

# “MINIMIZACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS”

**Autores: Gladys Monge Talavera, Álvaro Cantanhede Gonçalves, María Luisa Esparza et al.**

Gladys Monge Talavera

Alvaro Cantanhede Gonçalves

María Luisa Esparza

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)

Casilla Postal 4337, Lima 100, Perú

Los Pinos 259, Urbanización Camacho

Lima 12, Perú

Teléfono: (51-1) 437-1077, Fax (51-1) 437-8289

Correo electrónico: [gmonge@cepis.org.pe](mailto:gmonge@cepis.org.pe)

[acantanh@cepis.org.pe](mailto:acantanh@cepis.org.pe)

[mesparza@cepis.org.pe](mailto:mesparza@cepis.org.pe)

**PALABRAS CLAVE:**

**Rellenos de seguridad, revestimientos, arcilla,  
reciclaje**

# “MINIMIZACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS”

## RESUMEN

El proceso de blanqueo en la refinación de aceites y grasas se efectúa mediante la utilización de arcillas activadas, las que eliminan gran parte de los colorantes orgánicos e impurezas. Como resultado de este proceso se genera, en América Latina, más de 24.000 t/año de residuos sólidos consistentes en arcillas activadas usadas. La presente investigación evaluó la utilización de dichos residuos como material impermeabilizante en un relleno de seguridad después de someter la arcilla usada a un pretratamiento para su estabilización. Los resultados mostraron la factibilidad de su aplicación como material impermeabilizante con el beneficio adicional de que la arcilla, por ser un intercambiador iónico natural y por conservar parte de su actividad, es capaz de retener sustancias altamente contaminantes tales como los metales pesados, entre otros. Debido a los resultados satisfactorios obtenidos en la etapa de investigación, se ha planteado llevar a cabo la siguiente etapa del proyecto, consistente en la construcción de un relleno de seguridad demostrativo para la recepción de residuos peligrosos. Para esto la ONG Alternativa, la empresa Arcillas Activadas Andinas S.A., la Municipalidad de Lima, la empresa RELIMA y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) están uniendo esfuerzos en la búsqueda de alternativas de financiamiento.

**Palabras clave:** rellenos de seguridad, revestimientos, arcilla, reciclaje

## INTRODUCCIÓN

El método usado para la disposición final de residuos peligrosos es el relleno de seguridad, que permite el confinamiento seguro de los residuos sobre un suelo impermeable. Este método emplea revestimientos sintéticos como las geomembranas, de alto costo e instalación compleja, que inciden en el costo total del relleno.

Como una alternativa, el CEPIS propone en la Guía para el Diseño de Rellenos de Seguridad para América Latina, el uso intensivo de arcillas, por su menor costo y disponibilidad en los países de la Región. Por ello, se propone el aprovechamiento de las arcillas (desecho peligroso por su inflamabilidad), que una vez tratadas (material estabilizado), pueden ser utilizadas como material impermeabilizante en un relleno de seguridad. Esta práctica concuerda con la estrategia del CEPIS de incentivar la minimización de residuos mediante su reuso como materia prima en otros procesos industriales.

## JUSTIFICACIÓN

En América Latina, el consumo de arcillas activadas para el blanqueo en la refinación de aceites y grasas se estima en 24.000 t/año. El residuo que genera esta actividad supera el valor señalado debido al peso agregado de impurezas y restos de aceites y grasas. En la mayoría de los casos, se desconoce el destino final de este desecho.

En la actualidad, gran parte de los residuos generados por la industria en general se vierten a cielo abierto o en cursos de agua. Un mínimo porcentaje se dispone en rellenos de seguridad, debido a la falta de conciencia y conocimiento del tema, así como a los altos costos de habilitación, operación y mantenimiento de los mismos.

En el Perú, la industria de grasas y aceites produce aproximadamente 4.000 t/año de residuos y no existe control alguno sobre ellos.

Esta situación obliga a buscar una alternativa de solución, razón por la cual se ha evaluado la posibilidad de aprovechar las arcillas con el objetivo de minimizar tanto los residuos generados, como el costo de construcción y operación de un relleno de seguridad.

Ante este problema y con el objetivo de proteger la salud y el ambiente, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), la Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima (ESMLL) y la empresa Arcillas Activadas Andinas (AAA S.A.) desarrollaron este estudio que representa un esfuerzo conjunto en busca de una alternativa viable para los países de la Región. Habiendo sido liquidada la empresa ESMLL, el servicio de limpieza pública de la ciudad de Lima ha sido dado en concesión a la empresa privada RELIMA, quien es la encargada, entre otros, del manejo de los rellenos sanitarios de Lima. Actualmente RELIMA, así como la ONG

Alternativa, están apoyando la ejecución de la siguiente etapa de la investigación, consistente en su aplicación a nivel demostrativo.

## OBJETIVOS

Determinar la factibilidad técnica, económica y ambiental de utilizar las arcillas como material impermeabilizante en un relleno de seguridad.

Establecer los requerimientos técnicos para el uso de las arcillas en la preparación del material impermeable.

Implementar la metodología propuesta en una celda a escala piloto en la ciudad de Lima, Perú.

## METODOLOGÍA

### Caracterización de Materiales

Se caracterizaron la arcilla y la cal mediante los siguientes parámetros:

### Caracterización de la Arcilla Usada

- ácidos grasos libres
- aceites y grasas
- humedad y Ph
- sólidos totales y volátiles
- solubilidad en ácidos
- solubilidad en álcalis.

### Caracterización de la Cal

- contenido de óxido de calcio (CaO)
- sólidos totales y volátiles
- solubilidad en ácidos
- solubilidad en álcalis.

### Preparación del Material Impermeable

Con el objeto de definir la relación óptima arcilla/cal/agua que presente la reacción más completa, se prepararon y evaluaron mezclas de diferentes proporciones como sigue:

- a) Se prepararon 500 g de mezcla de cada una de las siguientes formulaciones:

PRUEBA Nº	1	2	3	4	5	6
Cal (%)	10	15	20	25	30	40
Arcilla (%)	90	85	80	75	70	60

- b) Se mezcló hasta alcanzar la homogeneidad de la arcilla y la cal y se adicionó a la mezcla 30% de agua en peso.
- c) Se analizó periódicamente la mezcla resultante en términos de contenido de ácidos grasos, jabones, alcalinidad y pH, durante 30 días. Se controló también la disminución del contenido de aceites y grasas.
- d) En el transcurso de la investigación se determinó la necesidad de variar la cantidad de agua de acuerdo a la proporción de cal en la mezcla, por lo que se realizaron pruebas adicionales que consistieron en preparar las mezclas arcilla/cal programadas, pero variando la cantidad de agua en forma paulatina hasta

obtener una mezcla homogénea y fácil de manejar. Las nuevas mezclas requirieron cantidades de agua variables respecto a la cal usada. Estas fueron:

PRUEBA Nº	1	2	3	4	5	6
Cal (%)	10	15	20	25	30	40
Arcilla (%)	90	85	80	75	70	60
Agua (%) (respecto al peso total)	15	15	20	20	35	40

- f) Las nuevas mezclas fueron sometidas a los análisis para estudiar su comportamiento en el transcurso del tiempo, igual que en el ítem d).

#### Pruebas de Resistencia Física y Química

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de las mezclas, se seleccionaron las dos que presentaron las mejores condiciones (en términos de estabilidad, menor contenido de ácidos grasos y mayor contenido de jabones).

Definidas las mezclas, se procedió a evaluar su resistencia física y química, para lo cual se colocaron muestras en embudos Buchner y en tubos de acrílico y se compactaron para simular las condiciones de un relleno sanitario expuesto a residuos industriales.

Una vez acondicionadas las mezclas en los embudos Buchner, fueron expuestas a los siguientes compuestos:

- mezcla de ácidos: HCl al 33%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 30%, HNO<sub>3</sub> al 10%
- mezcla de álcalis: NaOH al 10%, Ca(OH)<sub>2</sub> al 10%
- oxidantes: dicromato de potasio (K<sub>2</sub> Cr<sub>2</sub> O<sub>7</sub>) en medio ácido
- mezcla de sales: NaCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub>
- mezcla de solventes: etanol, eter, acetona.

Luego se evaluaron estas muestras teniendo en cuenta su apariencia, estabilidad, homogeneidad, filtrabilidad y degradabilidad.

Las mezclas acondicionadas en los tubos de acrílico se sometieron, de igual forma, al ataque de los compuestos mencionados y se evaluó su comportamiento con respecto al tiempo transcurrido. Seguidamente, estas mezclas se sometieron al ataque de una solución de metales pesados consistente en una mezcla de cadmio, cinc, cobre, cromo, hierro, manganeso y plomo, en una concentración de 5 ppm de cada metal. Luego del ataque se filtró la mezcla y en la solución resultante se analizó la concentración remanente de metales pesados.

También se realizaron ensayos de compactación (Proctor Standard) con las dos muestras seleccionadas.

## **RESULTADOS**

### Caracterización de Materiales

Arcilla. Los resultados obtenidos en los análisis de caracterización de la arcilla muestran un alto contenido de aceites y grasas (aproximadamente 50%) el pH es ácido (4,8), el porcentaje de ácidos grasos libres es de 0,84 en promedio y ninguna muestra mostró presencia de jabones. El porcentaje de sólidos volátiles es de 49,69% y el de sólidos totales de 96,60%. Las pruebas de solubilidad tanto en ácidos como en álcalis dieron resultados negativos, sólo en el caso del ácido sulfúrico concentrado y del hidróxido de sodio al 10% se detectó, debido al cambio de coloración, cierta reacción del aceite retenido con los compuestos mencionados.

Cal. La cal analizada muestra reacción exotérmica con los ácidos clorhídrico, sulfúrico y nítrico concentrados, con desprendimiento de vapores en los tres casos. En lo concerniente a la solubilidad en álcalis, es insoluble en hidróxido de sodio al 10% y en hidróxido de amonio concentrado.

## Preparación del Material Impermeable

### Resultados de las Pruebas de Mezcla Arcilla/Cal/30 % Agua

**Tabla 1 - Estabilización de las Mezclas Arcilla/Cal/Agua**

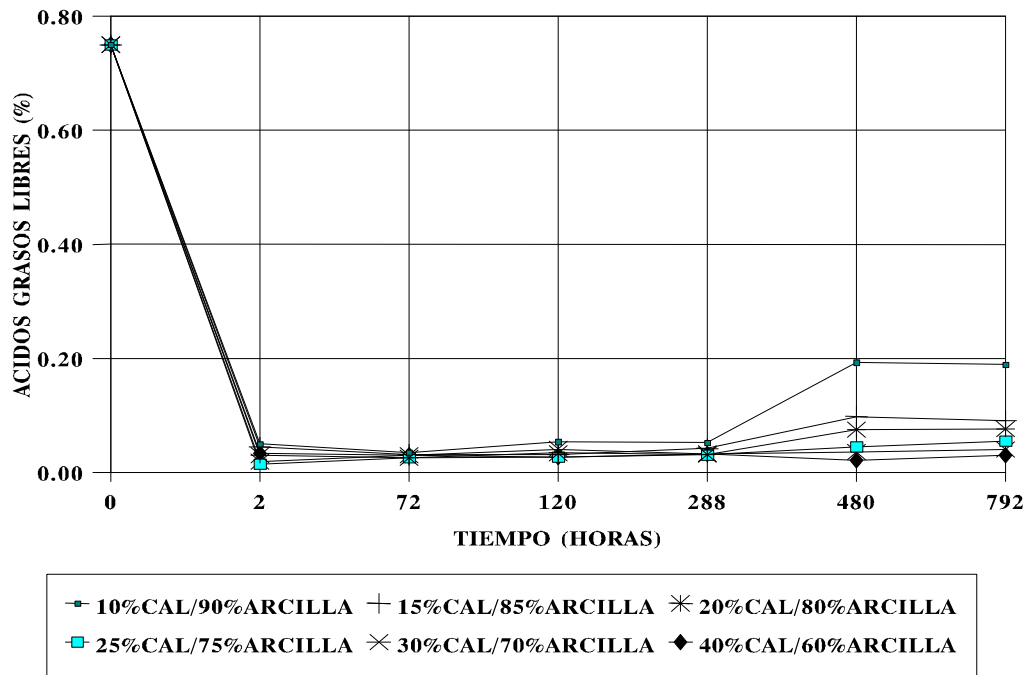
Mezcla de Arcilla/Cal + Agua		Remoción de Ácidos Grasos (%)	Remoción de Aceites y Grasas (%)	Contenido de Jabones (%)
Arcilla/Cal (%)	Agua (%)			
90/10	30	90,27		0,044
	15	74,80	41,60	0,057
85/15	30	90,00		0,099
	15	87,87	54,01	0,063
80/20	30	89,60	48,04	0,088
	20	89,87	54,40	0,151
75/25	30	94,40	58,24	0,188
	20	92,67	72,49	0,121
70/30	30	93,20	71,52	0,264
	35	94,67	82,86	0,390
60/40	30	93,73	80,56	0,181
	40	96,00	91,01	0,379

Selección de Mezclas Óptimas. De los resultados obtenidos, se seleccionaron las dos mezclas que presentaron mayor porcentaje de jabones y menor contenido de ácidos grasos libres, entre otros (ver gráficos N° 1 y N° 2). La proporción fue: 25% cal, 75% arcilla + 30% agua y 30% cal, 70% arcilla + 35% agua. El tiempo necesario para alcanzar la estabilidad de la mezcla arcilla activada usada y cal es de aproximadamente 25 a 30 días.

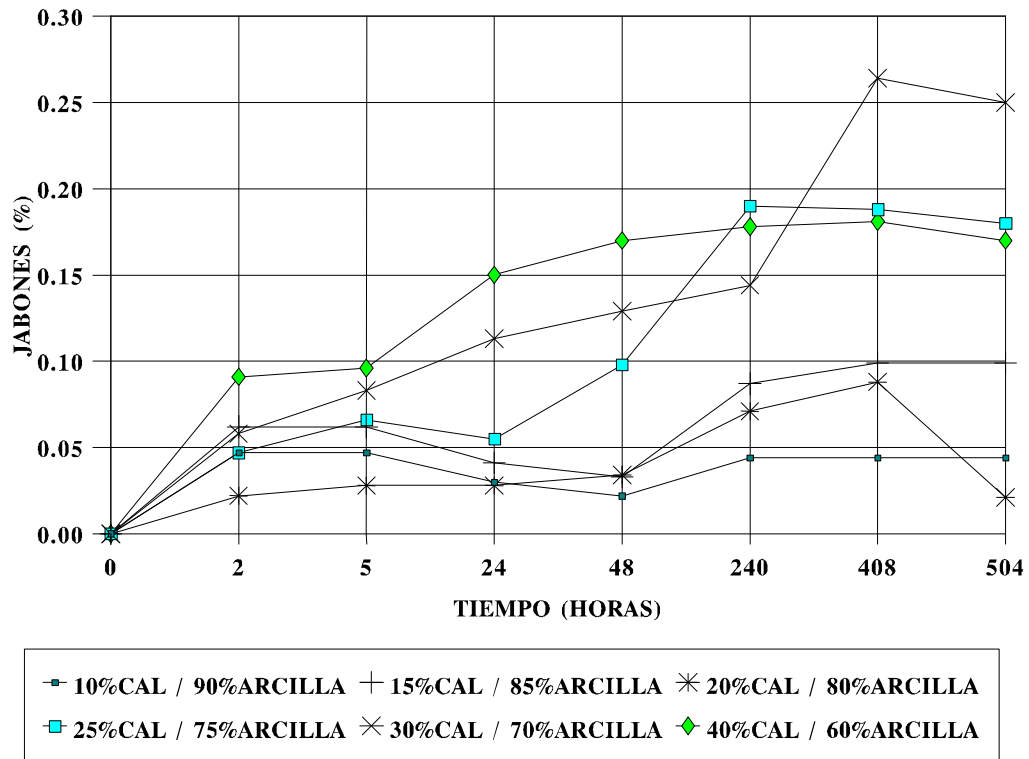
### Pruebas de Resistencia Física y Química

La superficie de la arcilla compactada ha mostrado estabilidad y resistencia al ataque de los álcalis, sales, solventes y sustancias oxidantes. En cuanto a la mezcla de ácidos, la reacción ha sido inmediata observándose efervescencia en la superficie.

**Fig.1 Proyecto Arcillas Activadas Usadas  
% Acidos Grasos Libres vs Tiempo**



**Fig.2 Proyecto Arcillas Activadas Usadas  
% Jabones vs Tiempo**



**Tabla 2**

<b>Compuesto</b>	<b>Reacción</b>
Mezcla de ácidos	Efervescencia inmediata, esponjamiento, posible reacción del $\text{CaCO}_3$
Mezcla de álcalis	Formación de capa superficial parda
Soluc. oxidante $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Cambio de color de la superficie. Posible reducción del agente oxidante
Mezcla de sales	Cristalización de sales en la superficie
Mezcla de solventes	Sin cambio significativo

Las pruebas efectuadas en los embudos Buchner demostraron que la mezcla arcilla/cal/agua estabilizada es capaz de retener tres veces su peso cuando se le somete a una solución de ácidos y dos veces y media su peso al estar expuesta a una solución de bases. En pruebas de mezcla realizadas en vasos de precipitado, se observó que la capacidad de absorción de líquidos de la arcilla varía en un rango de 20 a 95%, según las características de la solución con la que es atacada.

Los resultados obtenidos en las pruebas de filtración realizadas en las muestras acondicionadas en los tubos de acrílico permitieron determinar que es conveniente esperar que la mezcla arcilla/cal/agua se estabilice antes de proceder a su compactación.

Respecto al ataque de las muestras con la solución de metales pesados, en ambos casos se registró una considerable disminución de la concentración de estos contaminantes en la solución filtrada, variando de 45 a 100% (con un promedio de 67,85%) en el caso de la muestra de 25% cal, 75% arcilla y 30% agua; y de 35 a 100% (con un promedio de 69,71%) en el caso de la muestra de 30% cal, 70% arcilla y 35% agua. En el caso del cobre y el hierro, la disminución en su concentración llegó a 100%. La disminución más baja registrada corresponde al plomo, con un 45 y 35%, respectivamente.

Con los resultados de los ensayos de compactación (Proctor Standard) se elaboraron las curvas de humedad versus tiempo, densidad versus tiempo y humedad versus densidad y se concluyó que el grado de compactación más alto se alcanza cuando la mezcla cal/arcilla/agua está en un rango de humedad de 18 a 20%.

La evaluación de los resultados obtenidos en las pruebas determinó que no existe variación significativa en el comportamiento de las dos mezclas seleccionadas, por lo que resulta más económico el tratamiento de la arcilla con 25% de cal y la adición de 30% de agua.

### Evaluación Económica

Se analizó el costo de impermeabilizar una celda piloto de 20 m de largo x 20 m de ancho x 3 m de profundidad con la arcilla tratada (mezcla 25% cal, 75% arcilla + 30% agua) y con materiales geosintéticos (polietileno de alta densidad y cloruro de polivinilo de alta resistencia). El análisis comparativo de costos, como se muestra en la tabla 3, demostró que la aplicación de la arcilla activada usada (incluido los costos de su tratamiento) resulta ser ligeramente más económica que el uso de materiales geosintéticos para la impermeabilización de la celda. Es conveniente tener en cuenta que por tratarse de un residuo, los costos de tratamiento y transporte deberían ser asumidos por la industria generadora, en cuyo caso el costo de impermeabilización disminuiría hasta 76% del costo inicial.

**Tabla 3**

<b>Material</b>	<b>Costo de impermeabilización en dólares estadounidenses (celda 20 m x 20 m x 3 m)</b>
Cloruro de polivinilo (PVC-HR)	27.968,15
Polietileno de alta densidad (PEAD)	27.533,31
Arcilla activada usada	27.051,44

Es necesario mencionar que podrían haber ciertas variaciones en los costos del tratamiento de la arcilla usada (mezcla con cal y agua) ya que, debido a las características de este material, no existe en el mercado un equipo especial para su tratamiento, por lo que el análisis se ha realizado en función al uso de equipos que podrían efectuar dicho trabajo en las cantidades requeridas.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Es factible el uso de las arcillas como material impermeabilizante en un relleno de seguridad.
- El aprovechamiento de las arcillas es compatible con la estrategia de minimización de residuos promovida por el CEPIS/OPS/OMS.
- La aplicación de la arcilla activada usada como material impermeabilizante en un relleno de seguridad presenta el beneficio adicional de eliminar la peligrosidad de este desecho y contar con un material que reduce el poder contaminante de los líquidos que pudieran filtrar a través de la capa de arcilla.
- Se considera que la alternativa presentada constituye una solución apropiada al problema de la disposición final de los residuos peligrosos.
- La evaluación económica demuestra que los costos de impermeabilización con materiales geosintéticos son ligeramente más altos que con la arcilla tratada.
- Se recomienda ampliar la investigación en condiciones diferentes de trabajo y evaluar la replicación de los resultados obtenidos.
- Para el tratamiento de la arcilla activada usada se recomienda estudiar la factibilidad de utilizar un material alcalino de desecho como el generado en la producción de acetileno. Con esto se reducirían costos y se lograría aprovechar otros residuos corrosivos.
- Este trabajo representa el éxito de un esfuerzo conjunto entre el Estado, la empresa privada y un organismo de asesoría técnica internacional, mecanismo que debe ser explotado en los países en desarrollo, con el fin de obtener recursos para la ejecución de investigaciones aplicadas.
- Debido a los resultados satisfactorios obtenidos, la ONG Alternativa, la empresa Arcillas Activadas Andinas S.A., la Municipalidad de Lima, la empresa RELIMA y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) están uniendo esfuerzos para llevar a cabo la siguiente etapa del proyecto, consistente en la aplicación de la presente investigación a nivel demostrativo mediante la construcción de una celda de seguridad para la recepción de residuos peligrosos.



## REFERENCIAS

Arellano V., Alegria X., Sancha, A., Montiel, F. (1990). Comportamiento de materiales arcillosos como impermeabilizantes de rellenos sanitarios. XXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, San Juan.

Benavides, L. (1993). Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. CEPIS-OPS/OMS, Lima.

Benavides, L. (1994). Guía para el diseño de rellenos de seguridad en América Latina. CEPIS-OPS/OMS, Lima.

Collazos, H., De Castro, C. (1990). Impermeabilización de rellenos sanitarios con suelo cemento. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Investigación sobre Residuos Sólidos, Bogotá.

Gescocin, A.J. (1975). Liners for land disposal sites; an assessment USEPA, Report N° S-137, Cincinnati, Ohio.

Landreth, R.E., Carons, D.A. (1991). Inspection techniques for the fabrication of geomembrane fields seams; technical guidance document, USEPA, Report N° EPA/530/SW-91/051, Cincinnati, Ohio.