de zonas inundables y de sismicidad muy baja.
 - El aislamiento hidráulico de la lámina y el dren sub-lámina.
 - Los sistemas de detección y parada automática (SCADA) y las cubiertas de PEAD.

Reforzando el mantenimiento predictivo de bridas/sondas y los protocolos de operación en lluvias extremas, las dos vulnerabilidades medias pueden rebajarse también al nivel bajo, cerrando el ciclo de gestión de riesgo de las balsas.

Escala de clasificación aplicada:

VU (valor)	Nivel de vulnerabilidad
0	Nula
1 – 113	Baja
114 – 227	Media
228 – 341	Alta
342 – 400	Muy alta

5. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

A continuación, se presenta un programa de seguimiento y protocolo de actuación específico para las balsas de la planta de biogás de Benacazón. Este plan tiene como finalidad garantizar la detección temprana de anomalías, la correcta respuesta ante incidencias y la mejora continua de la seguridad operativa y ambiental.

Objetivos

- Detectar de forma anticipada cualquier alteración estructural, hidráulica o funcional de las balsas.
- Monitorizar parámetros críticos relacionados con el riesgo de fugas, reboses, emisiones o inestabilidad.
- Establecer procedimientos de respuesta rápida y eficaz ante incidentes.
- Asegurar la trazabilidad de las actuaciones y la mejora continua de la gestión del riesgo.

Programa de seguimiento

Parámetro o elemento a controlar	Ubicación	Método	Frecuencia
Nivel de líquido en balsa	Todas las balsas	Sonda nivel (SCADA)	Continuo
Flujo en sistema de drenaje inferior	Tubería de control de fugas	Caudalímetro / visual	Continuo
Nivel de agua en pozo de control	Pozo-registro piezométrico	Sonda de nivel conductiva	Diario
Calidad del agua en pozo de control	Pozo-registro	In situ (pH, CE)	Semanal
Agua subterránea (aguas abajo)	Piezómetros aguas abajo	Analítica completa	Trimestral
Estado de la lámina y anclajes	Interior de balsas y coronación	Inspección visual	Mensual
Taludes	Exterior de las balsas	Revisión visual	Mensual
Sistema eléctrico (protecciones)	Cuadros de bombas y sensores	Verificación funcional	Semestral

Protocolo actuación


Riesgo	Medidas correctoras
Fuga por rotura de lámina	- Parada de alimentación inmediata - Bombeo del contenido a otras balsas hasta nivel seguro - Detección zona rotura - Reparación lámina
Sobrellenado o rebose	- Activación de válvula de derivación automática a balsa de reserva o cisterna - Corte automático de impulsión - Bombeo del contenido a otras balsas hasta nivel seguro - Registro en SCADA
Fallo en tuberías	- Corte manual o remoto de válvula de seguridad - Sustitución del tramo afectado - Limpieza de zona impactada y análisis post-incidente
Erosión crítica en talud	- Relleno y compactación inmediata - Refuerzo con malla o escollera - Bombeo del contenido a otras balsas hasta nivel seguro

Riesgo	Medidas correctoras
Expansividad detectada (abombamiento)	- Reducción de nivel líquido hasta zona segura - Inspección geotécnica
Incendio o calor externo	- Aplicación de espuma ignífuga - Aviso a emergencias (112) y CHG si hay derrame
Inundación localizada	- Drenaje por bombeo a balsa de emergencia o camión cuba - Limpieza de drenajes - Informe técnico e inspección de daños estructurales

6. AUTOR DEL ESTUDIO

El autor del presente estudio es [REDACTED], Licenciado en Ciencias Ambientales, colegiado nº [REDACTED] por el Colegio Oficial de Licenciados y Graduados en Ciencias Ambientales de Andalucía.

Nº Reg. Entrada: 202699903088638. Fecha/Hora: 25/03/2026 12:17:04

Puede verificar la integridad de este documento mediante la lectura del código QR adjunto o mediante el acceso a la dirección https://ws050.juntadeandalucia.es:443/verificarFirma/ indicando el código de VERIFICACIÓN			
FIRMADO POR	JESUS MARIA SANCHEZ GONZALEZ	25/03/2026	
VERIFICACIÓN	PEGVEVHZRUTUXGNQ25ZYJFZPYES7R3	PÁG. 20/20	