DIVULGACIÓN SIMULTÁNEA

Documento del Banco Interamericano De Desarrollo

**Perú**

**Programa de recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos en zonas prioritarias**

**(PE-L1153)**

**Análisis Socioeconómico**

**Febrero de 2017**

El presente documento fue preparado por Manuela Velásquez y Maria Julia Bocco (INE/WSA).

El presente documento se divulga al público de forma simultánea a su distribución al Directorio Ejecutivo del Banco. El Directorio Ejecutivo podrá aprobar o no el documento o aprobarlo con modificaciones. Si posteriormente fuera objeto de actualizaciones, el documento actualizado se pondrá a disposición del público de acuerdo con la Política de Acceso a Información del Banco.

**INDICE**

1. **Introducción**

## Proyectos Analizados

## Proyectos de Residuos Sólidos

* 1. **Metodología General de Evaluación**
  2. **Antecedentes**
  3. **Descripción de la Situación Actual**
  4. **Descripción de los Proyectos y sus Alternativas**
  5. **Inversiones y Otros Costos**
  6. **Beneficiarios y Beneficios**
  7. **Análisis de Costo-Efectividad**
  8. **Análisis de Sensibilidad**

**APENDICES**

* 1. Flujo de Costos Sociales de las Alternativas

## Introducción

El objetivo general del programa es mejorar las condiciones ambientales en las áreas degradas por residuos sólidos en zonas prioritarias de Perú. Los objetivos específicos son: (i) recuperación de áreas degradadas; (ii) fortalecer la gestión municipal en la disposición final de residuos sólidos municipales; y (iii) mejorar las condiciones laborales de los recicladores informales.

Para el logro de estos objetivos, el programa está estructurado en dos componentes: Componente 1: Infraestructura por un monto total estimado US$31 millones, que financiará la recuperación de las áreas degradadas, e incluye estudios de ingeniería, paralización definitiva del ingreso de residuos, construcción de cierre perimetral, confinamiento y conformación de la masa de residuos, asegurando estabilidad estructural y favoreciendo escorrentías, colocación de cobertura final, manejo y gestión de lixiviados y biogás; y supervisión de ingeniería y obras; y Componente 2: Fortalecimiento de la gestión municipal y social, por un monto total estimado en US$2 millones, que financiará la capacitación, supervisión de manejo ambiental, preparación e implementación de Planes de Inclusión Social (PISo) de los recicladores y actividades de sensibilización comunitaria.

En este documento se presentan los resultados obtenidos de evaluar ex – ante 12 proyectos de clausura y recuperación de las áreas degradadas por residuos sólidos (botaderos). Los 12 proyectos están ubicados en los siguientes municipios: Chancay, Oxapampa, Pozuzo, Huacho, Chincha, Tarma, Abancay, Aymares, Bagua, Andahuaylas, Huamanga y Yauyos. La información técnica y económica de los proyectos fue suministrada por el MINAM y por la firma consultora IDP. Como parte del análisis integral realizado para la selección de alternativas de clausura de áreas degradadas se utilizó la metodología de costo-efectividad. El análisis fue realizado en Excel.

Este Anexo está estructurado de la siguiente manera: en la Sección 2 se describen los proyectos analizados y sus costos; en la Sección 3.1 se presenta la metodología adoptada para la estimación de la efectividad de las intervenciones; la Sección 3.2 y 3.3 describen los antecedentes y la situación actual respectivamente; la Sección 3.4 presenta los beneficiarios y los beneficios considerados; la Sección 3.5 presenta la descripción de los alternativas técnicas consideradas; la Sección 3.6 presenta los costos de inversión y los costos de operación y mantenimiento a precios sociales y de mercado; la Sección 3.7 presenta los resultados del análisis Costo-Efectividad; y por último en la Sección 3.8 se presenta el análisis de sensibilidad.

## Proyectos Analizados

De acuerdo a los objetivos y alcances del programa, se contempla un componente de infraestructura que incluye 12 proyectos de residuos sólidos. Las ciudades consideradas fueron aquellas priorizadas por la Etapa I del Programa Nacional de Inversión en Gestión Integral de Residuos Sólidos, los cuales se presentan en el siguiente Cuadro 1:

Cuadro 1. Proyectos a ser financiados

|  |  |
| --- | --- |
| **Municipio** | **Inversión Total (US$)** |
| Chancay | 900,000 |
| Bagua | 1,200,000 |
| Pozuzo | 210,000 |
| Oxapampa | 950,000 |
| Yauyos | 295,000 |
| Huamanga | 3,025,000 |
| Andahuaylas | 1,400,000 |
| Huacho | 4,100,000 |
| Tarma | 1,100,000 |
| Chincha | 9,500,000 |
| Abancay | 1,200,000 |
| Aymaraes | 250,000 |
| **Total** | **24,130,000** |

El presente programa es un programa de obras específicas, lo que implica que al momento de la preparación se conocen la totalidad de los proyectos que se financiarán con el mismo. Todos los proyectos a ser financiados fueron sujetos a una evaluación de costo-efectividad con el fin de seleccionar la mejor alternativa posible para cada uno de ellos.

## Proyectos de Cierre de Botaderos de Residuos Sólidos

* 1. **Metodología General de Evaluación**

Siguiendo la práctica usual en este tipo de proyectos, en cada uno de los 12 botaderos se realizó un análisis de alternativas con respecto al sellado del área. Para el análisis económico se realizó un análisis costo-efectividad comparando cuánto es el costo de las diferentes alternativas para clausurar los botaderos y de esta forma seleccionar la alternativa más costo-efectiva. El indicador de efectividad utilizado fue el volumen de residuos sólidos clausurados y controlados sanitaria y ambientalmente. Los costos utilizados fueron los costos sociales de inversión, y de operación y mantenimiento. El horizonte de evaluación utilizado es de 10 años.

* 1. **Antecedentes**

Perú es uno de los países con mayor diversidad biológica y mayores recursos minerales del mundo. Cuenta con una población 31,5 millones ubicados en 24 departamentos y la provincia de Callao. Gran parte de la población se ubica en centros urbanos (77%).

El comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) en la última década ha tenido uno de los mayores crecimientos de la región, con una tasa de crecimiento anual promedio de 5,9% y con una inflación promedio de 2,9%[[1]](#footnote-1). El crecimiento económico es explicado en parte por la recuperación de las exportaciones, grandes proyectos de infraestructura, y las actividades extractivas y de servicios[[2]](#footnote-2).

Reformas estructurales han llevado a que el empleo y los ingresos de la población crezcan, resultando en una reducción notable de los índices de pobreza. La pobreza moderada pasó de 43% en el 2004 al 20% en el 2014, mientras que la pobreza extrema pasó del 27% al 9% en estos 10 años[[3]](#footnote-3).

Aunque Perú se caracteriza por tener un gran capital natural, la alta contaminación de las cuencas, la mala disposición de los residuos sólidos, las ciudades sin un desarrollado urbano ordenado generando alta contaminación del aire, la pérdida de los suelos agrícolas por erosión, salinización y pérdida de la fertilidad, la destrucción de al menos 10 millones de hectáreas de bosques y tala ilegal de maderas finas, las 221 especies de la fauna en peligro de extinción, y la pérdida de cultivos nativos y sus variedades ha resultado en un deterioro ambiental y de los recursos naturales[[4]](#footnote-4).

* 1. **Situación Actual**

En Perú la mayoría de provincias y distritos disponen sus residuos sólidos en zonas que no son las adecuadas y que no cuentan con las autorizaciones sanitarias y ambientales requeridas. Actualmente aproximadamente la mitad de los residuos sólidos municipales (RSM) son dispuestos en botaderos (únicamente el 50% de los residuos sólidos municipales se disponen en rellenos sanitarios), generando focos infecciosos de contaminantes, que se convierten en vectores que ponen en riesgo la calidad ambiental y las condiciones de salud de las personas.

Actualmente, los 12 municipios a ser beneficiados con el Programa disponen sus residuos sólidos municipales en botaderos sin ningún control. Estos botaderos tienen entre 5 a 20 años de antigüedad, y siempre han recibido los residuos provenientes de la ciudad, y en algunos casos de otros distritos vecinos. Adicionalmente presentan la siguiente problemática:

* **Quema: se presenta la quema de residuos sólidos en los botaderos en la costa, sierra y selva; sin embargo, en la sierra y selva son esporádicas ya que las bajas temperaturas y altas precipitaciones, respectivamente, no permiten la propagación de la quema.**
* **Disposición final: los residuos se disponen y se dejan al aire libre sin realizarse ningún tipo de cobertura que permitan confinarlos y reducir sus efectos negativos. Los residuos expuestos sufren alteraciones por las condiciones climáticas, principalmente temperatura, precipitación y vientos.**
* **Presencia de lixiviados: principalmente en algunas de las ciudades de selva y sierra, por la presencia de lluvias, los lixiviados pueden escurrir en los alrededores del botadero.**
* **Suelos perjudicados: Toda la superficie de suelo natural se ve deteriorada como consecuencia de las acumulaciones de residuos y de lixiviados.**
* **Control municipal: hay una total ausencia de vigilancia ambiental por parte de las autoridades, desconociendo cómo se ve afectada la calidad del suelo, del agua y del aire.**

**En el siguiente cuadro se presenta la ubicación de los botaderos que serán clausurados, los años de uso del botadero, la presencia de recicladores, la acumulación de residuos, y el volumen de las pozas de lixiviados para cada uno de los botaderos donde se va a intervenir:**

Cuadro 2. Ubicación y características de los botaderos priorizados

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Región** | **Departa-mento** | **Provincia** | **Distrito** | **Botadero / Subproyecto** | **Años de uso** | **Reci-claje** | **Enterra-miento** | **Quema** |
| Costa | Ica | Chincha | Chincha Alta | Chincha | 56 | Sí | No | No |
| Chincha Baja |
| Pueblo Nuevo |
| Grocio Prado |
| Alto Laran |
| Sunampe |
| Tambo de Mora |
| Lima | Huaral | Chancay | Chancay | 9 | Sí | No | Si |
| Huaura | Huacho | Huacho | 38 | Sí | No | Si |
| Selva | Amazonas | Bagua | Bagua | Bagua | 9 | Sí | Si | No |
| La Peca |
| El Parco |
| Copallin |
| Aramango |
| Sierra | Apurimac | Andahuaylas | Andahuaylas | Andahuaylas | 11 | Sí | No | No |
| San Jéronimo |
| Talavera |
| Abancay | Abancay | Abancay | 16 | Sí | No | No |
| Aymaraes | Chalhuanca | Aymaraes | 9 | No | No | No |
| Ayacucho | Huamanga | Ayacucho | Huamanga | 3 | Sí | Si | No |
| San Juan Bautista |
| Jesús Nazareno |
| Carmen Alto |
| Junín | Jauja | Yauyos | Yauyos | 9 | No | Si | No |
| Tarma | Tarma | Tarma | 24 | No | Si | No |
| Pasco | Oxapampa | Pozuzo | Pozuzo | 9 | No | Si | No |
| Oxapampa | Oxapampa | Oxapampa | 9 | No | Si | No |
| Chontabamba |
| Huancabamba |

**En el siguiente mapa se observa la ubicación de estos 12 botaderos, resaltados en azul.**

Figura 1. Mapa de ubicación de los botaderos



Los botaderos ubicados en la Costa (Chincha, Chancay y Huacho) presentan características físicas y biológicas en su mayoría desérticas. Poseen clima cálido y húmedo y la flora es escasa. En la zona norte la poca vegetación está representada por bosques secos, y en la zona centro y sur la vegetación es nula; la presencia de fauna es mínima, y normalmente se encuentran gallinazos, perros, etc. La actividad pluvial es mínima, y normalmente no causa consecuencias negativas, salvo en los episodios del fenómeno del niño. El suelo normalmente está formado por arenas de gran extensión.

En la sierra, los botaderos se caracterizan por zonas alto-andinas con montañas de diferentes tamaños, con presencia de pastos de altura y algunas zonas con presencia de cultivos. Poseen climas fríos o templados y secos. Respecto a la fauna del lugar, normalmente se encuentran: gallinazos, perros, etc. La presencia de lluvias genera láminas de agua pluvial, que escurren por sus pendientes generando pequeños escurrimientos. El suelo normalmente está formado por materiales arcillosos y limosos.

Los botaderos ubicados en la selva se caracterizan por sus extensas áreas con cobertura vegetal. El clima es cálido y húmedo y se observa una flora variada con especies arbustivas y gramíneas. También en el caso de los botaderos de la selva, la presencia de lluvias genera drenajes que al mezclarse con los residuos favorece la generación de lixiviados. El suelo contiene mayormente material arcilloso.

La gestión del manejo de los residuos sólidos en las ciudades integrantes del Programa se realiza en su mayoría por administración directa, siendo las municipalidades las responsables del servicio. El 100% de municipios dispone sus residuos sólidos en botaderos sin control técnico ni administrativo y se presentan inadecuadas prácticas de la población. Lo anterior ha generado un alto grado de contaminación ambiental en las áreas que ocupan los botaderos municipales, así como en las zonas aledañas a estos.

* 1. **Descripción de los proyectos y sus alternativas**

En cada uno de los 12 proyectos priorizados se clausurará el botadero con el fin de recuperar las áreas degradas por la disposición inadecuada de residuos sólidos. Para determinar la mejor alternativa en cada uno de los proyectos se determinó el área degradada, el volumen de lixiviados, la cantidad de residuos actualmente dispuestos (flujo), y los residuos sólidos acumulados en cada botadero (stock). Estos datos son para el año 2016.

Cuadro 3. Descripción de cada botadero

| **Proyecto** | **Área degradada (ha)** | **Residuos sólidos (m3) acumulados** | **Volumen de las pozas de lixiviados (m3)** | **Generación de Residuos Sólidos (ton/año)** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Yauyos | 0.58 | 17,253 | 143 | 1,745 |
| Pozuzo | 0.60 | 8,046 | 10 | 566 |
| Oxapampa | 2.48 | 58,009 | 16.36 | 4,406 |
| Chancay | 4.98 | 193,303 |  | 14,225 |
| Tarma | 4.89 | 261,462 | 974 | 10,968 |
| Bagua - la peca | 3.82 | 138,317 | 347 | 9,497 |
| Huacho | 38.44 | 1,307,618 |  | 54,347 |
| Andahuaylas | 3.25 | 189,173 | 1,581.80 | 17,639 |
| Huamanga | 7.40 | 346,301 | 32 | 81,286 |
| Abancay | 2.18 | 318,555 |  | 23,406 |
| Aymaraes | 0.93 | 6,448 | 10 | 805 |
| Chincha | 108.88 | 2,618,663 |  | 18,923 |

**Si bien cada ciudad tiene soluciones a adaptadas a sus características particulares, cada propuesta de intervención es de carácter integral y sus beneficios directos consisten en recuperar un pasivo ambiental a través de la clausura de los botaderos. Las acciones a realizar en los 12 botaderos comprenden el apropiado uso de coberturas y técnicas de confinamiento para la clausura del botadero, apropiadas técnicas para el almacenamiento y manejo de lixiviados y apropiadas técnicas de captura y evacuación de gases. Para la eficiente gestión municipal en la disposición final se debe tener personal suficientemente capacitado y apropiados sistemas de vigilancia ambiental en el botadero. Para las apropiadas prácticas de la población se realizarán campañas de difusión a la población sobre los riesgos e impactos a la salud y al ambiente de ciertas prácticas de acumulación y desecho de residuos.**

**Las intervenciones plantean el confinamiento de los residuos en el mismo lugar donde se encuentran acumulados, en donde la municipalidad correspondiente se hará cargo de que los residuos se mantengan dentro de los límites de propiedad. Comprenden además trabajos preliminares de obra como campamento y almacén, movilización y desmovilización de equipos y herramientas, cartel de identificación de obra e implementos de seguridad de obra.**

**La cobertura final de cada uno de los botaderos tiene como objetivo evitar que las aguas de precipitación pluvial ingresen a la masa de residuos confinados. Dicha cobertura final estará conformada como mínimo por: i) residuos conformados y compactados; ii) suelo local compactado, que deberá conformarse sobre la capa de residuos; iii) capa de impermeabilización (solo en zonas donde hay lluvias), para lo que se empleara arcilla, geomembrana o bentonita, apoyada sobre la superficie de la primera capa de suelo local; iv) capa drenante (solo en zonas donde hay lluvias), que cumplirá la función de drenar hasta los bordes exteriores del botadero el agua de precipitaciones pluviales que atravesará la capa superior de suelo local (ésta va sobre la capa de impermeabilización); v) suelo local, que incluya vegetación herbácea de crecimiento natural en sierra y selva. Para los casos de costa, por déficit de agua no habrá vegetación; esta será conformada y compactada sobre la superficie final de la capa drenante, o directamente sobre la primera capa de suelo local compactada. Adicionalmente se prevé la construcción de una vía de circulación, con la finalidad de poder acceder a toda la superficie del botadero cerrado y posibilitar trabajos posteriores de seguimiento y mantenimiento.**

**Para la construcción de infraestructura para control de aguas de precipitación pluvial, la superficie final del botadero considerará pendientes para favorecer el rápido escurrimiento de agua de precipitaciones pluviales hacia canales trapezoidales, que llevarán las aguas pluviales fuera del botadero.**

**La habilitación de infraestructura para manejo de lixiviados solo considerará la habilitación de drenes longitudinales que irán por los bordes exteriores y contornos del botadero, haciendo que los lixiviados migren lateralmente de forma natural. Se ha previsto considerar una poza impermeabilizada con geomembrana para el almacenamiento temporal de lixiviados (en los casos donde hay precipitaciones intensas).**

**Para la habilitación de infraestructura para control de gases producidos por la descomposición de los residuos sólidos confinados y sellados se habilitarán estructuras conformadas por drenes verticales rellenadas con piedras de tamaño mediano protegido con geotextil no tejido, una tubería de fierro galvanizado de 2” para la conducción del gas y en el extremo superior un quemador de gases.**

**También se considera la construcción parcial o total de un cerco perimétrico, dependiendo de las condiciones de cada botadero, utilizando postes de madera y alambre de púas. Como medida de prevención, se prevé la construcción de una caseta de vigilancia, dependiendo de las condiciones que se presenten en cada uno de los botaderos.**

**A continuación se presenta un resumen de los principales componentes y las acciones respectivas que se financiarán con el Programa en cada uno de los botaderos.**

Cuadro 4. Acciones específicas para cada uno de los componentes

|  |  |
| --- | --- |
| **Componentes** | **Acciones** |
| (1a) Apropiada técnicas de confinamiento | (1a-1) Obras preliminares  (1a-2) Movimiento de tierras  (1a-3) Sellado del área  (1a-4) Conformación de capa soporte (capa de cobertura - capa vegetal)  (1a-5) Integración paisajística  (1a-6) Construcciones complementarias: canal pluvial, vía de acceso, cerco perimétrico |
| (1b) Apropiado manejo de lixiviados | (1b-1) Construcción de sistema de evacuación y gestión de lixiviados |
| (1c) Apropiado manejo de gases | (1c-1) Construcción de sistema de evacuación y gestión de gases |
| (2a) Personal suficientemente capacitado. | (2a-1) Capacitación en seguridad y salud ocupacional  (2a-2) Elaboración e impresión de manual de seguridad y salud ocupacional para el personal  (2a-3) Capacitación en guías, normas, sanciones y en operación y mantenimiento del botadero  (2a-4) Elaboración e impresión del manual de operación y mantenimiento del botadero  (2a-5) Elaboración de video de instrucción |
| (2b) Apropiado sistema de vigilancia municipal. | (2b-1) Capacitación en seguimiento, control y vigilancia del plan de monitoreo ambiental (monitoreo ambientales de la calidad del aire y suelo) |
| (3a) Suficiente difusión sobre los riesgos e impactos a la salud y al ambiente. | (3a-1) Comunicación grupal  (3a-2) Comunicación mediática  (3a-3) Asistencia Técnica |

**Los diseños de clausura y recuperación ambiental de botaderos son proyectados de tal forma que respeten una serie de criterios mínimos, tales como minimizar el período en que el depósito controlado representará un riesgo significativo para la salud de las personas o el medio ambiente, potenciar el desarrollo de procesos físicos y/o químicos que favorezcan las condiciones de estabilidad, mineralización de la materia orgánica, etc., y evitar que se produzcan situaciones no deseadas en el conjunto del depósito controlado (asentamientos no esperados, reacciones no deseadas en la masa de residuos, etc.). En este sentido, las tendencias actuales están orientadas al empleo de revestimientos geosintéticos como capas de impermeabilización frente a arcillas compactadas, solución más empleada hasta la aparición de geosintéticos de última generación.**

**Sin embargo, existen proyectos en los que, dadas las condiciones de pluviometría, extensión, grado de degradación de la materia orgánica o altura de la columna de residuos, se plantean otras soluciones, como es el caso de cubrir con tierras del entorno con un grosor de capa suficiente que garantice los criterios mínimos de diseño descritos previamente.**

**Basado en lo anterior, se definen diferentes alternativas para el material a utilizar en el sellado del área (Acción 1a-3). Estas son: i) sellado del área con lámina de bentonita (GLC); ii) sellado del área con arcilla compactada (CCL) con una capa de 60 cm de grosor; iii) sellado del área con tierra de la zona con una capa de 90 cm.**

**Los factores críticos que afectan a la selección de una barrera de impermeabilización son el clima, la cantidad de asentamientos diferenciales a los que la capa de cobertura está expuesta, la vulnerabilidad de la capa de cobertura a erosión y punzonamiento, la cantidad de agua percolada a través de la capa de cobertura que puede ser tolerada, la necesidad de recogida del gas generado en el relleno y la inclinación de las pendientes.**

**En el Cuadro No. 5 se hace una comparación de las alternativas analizadas.**

Cuadro 5. Comparación de las alternativas de solución

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Alternativas** | **Lamina de Bentonita** | **Arcilla Compactada** | **Tierra del entorno** |
| **Descripción de la acción** | * Sobre la capa de drenaje de gases se colocará la Bentonita GCL, considerando para ello actividades de anclaje del material. | * Impermeabilización de la base, con una capa de arcilla de 0.60 m de espesor | Sellado del área con tierra de la zona capa de 90 cm |
| **Integridad de la capa por fenómenos meteorológicos** | Problemas de mal funcionamiento en ciclos húmedo-seco. Para un correcto funcionamiento de esta capa, es necesario que este convenientemente hidratada | Problemas de agrietamiento. Poca resistencia a los ciclos húmedo-seco y ciclos de congelación-descongelación. Vulnerable a grietas por desecación | Nula resistencia a los ciclos húmedo-seco y ciclos de congelación-descongelación. Nula capacidad de impermeabilización |
| **Integridad de la capa – factores humanos** | Vulnerable a punzamientos accidentales. Presentan una propiedad denominada Auto sellado. Para que esta propiedad esté asegurada, sobre la GLC es necesario tener una presión superior a 15-20 KN/m2. En estas condiciones, cuando la bentonita se vuelve a humedecer, las grietas que se han podido formar durante la fase de desecación quedan completamente selladas. | Problemas en la integridad de la capa por presencia de elementos no arcillosos que no afecten a las propiedades de la capa (piedras, etc.) | Problemas en la integridad de la capa por presencia de elementos afecten a las propiedades de la capa (piedras, etc.) |
| **Resistencia a esfuerzo cortante** | No afecta a una lámina maciza y homogénea  Bajo en la bentonita en condiciones de hidratación | Rotura por esfuerzos cortantes en pendientes pronunciadas | Nula Cohesión |
| **Resistencia a tracción[[5]](#footnote-5)** | La resistencia a la tracción de las GCLs es muy superior a la de la arcilla compactada ε max =10-15 % | Rotura por elongación debido a asentamientos diferenciales ε max =0,1-3% | Acepta asentamientos diferenciales del terreno |
| **Estabilidad** | Posibles problemas de estabilidad en la lámina en sí. | Estabilidad de las capas | Nula cohesión, alto coeficiente de fricción |
| **Resistencia a otros elementos** | Penetración de raíces | Penetración de raíces | Penetración de raíces |
| No lograrían traspasar el geodren de agua | Galerías por animales (topos) | Galerías por animales (topos) |
| **Instalación** | Colocación más fácil y juntas por superposición y bentonita en polvo. Puede haber deslizamientos | Compactación dificultosa, especialmente en los taludes. | Compactación dificultosa, especialmente en los taludes. |
| **Permeabilidad** | < 10-11 m/s | < 10-9 m/s | < 10-5 m/s |

**Dependiendo de las características particulares de cada botadero se analizaron dos de estas tres alternativas y se dimensionaron técnicamente para poder determinar sus costos. En el siguiente cuadro se presenta en detalle de cuáles fueron las alternativas analizadas para cada uno. Como se observa, sólo en aquellos botaderos ubicados en la Costa fue posible considerar la opción de utilizar el material del entorno, debido a que son zonas muy áridas y se caracterizan por presentar una evapotranspiración media anual hasta 10 veces superior a la precipitación media anual, la cual limita la migración descendente del agua. Por lo anterior, las capas de material que se proponen no tienen función impermeabilizante. Adicionalmente, estos botaderos cumplen con las condiciones para poder aplicar tierra de la zona: i) botaderos en los que la evapotranspiración media anual hasta un 50% superior a la precipitación media anual; ii) botaderos operados en condiciones donde se haya favorecido la degradación aerobia de los residuos (generación de CO2 en sustitución de metano CH4); iii) botaderos en los que la operación no contemple cubrir periódica de los residuos;   
iv) botaderos que no presentan a priori problemas de estabilidad de taludes, al presentar columnas de residuo medias inferiores a los 5 metros.**

Cuadro 6. Alternativas analizadas por botadero

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Botadero** | **Bentonita** | **Arcilla** | **Tierra de la zona** |
| Tarma | X | X |  |
| Chancay | X |  | X |
| Yauyos | X | X |  |
| Oxapampa | X | X |  |
| Pozuzo | X | X |  |
| Huacho | X |  | X |
| Bagua | X | X |  |
| Aymaraes | X | X |  |
| Abancay | X | X |  |
| Andahuaylas | X | X |  |
| Huamanga | X | X |  |
| Chincha | X |  | X |

**En el Anexo 1 se presenta el detalle de las cantidades de los materiales estimadas para cada uno de los botaderos.**

* 1. **Inversiones y Otros Costos**

Los costos de inversión mostrados en los siguientes cuadros incluyen los costos directos de construcción y los costos indirectos, tales como costos de supervisión, capacitación y otros servicios. A los fines de convertir los costos de inversión de precios de mercado a precios sociales, se desagregaron los costos en materiales y equipos nacionales, materiales y equipos importados, mano de obra calificada y mano de obra no calificada. Esta desagregación se presenta en los cuadros a continuación.

Cuadro 7. Costos de inversión a precios de mercado por insumo económico (en US$) – Alternativa con bentonita

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Materiales y equipos de origen nacional** | **Materiales y equipos de origen importado** | **Mano de obra no calificada** | **Mano de obra calificada** | **Costos indirectos (supervisión, capacitación y otros gastos)** | **Total** |
| Tarma | 453,863 | 235,671 | 56,754 | 50,043 | 191,054 | 987,385 |
| Chancay | 342,854 | 392,605 | 45,921 | 27,488 | 336,411 | 1,145,279 |
| Yauyos | 106,442 | 53,556 | 25,919 | 33,328 | 80,913 | 300,159 |
| Oxapampa | 363,765 | 211,762 | 59,009 | 50,663 | 169,944 | 855,143 |
| Pozuzo | 74,371 | 42,410 | 12,751 | 29,319 | 91,622 | 250,474 |
| Huacho | 2,086,060 | 3,053,686 | 292,982 | 217,655 | 1,435,595 | 7,085,978 |
| Bagua | 401,246 | 282,179 | 63,433 | 46,875 | 257,302 | 1,051,035 |
| Aymaraes | 92,961 | 48,095 | 18,268 | 25,927 | 80,248 | 265,499 |
| Abancay | 466,036 | 221,484 | 116,864 | 76,043 | 222,802 | 1,103,229 |
| Andahuaylas | 547,918 | 258,009 | 81,188 | 67,951 | 276,309 | 1,231,374 |
| Huamanga | 1,360,171 | 557,814 | 130,611 | 80,274 | 496,491 | 2,625,362 |
| Chincha | 6,295,069 | 8,920,021 | 804,305 | 607,153 | 3,600,891 | 20,227,438 |

Cuadro 8. Costos de inversión a precios de mercado por insumo económico (en US$) – Alternativa con Arcilla

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Materiales y equipos de origen nacional** | **Materiales y equipos de origen importado** | **Mano de obra no calificada** | **Mano de obra calificada** | **Costos indirectos (supervisión, capacitación y otros gastos)** | **Total** |
| Tarma | 763,470 | 126,468 | 51,357 | 54,722 | 359,736 | 1,355,753 |
| Yauyos | 144,462 | 16,822 | 24,726 | 32,313 | 100,184 | 318,506 |
| Oxapampa | 587,186 | 37,318 | 53,262 | 46,338 | 283,244 | 1,007,348 |
| Pozuzo | 110,732 | 16,983 | 11,888 | 28,796 | 110,199 | 278,598 |
| Bagua | 810,167 | 18,411 | 55,149 | 42,371 | 479,057 | 1,405,154 |
| Aymaraes | 134,493 | 14,254 | 18,736 | 27,229 | 102,684 | 297,395 |
| Abancay | 732,793 | 47,814 | 121,202 | 86,031 | 366,089 | 1,353,930 |
| Andahuaylas | 855,567 | 42,721 | 83,036 | 63,898 | 465,500 | 1,510,722 |
| Huamanga | 2,131,455 | 2,654 | 113,051 | 69,480 | 912,265 | 3,228,905 |

Cuadro 9. Costos de inversión a precios de mercado por insumo económico (en US$) – Alternativa con tierra de la zona

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Materiales y equipos de origen nacional** | **Materiales y equipos de origen importado** | **Mano de obra no calificada** | **Mano de obra calificada** | **Costos indirectos (supervisión, capacitación y otros gastos)** | **Total** |
| Chancay | 289,987 | 1,045 | 42,148 | 14,529 | 453,776 | 801,485 |
| Huacho | 1,095,531 | 842 | 237,115 | 112,065 | 2,076,590 | 3,522,142 |
| Chincha | 2,111,441 | 1,790 | 593,384 | 318,646 | 5,088,835 | 8,114,096 |

Las Razones Precio Cuenta (RPC), también denominados “Factores de Conversión de Precios de Mercado a Precios de Eficiencia”, utilizados para la estimación de los costos económicos[[6]](#footnote-6), se presentan en el Cuadro 10 a continuación.

Cuadro 10. Razones Precio Cuenta – Perú

|  |  |
| --- | --- |
| RPC Materiales y equipos de origen nacional | 0.85 |
| RPC Materiales y equipos de origen externo | 0.82 |
| RPC Mano de obra calificada | 0.93 |
| RPC Mano de obra no calificada - Sierra | 0.60 |
| RPC Mano de obra no calificada - Costa | 0.68 |
| RPC Mano de obra no calificada - Selva | 0.63 |
| RPC Gastos generales/otros gastos | 0.85 |

Tomando en cuenta la composición de costos de cada categoría de gasto, se obtiene que la aplicación de los factores de conversión para eliminar impuestos indirectos (IVA y aranceles) y otras distorsiones en el mercado laboral, hace que a precios de cuenta la inversión total alcance, en promedio, 83% del valor a precios de mercado para la alternativa con bentonita, 84% para la alternativa con arcilla y 84% para la alternativa con tierra de la zona. Dicha información se presenta en los Cuadros 11, 12 y 13.

Cuadro 11. Costos de inversión a precios sociales – Alternativa con bentonita

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Inversión inicial a precios de mercado (US$)** | **Inversión inicial a precios sociales (US$)** | **Relación precios sociales/precios de mercado (%)** |
| Tarma | 987,385 | 819,517 | 0.83 |
| Chancay | 1,145,279 | 953,159 | 0.83 |
| Yauyos | 300,159 | 248,952 | 0.83 |
| Oxapampa | 855,143 | 707,661 | 0.83 |
| Pozuzo | 250,474 | 210,128 | 0.84 |
| Huacho | 7,085,978 | 5,880,659 | 0.83 |
| Bagua | 1,051,035 | 1,009,861 | 0.96 |
| Aymaraes | 265,499 | 221,057 | 0.83 |
| Abancay | 1,103,229 | 905,285 | 0.82 |
| Andahuaylas | 1,231,374 | 1,020,970 | 0.83 |
| Huamanga | 2,625,362 | 2,181,978 | 0.83 |
| Chincha | 20,227,438 | 16,784,876 | 0.83 |

Cuadro 12. Costos de inversión a precios sociales – Alternativa con arcilla

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Inversión inicial a precios de mercado (US$)** | **Inversión inicial a precios sociales (US$)** | **Relación precios sociales/precios de mercado (%)** |
| Tarma | 1,355,753 | 1,136,701 | 0.84 |
| Yauyos | 318,506 | 265,828 | 0.83 |
| Oxapampa | 1,007,348 | 843,011 | 0.84 |
| Pozuzo | 278,598 | 234,904 | 0.84 |
| Bagua | 1,405,154 | 1,181,584 | 0.84 |
| Aymaraes | 297,395 | 249,099 | 0.84 |
| Abancay | 1,353,930 | 1,122,709 | 0.83 |
| Andahuaylas | 1,510,722 | 1,263,446 | 0.84 |
| Huamanga | 3,228,905 | 2,713,756 | 0.84 |

Cuadro 13. Costos de inversión a precios sociales – Alternativa con tierra de la zona

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Inversión inicial a precios de mercado (US$)** | **Inversión inicial a precios sociales (US$)** | **Relación precios sociales/precios de mercado (%)** |
| Chancay | 801,485 | 673,275 | 0.84 |
| Huacho | 3,522,142 | 2,953,928 | 0.84 |
| Chincha | 8,114,096 | 6,801,935 | 0.84 |

El Cuadro 14 presenta información relativa a los costos anuales promedio de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) suministrada por la Consultora IDP para cada proyecto. Estos costos incluyen actividades como seguimiento y control ambiental, plan de contingencia y mantenimiento del área, y transporte de lixiviados (cuando aplique). La variación de los costos de AOM entre las alternativas se debe a la diferencia en la frecuencia y dedicación que implica el mantenimiento de cada uno de los materiales propuestos, debido a que la capa puede variar dependiendo del grado de permeabilidad del material, el sellado de grietas, erosiones, entre otros.

Cuadro 14. Costos de Administración, Operación y Mantenimiento (US$)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Costos de O&M a Precios de Mercado** | | |
| **Alternativa con Bentonita** | **Alternativa con Arcilla** | **Alternativa con Tierra de la Zona** |
| Tarma | 15,610 | 15,408 |  |
| Chancay | 12,406 |  | 14,488 |
| Yauyos | 10,650 | 12,874 |  |
| Oxapampa | 15,777 | 19,446 |  |
| Pozuzo | 15,001 | 15,570 |  |
| Huacho | 25,502 |  | 37,098 |
| Bagua | 13,764 | 16,334 |  |
| Aymaraes | 15,403 | 16,232 |  |
| Abancay | 19,203 | 28,754 |  |
| Andahuaylas | 19,030 | 21,869 |  |
| Huamanga | 19,958 | 25,046 |  |
| Chincha | 52,569 |  | 73,796 |

Los costos AOM representan entre un 0.4% y un 6% de los costos de inversión. Los valores más elevados se registran en los proyectos de Pozuzo y Aymaraes. Estos costos fueron expresados a precios sociales utilizando el factor de conversión estándar.

Los Cuadros 15 al 17 presentan el valor presente de los costos de inversión y de AOM para cada proyecto y cada alternativa aplicando una tasa de descuento del 12%.

Cuadro 15. Valor presente de los costos totales a precios sociales – Alternativa con Bentonita

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Valor presente de la inversión (US$)** | **Valor presente de los costos de AOM (US$)** | **Valor presente de los costos totales (US$)** |
| Tarma | $819,517 | $75,587 | $895,104 |
| Chancay | $953,159 | $59,240 | $1,012,400 |
| Yauyos | $248,952 | $50,850 | $299,803 |
| Oxapampa | $707,661 | $75,872 | $783,533 |
| Pozuzo | $210,128 | $71,919 | $282,047 |
| Huacho | $5,880,659 | $122,405 | $6,003,065 |
| Bagua | $1,009,861 | $66,224 | $1,076,085 |
| Aymaraes | $221,057 | $73,809 | $294,866 |
| Abancay | $905,285 | $93,004 | $998,289 |
| Andahuaylas | $1,020,970 | $91,882 | $1,112,852 |
| Huamanga | $2,181,978 | $96,600 | $2,278,578 |
| Chincha | $16,784,876 | $258,207 | $17,043,083 |

Cuadro 16. Valor presente de los costos totales a precios sociales – Alternativa con Arcilla

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Valor presente de la inversión (US$)** | **Valor presente de los costos de AOM (US$)** | **Valor presente de los costos totales (US$)** |
| Tarma | $1,136,701 | $74,166 | $1,210,867 |
| Yauyos | $265,828 | $61,990 | $327,818 |
| Oxapampa | $843,011 | $94,469 | $937,480 |
| Pozuzo | $234,904 | $74,899 | $309,803 |
| Bagua | $1,181,584 | $79,369 | $1,260,953 |
| Aymaraes | $249,099 | $78,027 | $327,126 |
| Abancay | $1,122,709 | $140,984 | $1,263,694 |
| Andahuaylas | $1,263,446 | $106,331 | $1,369,777 |
| Huamanga | $2,713,756 | $122,422 | $2,836,179 |

Cuadro 17. Valor presente de los costos totales a precios sociales – Alternativa con Tierra de la Zona

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Valor presente de la inversión (US$)** | **Valor presente de los costos de AOM (US$)** | **Valor presente de los costos totales (US$)** |
| Chancay | $673,275 | $69,213 | $742,488 |
| Huacho | $2,953,928 | $177,927 | $3,131,855 |
| Chincha | $6,801,935 | $359,850 | $7,161,785 |

* 1. **Beneficiarios y Beneficios**

Los beneficiarios del proyecto son todos los hogares que habitan en los municipios donde están ubicados los doce botaderos debido a que su cierre recuperará las áreas degradadas, mejorando las condiciones ambientales de las zonas de intervención, reduciendo el riesgo de contaminación, erradicación de vectores, roedores y animales. La población total es de 925,000 personas.

En el Cuadro 18 se presenta la población beneficiada. Las tasas de crecimiento utilizadas fueron basadas en el Censo XI de Población y VI de Vivienda, desarrollado por el Instituto Nacional de Informática (INEI) en el año 2007. Las diferencias en las tasas de crecimiento corresponden a las dinámicas poblacionales de cada uno de los municipios.

Cuadro 18. Población beneficiada

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Tasa de Crecimiento** | **2017** | **2020** | **2024** |
| Yauyos | 1.3% | 10,053 | 10,439 | 10,955 |
| Pozuzo | 3.8% | 2,325 | 2,597 | 3,009 |
| Oxapampa | 3.6% | 15,707 | 17,448 | 20,125 |
| Chancay | 3.0% | 67,436 | 73,798 | 83,214 |
| Tarma | 0.5% | 45,211 | 45,842 | 46,698 |
| Bagua | 1.6% | 38,019 | 39,865 | 42,451 |
| Huacho | 1.4% | 176,338 | 184,070 | 194,407 |
| Andahuaylas | 4.3% | 69,923 | 79,373 | 93,780 |
| Huamanga | 3.2% | 233,202 | 256,488 | 290,520 |
| Abancay | 3.3% | 63,459 | 69,952 | 79,654 |
| Aymaraes | 0.4% | 3,788 | 3,833 | 3,894 |
| Chincha | 1.8% | 199,038 | 209,995 | 225,547 |
| **Total** | | **924,499** | **993,700** | **1,094,254** |

Los beneficios económicos de proyectos se pueden medir a través de la cuantificación de su valor de mercado producto de las transacciones del bien o el servicio que genere el proyecto. En caso de no tener un mercado, como el caso de este proyecto específico, se utiliza la metodología de valuación contingente, a través de la medición de la máxima disposición a pagar. Sin embargo, en el caso de cierre de botaderos, es muy difícil que los hogares internalicen los beneficios de este proyecto, debido a que son poblaciones que están alejadas de los botaderos y no perciben en su día a día los impactos positivos que se generan, y por lo tanto la metodología de valuación contingente no se podría aplicar.

Los beneficios ambientales identificados que no es posible valorarlos, pero que resultan de la intervención del proyecto son: i) reducción de emisión de contaminantes gaseosos en la atmosfera; ii) preservación de la calidad del suelo, que dejará de ser impactado por los lixiviados y arrojo de residuos sólidos; iii) reducción del impacto visual negativo por presencia del botadero a cielo abierto, que deteriora el paisaje; iv) disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero; v) disminución significativa de la emanación de olores desagradables; vi) disminución de la generación de humo por la quema de los residuos. Adicionalmente, se identificaron beneficios socioeconómicos tales como: i) generación de empleos temporales durante la ejecución de las obras; ii) eliminación de residuos dispersos en la vía de acceso al botadero y en terrenos aledaños;   
iii) disminución de las enfermedades asociadas a la basura tales como enfermedades diarreicas, parasitarias y respiratorias; y iv) valorización del uso del suelo para programas de recuperación paisajística y recreación como parques y campos deportivos.

Por las razones mencionadas, los beneficios de este proyecto no se pueden valorar, por lo cual se ha realizado una evaluación costo-efectividad. Se cuantificaron las metas del proyecto, se hizo una comparación de alternativas (que generan el mismo beneficio) y se seleccionó la alternativa con menor indicador de costo-efectividad como se describe en esta sección. El indicador de efectividad utilizado fue el volumen de residuos sólidos clausurados y controlados sanitaria y ambientalmente, debido a que el beneficio directo cuantificable del proyecto es la recuperación del área degradada por los botaderos. Para evaluar la magnitud de degradación del área fue necesario considerar las particularidades del área degradada desde el inicio de la acción degradante (apertura del botadero) hasta la ejecución de los trabajos de recuperación ambiental del área degradada (clausura del botadero y remediación ambiental). Para ello, además de evaluar la cantidad de residuos actualmente dispuestos en el botadero, fue necesario estimar el volumen de residuos que serán depositados desde la fecha actual hasta el final de las obras de ejecución del nuevo relleno sanitario y por lo tanto se cierre el botadero.

El Cuadro 19 resume los parámetros y supuestos básicos asociados a la determinación de la efectividad de cada proyecto evaluado. La generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios está determinada por la actividad económica de los hogares y del municipio, y del tamaño de la población. Para su cálculo se levantaron encuestas en cada uno de los municipios y se siguió la metodología definida por el MINAM “Manual para implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios”, en la cual se hace un seguimiento específico a una muestra de hogares sobre los residuos que generan. Estos residuos son categorizados, analizados y pesados por un tiempo determinado (aproximadamente 8 días) para determinar cuánto es la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios. Para el cálculo de los residuos sólidos no domiciliarios se identificaron los establecimientos comerciales (mercados, farmacias, restaurantes, hoteles, instituciones educativas, instituciones públicas) y se determinó el tamaño de la muestra en cada uno de los municipios. Se levantaron encuestas a una muestra de estos establecimientos, se hizo un seguimiento a los residuos que generaban y se determinó la cantidad de residuos sólidos no domiciliarios por municipio[[7]](#footnote-7).

Como se mencionó, para el cálculo del volumen se evaluaron los residuos que actualmente están dispuestos en el botadero y se estimaron los residuos que serán dispuestos hasta la entrada de los rellenos sanitarios y por lo tanto la clausura del botadero. Para esta estimación se utilizó la tasa de crecimiento de generación de residuos la cual fue estimada por los expedientes técnicos de los rellenos sanitarios. Siguiendo el Método Sencillo del Análisis de Residuos Sólidos (Kunitoshi Sakurai, CEPIS/OPS-OMS), la densidad asumida para los residuos dispuestos en el botadero es de 900 kg/m3 para residuos dispuesto con antigüedad igual o mayor a dos años y 600 kg/m3 para residuos sueltos descargados en el botadero[[8]](#footnote-8).

Cuadro 19. Parámetros para el cálculo de la efectividad

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Proyecto** | **Generación Per Capita Domiciliaria (kg/hab/día) = A** | **Residuos Sólidos Domiciliarios (ton/día)**  **= A\*Pob/1000 = B** | **Residuos Sólidos No Domiciliarios (ton/día) = C** | **Residuos Sólidos Municipales (ton/día)**  **= B + C** | **Tasa de Crecimiento Promedio Anual de Generación de RSM** | **Volumen (m3) al cierre del botadero** |
| Yauyos | 0.42 | 4.25 | 0.53 | 4.79 | 2.2% | 18,060 |
| Pozuzo | 0.50 | 1.17 | 0.38 | 1.55 | 4.5% | 8,438 |
| Oxapampa | 0.57 | 9.00 | 3.07 | 12.07 | 4.6% | 61,068 |
| Chancay | 0.47 | 31.90 | 7.08 | 38.98 | 3.9% | 203,181 |
| Tarma | 0.57 | 25.86 | 4.19 | 30.05 | 1.2% | 272,633 |
| Bagua | 0.55 | 21.06 | 4.96 | 26.02 | 2.5% | 154,145 |
| Huacho | 0.46 | 80.94 | 67.93 | 148.87 | 2.0% | 1,390,648 |
| Andahuaylas | 0.57 | 39.86 | 8.31 | 48.17 | 5.3% | 202,238 |
| Huamanga | 0.72 | 167.44 | 55.24 | 222.68 | 4.0% | 361,353 |
| Abancay | 0.60 | 37.82 | 26.30 | 64.12 | 3.9% | 335,892 |
| Aymaraes | 0.50 | 1.90 | 0.31 | 2.21 | 1.3% | 7,678 |
| Chincha | 0.19 | 38.20 | 13.67 | 51.87 | 2.6% | 2,699,445 |

Los supuestos involucrados en el cálculo de los beneficios de los proyectos fueron:

* El horizonte de evaluación es de 10 años.
* La unidad monetaria utilizada es dólares norteamericanos. Se utilizó una tasa de cambio de 3.35 soles por dólares.
* Las tasas anuales de crecimiento fueron las utilizadas para la proyección de la población al 2050 por el Censo XI de Población y VI de Vivienda, desarrollado por el Instituto Nacional de Informática (INEI) en el año 2007.
* Las tasas anuales de crecimiento de generación de residuos sólidos utilizadas fueron las estimadas en los expedientes técnicos de los rellenos sanitarios.
* La tasa de descuento es de 12% para establecer los valores presentes de los flujos.
  1. **Análisis Costo-Efectividad**

Para el análisis costo – efectividad se utilizaron los costos totales de cada una de las alternativas por proyecto utilizando una tasa de descuento del 12% y el volumen de los residuos sólidos de los botaderos. Los resultados de las evaluaciones de los 12 proyectos de clausura de botaderos se presentan en el siguiente Cuadro. Como se puede observar, para los proyectos en la Costa (Chancay, Huacho y Chincha) la alternativa con menor indicador de costo-efectividad es el uso de tierra de la zona para el sellado de los botaderos. Para el resto de botaderos, la alternativa con menor indicador de costo-efectividad es la de bentonita. La diferencia porcentual entre el costo efectividad de las alternativas varía entre un 9% y un 138%.

Cuadro 20. Resultados de Costo-Efectividad

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Municipio** | **Indicador de Eficacia Volumen de residuos sólidos clausurados (ton)** | **VP de los costos a precios sociales (US$)** | | | **Análisis Costo Efectividad (US$/ton)** | | |
| **Bentonita** | **Arcilla** | **Tierra de la Zona** | **Bentonita** | **Arcilla** | **Tierra de la Zona** |
| Yauyos | 18,060 | $299,803 | $327,818 |  | 16.60 | 18.15 |  |
| Pozuzo | 8,439 | $282,047 | $309,803 |  | 33.42 | 36.71 |  |
| Oxapampa | 61,069 | $783,533 | $937,480 |  | 12.83 | 15.35 |  |
| Chancay | 203,182 | $1,012,400 |  | $742,488 | 4.98 |  | 3.65 |
| Tarma | 272,634 | $895,104 | $1,210,867 |  | 3.28 | 4.44 |  |
| Bagua | 154,146 | $1,076,085 | $1,260,953 |  | 6.98 | 8.18 |  |
| Huacho | 1,390,648 | $6,003,065 |  | $3,131,855 | 4.32 |  | 2.25 |
| Andahuaylas | 202,239 | $1,112,852 | $1,369,777 |  | 5.50 | 6.77 |  |
| Huamanga | 361,354 | $2,278,578 | $2,836,179 |  | 6.31 | 7.85 |  |
| Abancay | 335,893 | $998,289 | $1,263,694 |  | 2.97 | 3.76 |  |
| Aymaraes | 7,678 | $294,866 | $327,126 |  | 38.40 | 42.60 |  |
| Chincha | 2,699,446 | $17,043,083 |  | $7,161,785 | 6.31 |  | 2.65 |

* 1. **Análisis de Sensibilidad**

Dadas las incertidumbres existentes sobre algunos de los supuestos y parámetros del análisis se presenta en esta sección un análisis de sensibilidad de los resultados del costo-efectividad. Primero se analizaron las diferencias porcentuales del indicador de efectividad de las diferentes alternativas, como se muestra en el siguiente cuadro. Se observa que las mayores diferencias se presentan en aquellos botaderos que tienen como alternativa el uso de tierra de la zona (Chincha, Huacho y Chancay). Por ejemplo, en Chincha el indicador de efectividad para la alternativa con bentonita es 138% mayor que el de tierra de la zona. La diferencia porcentual entre alternativas es el indicador que se ha utilizado para realizar el análisis de sensibilidad, dado que nos permite observar bajo qué parámetros esta diferencia se reduce o se vuelve negativa. Si al variar algunos parámetros esta diferencia se vuelve negativa esto significa que la alternativa con arcilla o es más costo efectiva que la bentonita, y para los botaderos de la Costa significa que la alternativa con bentonita sería la más costo-efectiva.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cuadro 21. Diferencia en el indicador de costo efectividad entre alternativas   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | **Municipio** | **Análisis Costo Efectividad (US$/m3)** | | | **Diferencia entre alternativas** | | **Bentonita** | **Arcilla** | **Tierra de la Zona** | | Yauyos | 16.60 | 18.15 |  | 9% | | Pozuzo | 33.42 | 36.71 |  | 10% | | Oxapampa | 12.83 | 15.35 |  | 20% | | Chancay | 4.98 |  | 3.65 | 36% | | Tarma | 3.28 | 4.44 |  | 35% | | Bagua | 6.98 | 8.18 |  | 17% | | Huacho | 4.32 |  | 2.25 | 92% | | Andahuaylas | 5.50 | 6.77 |  | 23% | | Huamanga | 6.31 | 7.85 |  | 24% | | Abancay | 2.97 | 3.76 |  | 27% | | Aymaraes | 38.40 | 42.60 |  | 11% | | Chincha | 6.31 |  | 2.65 | 138% | | Gráfica 1. Diferencia entre alternativas |

Se realizó un análisis de sensibilidad a los costos de inversión. Como se mencionó, la alternativa más costo-efectiva para los proyectos en la Costa es la tierra de la zona y para todos los demás proyectos es la que utiliza la bentonita para el sellado del botadero. Por lo tanto, se realizaron diferentes escenarios de incremento de estos costos de inversión (la variación de estos costos corresponde en su mayoría a variación en los precios de los insumos, dado que la mano de obra varía de manera similar entre alternativas) para calcular cuánto tiene que aumentar la bentonita (o la tierra de la zona) para que deje de ser la alternativa escogida. En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la diferencia entre las dos alternativas para cada botadero. Ante incrementos del 20%, en los botaderos de Yauyos, Pozuzo, Bagua y Aymaraes la alternativa más costo-efectiva sería la arcilla. Ante un incremento del 30% en los costos de inversión de la bentonita, en 7 botaderos se cambiaría la alternativa por arcilla (Yauyos, Pozuzo, Oxapampa, Bagua, Andahuaylas, Huamanga y Aymaraes). En todos los botaderos que no son de la costa la alternativa de la bentonita dejaría de ser la más costo-efectiva bajo el escenario que los costos de inversión de la bentonita se incrementen en un 50%. Para que en Chincha la alternativa seleccionada cambie (es decir, pase de bentonita a tierra de la zona), lo costos de inversión de la bentonita se tienen que incrementar en 160%.

Gráfica 2. Diferencia entre alternativas ante cambios en los costos de inversión de la bentonita

Nueve de los 12 botaderos tienen a la arcilla como material alternativo a la bentonita. Si los costos de inversión de la arcilla disminuyen un 20%, en 5 de estos botaderos (Yauyos, Pozuzo, Oxapampa, Bagua y Aymaraes) la arcilla pasa a ser la alternativa más costo-efectiva para el sellado del botadero. Esta cifra aumenta a 8 botaderos cuando la reducción es del 25% (todos excepto en Tarma). En s los 9 botaderos, la alternativa seleccionada sería la arcilla si sus costos de inversión se reducen en un 35%. De manera similar, en el caso de aquellos botaderos donde se analizaron como alternativas la bentonita y la tierra de la zona (Chancay, Huacho y Chincha), ante una disminución del 30% de los costos de inversión de la bentonita, sólo en Chancay esta opción pasa a ser la más costo-efectiva. Ante una disminución del 50%, en Huacho se presentaría este mismo fenómeno. Finalmente, los costos de inversión de tierra de la zona deberían disminuir un 59% para que en Chincha la tierra de la zona deje de ser la alternativa más costo-efectiva.

Los resultados son menos sensibles ante cambios en los costos de operación y mantenimiento. Ante un incremento del 100% en los costos de O&M de la bentonita, sólo en 3 de los 9 botaderos (Yauyos, Pozuzo y Aymaraes) la alternativa cambiaría. En estos botaderos, los costos de O&M representan más del 17% de los costos totales. Ante un incremento del 600%, en todos aquellos botaderos donde se contempla como alternativa la arcilla, esta opción pasaría a ser la más costo-efectiva. Los resultados ante cambios en la O&M de la arcilla, son aún menos sensibles. Sólo en aquellos botaderos donde estos costos representan más del 17% de los costos totales (Yauyos, Pozuzo y Aymaraes), la arcilla resulta ser la alternativa más costo efectiva si sus costos de O&M se reducen en un 50%. Para el caso de los botaderos que tienen entre sus alternativas el uso de la tierra de la zona para el sellado, los resultados no varían, incluso si los costos de O&M de la bentonita bajan a 0. Lo anterior es debido a que estos representan máximo un 6% de los costos totales.

Por último, no se tuvo en cuenta en este análisis escenarios con eventos climáticos extremos, debido a que para el diseño de las obras de clausura se ha tenido en consideración la posible evolución del clima en años venideros, de tal manera que las infraestructuras proyectadas puedan hacer frente a eventos extremos asociados al cambio climático. El dimensionado de la red de drenaje externa de aguas pluviales se calcula para un periodo de retorno de 50 años, el caudal máximo de avenida de los canales y cunetas. Para la masa de residuos, se ha considerado una vida útil de 10 años para todas las infraestructuras y para el diseño de las cunetas del botadero se ha empleado un periodo de retorno de las lluvias de 25 años, siendo este periodo similar o incluso superior al característico para zonas urbanas con una población de más de 1 millón de habitantes y también de obras de drenaje superficial en los márgenes y plataforma de carreteras.

**Anexo 1. Cantidades estimadas para cada una de las alternativas analizadas por botadero**

La utilización de dos materiales distintos, suponen recursos y cantidades diferentes a utilizar dentro de la acción de Sellado del área para cada alternativa planteada, por lo que se tendrán las cantidades propuestas en las siguientes tablas. La cantidad de recursos a utilizar (servicios, mano de obra calificada, mano de obra no calificada, bienes nacionales, bienes importados y combustible) para cada una de las alternativas son las mismas, dado que dichas alternativas únicamente se diferencian en el material.

**Yauyos**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 4,002.58 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 4,519.64 |
| Suministro y colocación de geotextiles | m2 | 301.97 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 367.37 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 367.37 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 738.44 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 4,002.58 |
| Compactación del terreno con arcilla impermeabilizante | m3 | 2,401.55 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 738.44 |

**Pozuzo**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 3,022.89 |
| Conformación de capa de regulación (10 cm) | m3 | 382.64 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 3,276.44 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 322.18 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 322.18 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 594.63 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 3,022.89 |
| Conformación de capa de regulación (10 cm) | m3 | 382.64 |
| Compactación del terreno con arcilla impermeabilizante | m3 | 2,295.87 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 594.63 |
| Provisión e instalación tubería d=6" perforada | m | 119.97 |

**Oxapampa**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 19,947.81 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 2,470.00 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 21,392.47 |
| Suministro y colocación de geotextiles | m2 | 1,526.98 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 2,191.81 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 2,191.81 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 3,802.32 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 19,948 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 2,470 |
| Compactación del terreno con arcilla impermeabilizante | m3 | 14,106 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 3,802 |

**Chancay**

Alternativa I: Tierra de la Zona y Alternativa II: Capa de Bentonita

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 48,052.70 |
| Conformación de capa de regularización (90 cm) | m3 | 52,838.10 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 48,052.70 |
| Suministro e instalación de geotextil con Bentonita | m2 | 50,455.34 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 9,276.02 |
| Conformación fe Capa de Cobertura E=0.50 m | m3 | 29,354.50 |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 48,052.70 |

**Tarma**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unid** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 25,740.46 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 3,258.29 |
| Conformación de capa de drenaje de gases | m3 | 5,254.30 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 26,457.91 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 68.80 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 68.80 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 5,239.30 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unid** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 25,740.46 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 3,258.29 |
| Conformación de capa de drenaje de gases | m3 | 5,254.30 |
| Transporte de arcilla | m3 | 19,549.72 |
| Compactación del terreno con arcilla impermeabilizante | m3 | 19,549.72 |
| Suministro y colocación de geotextiles | m2 | 17,493.32 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 5,239.30 |

**Bagua**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 22,363.60 |
| Conformación de capa de regularización | m3 | 5,047.89 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 22,378.60 |
| Suministro y colocación de geotextiles | m2 | 8,081.79 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 98.39 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 98.39 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 3,635.69 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 22,363.60 |
| Conformación de capa de regularización | m3 | 5,047.89 |
| Suministro y instalación de arcilla | m3 | 16,772.70 |
| Suministro y colocación de geotextiles | m2 | 8,081.79 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 3,635.69 |

**Huacho**

Alternativa I: Tierras de la Zona y Alternativa II: Capa de Bentonita

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 374,648.70 |
| Conformación de capa de clausura (90 cm) | m3 | 451,903.20 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 374,648.70 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 393,381.11 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 79,334.12 |
| Conformación de capa de clausura (50 cm) | m3 | 251,057.33 |

**Andahuaylas**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 26,259.51 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 3,323.99 |
| Conformación de capa de drenaje de gases | m3 | 3,441.36 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 27,741.42 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 1,364.69 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 1,364.69 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 4,818.41 |
| Suministro y colocación de geotextiles de refuerzo | m2 | 3,648.56 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 26,259.51 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 3,323.99 |
| Conformación de capa de drenaje de gases | m3 | 3,441.36 |
| Transporte de arcilla | m3 | 18,982.78 |
| Conformación de capa de arcilla | m3 | 18,982.78 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 4,818.41 |
| Suministro y colocación de geotextiles de refuerzo | m2 | 3,648.56 |

**Huamanga**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 81,148.90 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 10,272.01 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 71,536.50 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 614.76 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 614.76 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 13,992.14 |
| Conformación de capa de drenaje de gases | m3 | 14,119.21 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 81,148.90 |
| Conformación de capa de regularización (10 cm) | m3 | 10,272.01 |
| Compactación del terreno con arcilla impermeabilizante | m3 | 48,689.34 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 13,992.14 |
| Conformación de capa de drenaje de gases | m3 | 14,119.21 |

**Abancay**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 22,363.60 |
| Conformación de capa de regularización | m3 | 5,047.89 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 22,378.60 |
| Suministro y colocación de geotextiles | m2 | 8,081.79 |
| Excavación de zanjas para anclaje | m3 | 98.39 |
| Relleno con material propio en dado de anclaje | m3 | 98.39 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 3,635.69 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 22,363.60 |
| Conformación de capa de regularización | m3 | 5,047.89 |
| Suministro y instalación de arcilla | m3 | 16,772.70 |
| Suministro y colocación de geotextiles | m2 | 8,081.79 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 3,635.69 |

**Aymaraes**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 4,250.35 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 4,360.70 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 796.76 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 4,250.35 |
| Compactación del terreno con arcilla impermeabilizante | m3 | 2,616.42 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 796.76 |

**Chincha**

Alternativa I: Bentonita y Alternativa II: Capa de arcilla de 0.60 cm

**Sellado del Área – Alternativa I**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 1,094,456 |
| Conformación de capa de clausura (90 cm) | m3 | 1,209,377 |

**Sellado del Área – Alternativa II**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Descripción** | **Unidad** | **Cantidad** |
| Refine y nivelación en terreno normal y talud | m2 | 1,094,456 |
| Suministro e instalación de geotextil con bentonita | m2 | 1,149,179 |
| Conformación de capa de drenaje de aguas infiltrada | m3 | 277,077 |
| Conformación de capa de clausura (50 cm) | m3 | 671,876 |

1. <http://www.bancomundial.org/es/country/peru/overview> [↑](#footnote-ref-1)
2. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1359/cap01.pdf> [↑](#footnote-ref-2)
3. <http://www.bancomundial.org/es/country/peru/overview> [↑](#footnote-ref-3)
4. Factibilidad del Programa, MINAM, 2016 [↑](#footnote-ref-4)
5. Simon and Muller. Standard and alternative landfill capping design in Germany. Environmental Science & Policy. Volume 7, Issue 4, August 2004, Pages 277–290 [↑](#footnote-ref-5)
6. La información de las Razones Precio Cuenta se obtuvo siguiendo la metodología del Ministerio de Economía y Finanzas, Los factores para materiales, equipos y gastos generales surgen de descontar el Impuesto al Valor Agregado (IVA) del 18% y la tasa ad valorem del 12% para el caso de materiales y equipos importados. [↑](#footnote-ref-6)
7. Para cada uno de los proyectos se elaboró un Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos, donde se detalla la metodología implementada y los resultados encontrados para los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios. Estos estudios se pueden encontrar [aquí](https://www.dropbox.com/sh/ucebmqq602t8ccw/AACsRayTsdc6QVuC6qm6GIfya?dl=0). [↑](#footnote-ref-7)
8. En aquellos botaderos donde la municipalidad no realiza actividades de compactación de los residuos se asume una densidad de 600 kg/m3 dado que son residuos sueltos descargados en el botadero. [↑](#footnote-ref-8)