ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

PROYECTO:

AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL RELLENO SANITARIO DE LA SOCIEDAD BIORGÁNICOS DEL SUR DEL HUILA S.A. E.S.P.

CONSULTOR:

RS CONSULTORÍA & CONSTRUCCIÓN S.A.S

Pitalito 2025

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3
2. OBJETIVOS 4
2.1 OBJETIVO GENERAL 4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
3. LOCALIZACIÓN 5
3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS 6
3.1. Identificación y descripción de alternativas 6
3.2. Criterios de evaluación de alternativas 7
3.3 Descripción general de las alternativas evaluadas 9
3.4 Matriz multicriterio de evaluación de alternativas 11
3.4.1 Ponderación de criterios 11
3.4.2. Escala de calificación 12
3.4.3. Evaluación comparativa 12
4. CONCLUSIONES 16

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de alternativas constituye una etapa fundamental en la formulación de proyectos de infraestructura para la gestión y disposición final de residuos sólidos, en tanto permite evaluar de manera sistemática las diferentes opciones técnicas, ambientales y operativas disponibles para atender una necesidad identificada, garantizando que la alternativa seleccionada sea la más adecuada desde el punto de vista de la sostenibilidad, la viabilidad y el cumplimiento normativo.

En el presente documento se analizan las alternativas de ampliación de capacidad del relleno sanitario operado por la empresa Biorgánicos, ubicado en el municipio de Pitalito, departamento del Huila, teniendo en cuenta las restricciones físicas del predio, la ausencia de áreas adicionales para la construcción de nuevas celdas, la presencia de un relleno sanitario clausurado adyacente y las condiciones geotécnicas, ambientales y operativas del sitio. El análisis se orienta a identificar soluciones que permitan garantizar la continuidad del servicio de disposición final de residuos sólidos para los municipios atendidos, minimizando los impactos ambientales y sociales asociados.

Las alternativas consideradas se evalúan con base en criterios técnicos, ambientales, económicos, operativos y de riesgo, tales como la estabilidad geotécnica, el manejo de lixiviados y gases, la optimización del uso del suelo disponible, los costos de implementación y operación, y el nivel de cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. El resultado de este análisis permitirá sustentar de manera objetiva la selección de la alternativa más conveniente para el proyecto, la cual será desarrollada en detalle en la etapa de diseño.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y comparar las alternativas técnicas, ambientales y operativas disponibles para la ampliación de la capacidad del relleno sanitario operado por la empresa Biorgánicos en el municipio de Pitalito, con el fin de seleccionar la opción más viable y sostenible que garantice la continuidad del servicio de disposición final de residuos sólidos para los municipios atendidos, en cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las condiciones actuales del relleno sanitario, incluyendo las restricciones físicas del predio, la capacidad remanente, la infraestructura existente y la presencia del relleno sanitario clausurado adyacente.

- Identificar y describir las alternativas de ampliación de capacidad técnicamente factibles, considerando criterios de estabilidad geotécnica, manejo de lixiviados y gases, y compatibilidad con las condiciones del sitio.

- Evaluar las alternativas propuestas a partir de criterios técnicos, ambientales, económicos, operativos y de riesgo, que permitan comparar de manera objetiva su desempeño y viabilidad.

- Determinar la alternativa que optimiza el uso del suelo disponible dentro del predio, minimiza los impactos ambientales y sociales, y asegura la continuidad del servicio público de aseo a nivel municipal y regional.

- Sustentar técnica y ambientalmente la alternativa seleccionada, de manera que sirva como base para el desarrollo del diseño detallado y la posterior implementación del proyecto.

3. LOCALIZACIÓN

El relleno sanitario se localiza dentro del predio de BIORGÁNICOS DEL SUR localizado en el Km 8 de la vía Pitalito – San Agustín.

La celda susceptible de ampliación se localiza en la parte sur orienta del predio, aledaña a la celda clausurada desde el año 2023.

Figura 1. Localización del proyecto



Fuente: Google earth

3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

3.1. Identificación y descripción de alternativas

En atención a las condiciones actuales del relleno sanitario, las restricciones físicas del predio, la inexistencia de áreas adicionales para la construcción de nuevas celdas y la necesidad de garantizar la continuidad del servicio de disposición final, se identificaron y formularon las siguientes alternativas técnicamente viables para la ampliación de capacidad del relleno sanitario operado por la empresa Biorgánicos en el municipio de Pitalito.

Las alternativas se definieron considerando criterios de estabilidad geotécnica, manejo de lixiviados y gases, compatibilidad con la infraestructura existente, cumplimiento normativo y optimización del uso del suelo disponible.

Alternativa 1 (ALT-1): Culminación del relleno actual, impermeabilización de ambos taludes y habilitación del espacio intermedio

Esta alternativa consiste en continuar la operación del relleno sanitario actualmente en funcionamiento hasta alcanzar la geometría final de diseño aprobada. Una vez alcanzada dicha geometría, se procede a la impermeabilización de los taludes externos de las dos pirámides conformadas: la correspondiente al relleno sanitario clausurado y la del relleno sanitario actualmente en operación.

Posteriormente, se habilita para disposición de residuos sólidos el volumen resultante entre ambas pirámides impermeabilizadas, conformando una nueva sección de relleno confinada lateralmente por dos taludes impermeabilizados independientes. En esta alternativa, los residuos antiguos permanecen aislados hidráulicamente, sin integración directa con los nuevos residuos, y el manejo de lixiviados y gases se desarrolla de manera independiente para la nueva sección habilitada.

Esta alternativa permite un aprovechamiento parcial del espacio disponible dentro del predio, condicionando la ampliación de capacidad a la geometría final alcanzable del relleno en operación antes de su clausura.

Alternativa 2 (ALT-2): Impermeabilización del relleno clausurado e integración progresiva mediante recostado de residuos nuevos

Esta alternativa contempla la impermeabilización del talud del relleno sanitario clausurado y su integración progresiva al sistema de disposición final, mediante el recostado controlado de residuos nuevos sobre dicho talud impermeabilizado. De esta manera, los residuos antiguos actúan como soporte lateral, sin reactivación hidráulica, mientras que los residuos nuevos cuentan con sistemas independientes de control de lixiviados y gases.

La integración progresiva permite conformar un único cuerpo de disposición, optimizando el uso del suelo disponible dentro del predio y aumentando significativamente la capacidad total del relleno sanitario, bajo condiciones verificadas de estabilidad geotécnica y cumplimiento de los factores de seguridad exigidos por la normatividad vigente.

3.2. Criterios de evaluación de alternativas

La evaluación de las alternativas se realizó mediante una matriz multicriterio, considerando seis criterios previamente definidos, los cuales responden a los aspectos técnicos, ambientales, operativos y sociales más relevantes para la toma de decisión en proyectos de ampliación de rellenos sanitarios. Cada criterio fue ponderado de acuerdo con su importancia relativa, y las alternativas fueron calificadas de manera comparativa.

1. Criterio técnico–geotécnico

Evalúa el comportamiento estructural y la estabilidad del sistema de disposición de residuos, considerando:

- factores de seguridad en condiciones estáticas y seudoestáticas,
- interacción entre residuos nuevos y antiguos,
- estabilidad de taludes, bermas y diques,
- control de presiones de poros y manejo de lixiviados,
- cumplimiento de los requisitos del RAS en términos de esfuerzos efectivos.

Este criterio es determinante para garantizar la seguridad física del relleno durante su operación y condición final.

2. Criterio económico

Analiza los costos relativos asociados a cada alternativa, incluyendo:

- obras de impermeabilización,
- movimientos de tierra y conformación geométrica,

- sistemas de drenaje y manejo de lixiviados,
- costos de implementación, operación y mantenimiento.

La evaluación se realiza de manera comparativa, priorizando la eficiencia económica sin comprometer la seguridad ni el desempeño ambiental.

3. Criterio ambiental

Evalúa el nivel de protección ambiental ofrecido por cada alternativa, considerando:

- control y confinamiento de lixiviados,
- prevención de contaminación de suelos y aguas,
- manejo de gases del relleno,
- reducción del riesgo de impactos ambientales a corto y largo plazo.

Este criterio prioriza las alternativas que brindan mayor aislamiento hidráulico y menor probabilidad de afectación ambiental.

4. Criterio operativo

Considera la viabilidad práctica de implementación y operación, teniendo en cuenta:

- continuidad del servicio de disposición final,
- interferencias con la operación actual del relleno,
- facilidad constructiva,
- requerimientos de control y mantenimiento.

Se favorecen las alternativas que permiten una operación más segura, ordenada y adaptable.

5. Criterio de riesgos

Evalúa la exposición a riesgos técnicos, ambientales y operativos, tales como:

- fallas de estabilidad,
- migración no controlada de lixiviados,
- afectación por eventos sísmicos,
- contingencias durante la construcción y operación.

Este criterio integra el análisis de escenarios adversos y la capacidad de cada alternativa para mitigarlos.

6. Criterio social e institucional

Analiza la aceptabilidad social y la viabilidad institucional de cada alternativa, considerando:

- continuidad del servicio de disposición para los municipios usuarios,
- percepción de riesgo por parte de la comunidad,
- facilidad de aprobación por la autoridad ambiental,
- alineación con la planificación regional de residuos sólidos.

3.3 Descripción general de las alternativas evaluadas

Con el fin de facilitar la comprensión del análisis comparativo y contextualizar la posterior matriz multicriterio, a continuación se presenta una descripción general de cada alternativa considerada, incluyendo su alcance, procedimiento constructivo general, así como sus principales ventajas y desventajas.

Alternativa 1 (ALT-1): Culminación del relleno actual, impermeabilización de taludes y habilitación del espacio intermedio

Descripción general

Esta alternativa plantea continuar la operación del relleno sanitario actualmente en funcionamiento hasta alcanzar la geometría final de diseño. Una vez completada dicha etapa, se procede a la impermeabilización de los taludes externos de las dos pirámides existentes: la correspondiente al relleno sanitario clausurado y la del relleno en operación.

Posteriormente, se habilita el volumen comprendido entre ambas pirámides impermeabilizadas para la disposición de residuos sólidos, conformando una nueva sección confinada lateralmente por dos superficies impermeabilizadas independientes.

Procedimiento constructivo general

1. Continuación de la operación del relleno actual hasta alcanzar su geometría final.
2. Clausura técnica del relleno en operación.

3. Impermeabilización del talud del relleno sanitario clausurado.
4. Impermeabilización del talud del relleno sanitario recientemente clausurado.
5. Adecuación del espacio intermedio entre ambas pirámides.
6. Habilitación de la nueva sección para disposición de residuos.

Ventajas

- Mantiene separados hidráulicamente los residuos antiguos y los nuevos.
- Permite un control claro de los sistemas de impermeabilización.
- Reduce la interacción directa entre masas de residuos de diferente edad.
- Secuencia constructiva conceptualmente ordenada.

Desventajas

- Incremento limitado de capacidad, condicionado a la geometría final del relleno actual.
- Requiere dos procesos de impermeabilización independientes.
- Genera una interrupción operativa al requerir la clausura del relleno en operación antes de habilitar la nueva sección.
- Menor eficiencia en el aprovechamiento del volumen disponible dentro del predio.

Alternativa 2 (ALT-2): Impermeabilización del relleno clausurado e integración progresiva mediante recostado de residuos nuevos

Descripción general

Esta alternativa contempla la impermeabilización del talud del relleno sanitario clausurado y la disposición progresiva de residuos nuevos sobre dicho talud impermeabilizado, integrando gradualmente ambos cuerpos de disposición sin reactivar hidráulicamente los residuos antiguos.

La conformación del nuevo relleno se realiza de manera continua y controlada, optimizando el uso del espacio disponible y extendiendo la vida útil del relleno sanitario.

Procedimiento constructivo general

1. Preparación y adecuación del talud del relleno sanitario clausurado.

2. Instalación del sistema de impermeabilización sobre el talud antiguo.
3. Implementación de sistemas de drenaje y control de lixiviados.
4. Disposición progresiva y recostado de residuos nuevos sobre el talud impermeabilizado.
5. Construcción gradual de bermas, terrazas y sistemas de manejo de gases.
6. Seguimiento geotécnico y ambiental durante la operación.

Ventajas

- Maximiza el aprovechamiento del volumen disponible dentro del predio.
- Incrementa significativamente la capacidad y vida útil del relleno sanitario.
- Permite continuidad operativa sin necesidad de clausuras intermedias.
- Reduce la duplicidad de obras de impermeabilización.
- Presenta una secuencia constructiva flexible y adaptable.

Desventajas

- Requiere verificación rigurosa de la estabilidad geotécnica.
- Exige un diseño integrado de los sistemas de drenaje y control ambiental.

Las alternativas presentan enfoques distintos en cuanto a aprovechamiento del espacio, secuencia constructiva y gestión de riesgos. La evaluación multicriterio permitirá identificar la alternativa que ofrece el mejor balance entre estabilidad, protección ambiental, viabilidad operativa y sostenibilidad del servicio de disposición final.

3.4 Matriz multicriterio de evaluación de alternativas

3.4.1 Ponderación de criterios

Criterio	Peso (%)
Técnico – geotécnico	25
Económico	20
Ambiental	20
Operativo	15
Riesgos	10
Social / institucional	10
Total	**100**

3.4.2. Escala de calificación

- **1** = Muy desfavorable
- **2** = Desfavorable
- **3** = Aceptable
- **4** = Favorable
- **5** = Muy favorable

3.4.3. Evaluación comparativa

Criterio Técnico – Geotécnico (25%)

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
ALT-1	**4**	La alternativa presenta condiciones geotécnicas favorables, dado que los análisis de estabilidad realizados en términos de esfuerzos efectivos cumplen con los factores de seguridad exigidos por el RAS (FS ≥ 1.5 en estático y FS ≥ 1.0 en seudoestático). La impermeabilización independiente de los taludes del relleno clausurado y del relleno en operación reduce la interacción hidráulica entre cuerpos. Sin embargo, la habilitación posterior del espacio intermedio introduce una etapa constructiva adicional que requiere controles estrictos de estabilidad durante la transición.
ALT-2	**4**	La alternativa mantiene factores de seguridad adecuados en condiciones estáticas y seudoestáticas, incluso con integración progresiva de residuos sobre el relleno clausurado impermeabilizado. La modelación considera taludes compatibles, bermas intermedias y control de presiones de poros, sin evidenciar mecanismos críticos de falla global o superficial. Aunque existe contacto físico entre cuerpos, la impermeabilización del relleno antiguo garantiza aislamiento hidráulico, por lo cual el desempeño geotécnico es equivalente al de ALT-1.

Criterio Económico (20%)

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
ALT-1	**2**	Esta alternativa implica mayores costos de inversión debido a la necesidad de ejecutar dos etapas diferenciadas de impermeabilización,

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
		realizar obras adicionales de transición y enfrentar periodos de menor eficiencia operativa. Además, la capacidad adicional obtenida es limitada, lo que incrementa el costo unitario por tonelada dispuesta.
ALT-2	**4**	Presenta una mejor relación costo–beneficio, ya que optimiza el uso del predio existente, reduce obras redundantes y maximiza la capacidad final del relleno. La integración progresiva disminuye costos de clausura intermedia y permite una inversión escalonada, acorde con la operación real del sitio.

Criterio Ambiental (20%)

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
ALT-1	**3**	La impermeabilización de ambos taludes mejora el control de lixiviados respecto a la condición actual; sin embargo, la generación de una nueva sección confinada implica múltiples interfaces y mayor complejidad en el manejo hidráulico, incrementando potenciales puntos de riesgo ambiental si no se gestionan adecuadamente.
ALT-2	**4**	La impermeabilización del relleno clausurado reduce de manera significativa el riesgo de infiltración de lixiviados hacia el subsuelo y permite un manejo ambiental más integral. La consolidación del sistema disminuye superficies expuestas, facilita el control de escorrentías y optimiza el manejo de gases y lixiviados.

Criterio Operativo (15%)

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
ALT-1	**2**	La operación se vuelve más compleja debido a la necesidad de cerrar etapas, ejecutar impermeabilizaciones intermedias y posteriormente reabrir áreas para disposición. Esto implica mayores restricciones operativas, interferencias con el tránsito interno y mayores exigencias de control durante la transición.
ALT-2	**4**	Permite una operación continua y progresiva, sin interrupciones mayores. La disposición de residuos se adapta de manera natural a la geometría del relleno existente, facilitando el control diario, la

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
		compactación y el cubrimiento, lo cual reduce riesgos operativos y mejora la eficiencia global del sitio.

Criterio Riesgos (10%)

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
ALT-1	**3**	Presenta riesgos moderados asociados a las etapas constructivas intermedias, especialmente durante la habilitación del espacio entre pirámides, donde pueden presentarse inestabilidades locales o problemas temporales de manejo de lixiviados.
ALT-2	**4**	Reduce riesgos a mediano y largo plazo al consolidar un único sistema impermeabilizado y controlado. La integración progresiva disminuye el riesgo de fallas operativas, ambientales y de saturación prematura de la capacidad disponible.

Criterio Social / Institucional (10%)

Alternativa	Calificación	Justificación técnica
ALT-1	**3**	Garantiza continuidad del servicio en el corto plazo; sin embargo, la capacidad adicional es limitada, lo que podría generar incertidumbre institucional frente a la sostenibilidad del sistema de disposición para los municipios atendidos.
ALT-2	**4**	Asegura mayor vida útil del relleno sanitario, fortaleciendo la confiabilidad del servicio regional para los 9 municipios del sur del Huila. Reduce la probabilidad de crisis por falta de capacidad y evita impactos sociales asociados al transporte de residuos a sitios lejanos.

TABLA RESUMEN DE LA MATRIZ MUTICRITERIO

Criterio	Peso	ALT-1: Culminar – impermeabilizar – habilitar sección intermedia	Puntaje ponderado	ALT-2: Impermeabilizar e integrar progresivamente	Puntaje ponderado
Técnico – geotécnico	0.25	4	1.00	4	1.00
Económico	0.20	2	0.40	4	0.80
Ambiental	0.20	3	0.60	4	0.80
Operativo	0.15	2	0.30	4	0.60
Riesgos	0.10	3	0.30	4	0.40
Social / institucional	0.10	3	0.30	4	0.40
TOTAL	**1.00**		**2.90**		**4.00**

4. CONCLUSIONES

El análisis de proyección poblacional y de generación de residuos sólidos permitió establecer que la celda actualmente en operación ha alcanzado aproximadamente el 50 % de su capacidad en un periodo de apenas 20 meses, evidenciando una tasa de ocupación superior a la prevista inicialmente y confirmando la necesidad urgente de optimizar la capacidad disponible del relleno sanitario.

Se constató que la empresa operadora no dispone de áreas adicionales dentro del predio para la habilitación de nuevas celdas, lo que restringe las alternativas de expansión y obliga a maximizar el aprovechamiento del área ya intervenida, bajo criterios técnicos, ambientales y normativos estrictos.

El relleno sanitario objeto del estudio presta el servicio de disposición final a nueve (9) municipios del sur del departamento del Huila, por lo que cualquier limitación en su capacidad tendría consecuencias de alcance regional, con impactos operativos, ambientales, sociales e institucionales significativos. El sitio de disposición final más cercano se localiza en la ciudad de Neiva, a aproximadamente 175 km de Pitalito, lo que hace inviable esta alternativa desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Los análisis de estabilidad realizados mediante modelación geotécnica en el software SLIDE, en términos de esfuerzos efectivos, cumplieron con los criterios establecidos en el RAS, obteniéndose factores de seguridad mayores a 1.5 en condiciones estáticas y mayores a 1.0 en condiciones seudoestáticas, empleando un coeficiente sísmico definido a partir del valor de PGA correspondiente a la zona de estudio.

La evaluación geotécnica confirmó que, con la geometría propuesta, el uso de bermas intermedias, pendientes controladas y parámetros de resistencia representativos de los materiales, no se identifican mecanismos críticos de falla global ni local, tanto en los residuos como en los jarillones y suelos de soporte.

Se desarrolló un análisis comparativo de alternativas mediante una matriz multicriterio, considerando los criterios técnico–geotécnico, económico, ambiental, operativo, de riesgos y social/institucional, con ponderaciones previamente definidas y justificadas. Este análisis permitió evaluar de manera integral el desempeño de cada alternativa.

La Alternativa 2: Impermeabilizar el relleno sanitario clausurado e integrar progresivamente los nuevos residuos, obtuvo el mayor puntaje global en la matriz multicriterio, destacándose especialmente en los criterios ambiental, económico, operativo y de gestión del riesgo, sin presentar desventajas desde el punto de vista técnico–geotécnico frente a la alternativa comparada.

La impermeabilización del relleno clausurado permite reducir de manera significativa el riesgo de infiltración de lixiviados al subsuelo, mejora el control ambiental del sistema y facilita un manejo integrado de lixiviados y gases, contribuyendo a la sostenibilidad del proyecto a mediano y largo plazo.

Desde el punto de vista operativo, la alternativa seleccionada garantiza la continuidad del servicio sin interrupciones significativas, optimiza los procesos de disposición y reduce la complejidad asociada a cierres y reaperturas de áreas, lo cual se traduce en mayor eficiencia operativa y menores riesgos durante la ejecución.

En términos sociales e institucionales, la alternativa recomendada fortalece la seguridad del sistema regional de disposición final, disminuye la probabilidad de crisis por agotamiento de capacidad y evita impactos asociados al transporte de residuos a largas distancias, contribuyendo a la estabilidad del servicio público de aseo en los municipios atendidos.

Con base en los análisis técnicos, ambientales, económicos y normativos desarrollados, se concluye que la Alternativa 2 constituye la opción más viable, sostenible y técnicamente soportada, por lo cual se recomienda su adopción para el diseño definitivo y posterior ejecución del proyecto.

Elaboró



RAUL EDUARDO SALAS RIAÑO
Ing Civil, Esp. En agua y Saneamiento ambiental