

# COMPORTAMIENTO DE UN SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO CON CENIZAS DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO SUB CARGAMENTO ESTÁTICO

Autor: **MSc. Cristian Chacón Quispe**, [cristian.chaconq@yahoo.com](mailto:cristian.chaconq@yahoo.com)

**L**a administración de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y su reúso es un problema que ocurre en Brasil como en el resto del mundo. La disposición final de las cantidades gigantescas de RSU generadas diariamente es un problema que afecta a todos los sectores de la sociedad. Según la Asociación Brasileira de las Empresas de Limpieza Pública y Residuos Especiales (ABRELPE 2011), que trabaja en aproximadamente 400 municipios, los que representan a casi el 51% de la población urbana total de Brasil (82 800 000 personas), en el año 2011 fueron generados casi 178 mil toneladas de residuo familiar por día, lo que al año es casi 61.9 millones de toneladas de residuos. En el Perú, según el Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales, gestión 2010-2011, que trabaja con cerca de 214 distritos, que representa casi el 10.7% de los distritos totales y el 51% de la población urbana total en Perú (15 140 000 personas), en el año 2011 fueron generados casi 6400 toneladas de residuos sólidos domiciliarios por día, lo que al año es 7.2 millones de toneladas de residuos. De esta cantidad, el 48.9 % son residuos orgánicos provenientes de cocina y de alimentos; y solo el 38% de la cantidad de residuos totales son dispuestos en rellenos sanitarios adecuados; y lo restante, en lugares inadecuados, como botaderos informales. Se puede inferir que la producción de residuos sólidos urbanos generados en Perú es casi el 11% de lo que genera Brasil anualmente, lo cual es comparable con su población y su economía actual.

Investigaciones recientes vienen siendo realizadas con el objetivo de ofrecer nuevas soluciones a este problema. Un tipo de solución es la utilización de cenizas provenientes de la incineración de RSU para la generación de energía como material estabilizante para suelos. Este elemento podría ser una solución para reducir la explotación de recursos naturales y contribuir con la minimización de pasivos ambientales, con lo que se eliminaría los problemas actuales de disposición de residuos en botaderos informales y rellenos sanitarios. Además, otorga un destino más noble a las cenizas de RSU, utilizándolos en capas de rellenos sanitarios, rellenos sobre suelos blandos, estabilización de taludes y rellenos temporales.

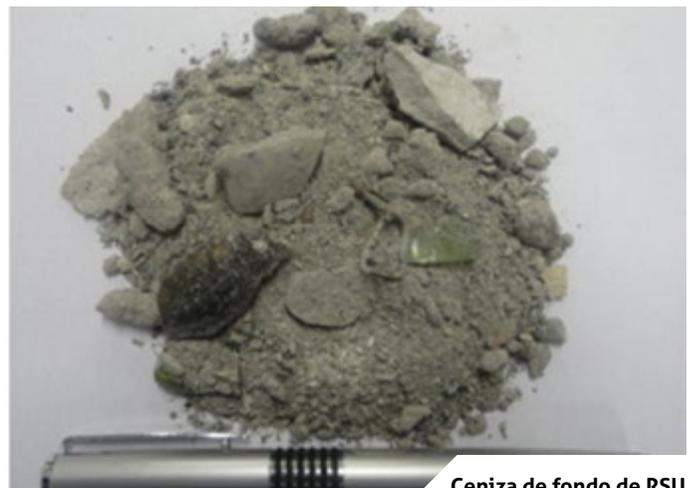
Dentro de este contexto, fue analizada la aplicación de cenizas (volantes y de fondo) obtenidas de la incineración de RSU en usinas generadoras de energía eléctrica. En Brasil, es producida en la Usina Verde en las instalaciones de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ) a través

## Cristian Chacón Quispe

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-Perú) con Maestría en Geotecnia desarrollado en el departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio), con conocimientos en ensayos de laboratorio como ensayos triaxiales, ensayos Proctor y ensayos de caracterización, además de análisis de resultados con el programa GeoSlope y realización de diseño civil utilizando el programa Civil 3D. Actualmente trabaja como **Ingeniero Monitor CQA en ABC Geotechnic EIRL.**



Ceniza volante de RSU



Ceniza de fondo de RSU

de la mixtura de estas cenizas con un suelo arcilloso. Las mixturas realizadas fueron de 20%, 30% y 40% de ceniza en peso (ceniza volante y de fondo).

Para ello, una serie de ensayos de caracterización física, química y mecánica fue desarrollada en el Laboratorio de Geotecnia y Medio Ambiente de la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio).

Ensayos:

**Caracterización física:**

- Muestras de suelos – preparación para ensayos de compactación y caracterización.
- Características físicas del agregado grueso y fino.
- Determinación del límite líquido y límite plástico.

**Caracterización química:**

- Composición química.
- Cantidad de materia orgánica.
- Solubilización y lixiviación.

**Caracterización mecánica:**

- Ensayos de compactación (Proctor).
- Ensayos de corte tipo triaxiales CD.

Los ensayos de caracterización física fueron realizados para conocer el comportamiento plástico y granulométrico de las mixturas del suelo para diferentes porcentajes de cenizas (volante y de fondo); con ello se obtuvo una granulometría mejor graduada en comparación con el suelo puro y un índice plástico (IP) que se disminuye al aumentar la cantidad de ceniza en la mixtura (cumpliéndose para ambos tipos de ceniza, volante y de fondo).

Los ensayos de caracterización química fueron realizados para obtener la composición química y la cantidad de materia orgánica de los materia-

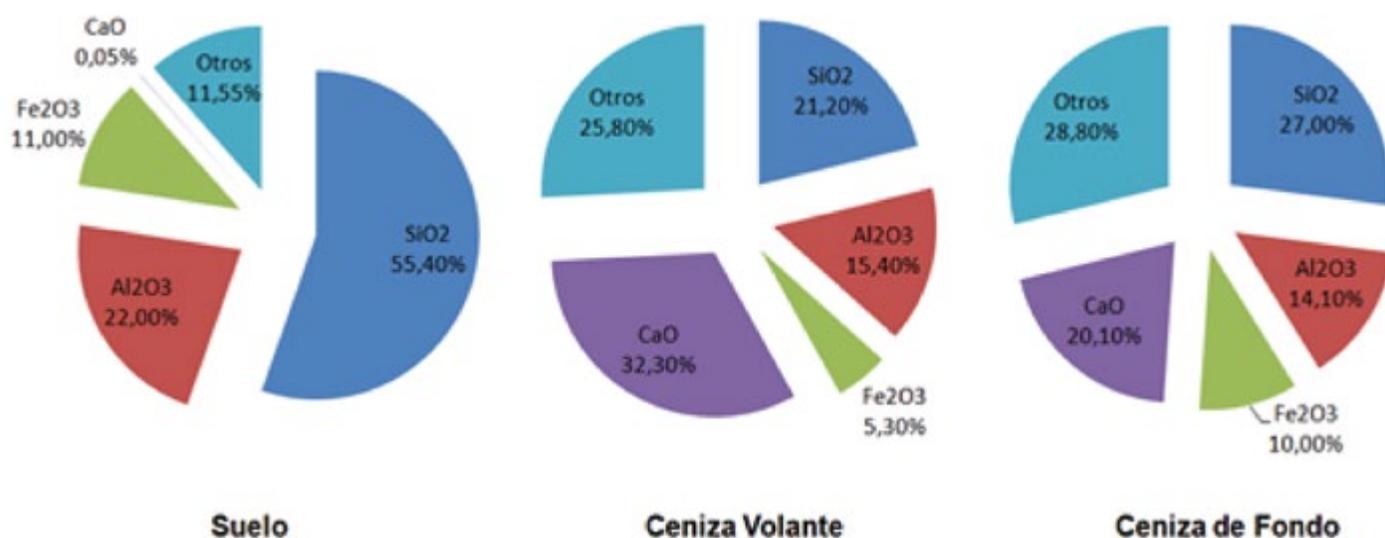
les puros y de las mixturas de suelo con ceniza; de ello se obtuvo que el suelo estudiado casi no presentaba CaO (Óxido de Calcio, estabilizante de suelo conocido y utilizado en suelos blandos) dentro de su composición química, mientras que las cenizas puras (volante y de fondo) sí presentaban un buen porcentaje de CaO, el cual, al ser mixturado con el suelo, tiende a estabilizarlo. De la cantidad de materia orgánica se observó que los valores presentados por el suelo puro y la ceniza volante eran muy bajos en comparación con la ceniza de fondo. La ceniza volante presentaba mayor cantidad de CaO que la ceniza de fondo y menor cantidad de materia orgánica. Según Winterkorn (1990), una cantidad alta de materia orgánica puede inhibir la actividad puzolánica, que genera en este caso el CaO; por ello, se podría deducir que las mixturas de suelo con ceniza volante presentarían mejores resultados de resistencia que las mixturas de suelo con ceniza de fondo.

Además, fueron realizados ensayos de solubilización y lixiviación por Vizcarra (2010) para las cenizas de RSU para concluir si estos materiales son contaminantes o peligrosos para su utilización. Se obtuvo que estas



**Equipo triaxial utilizado**

### Composición química de materiales puros



cenizas son inertes y no peligrosas, lo cual denotaría que su utilización es no contaminante al ser mixturado con el suelo.

Dentro de los ensayos de caracterización mecánica se realizaron ensayos de compactación Proctor y ensayos triaxiales CD. De los ensayos de compactación Proctor se concluyó que a mayor cantidad de ceniza (volante o de fondo) adicionada, menor será la densidad seca en comparación al suelo puro. En cuanto a los ensayos triaxiales CD, que fueron realizados en cuerpos de prueba sin tiempo de cura y con cuerpos de 30 y 60 días de tiempo de cura, debido a que se tenía el conocimiento que dentro de la composición química de las cenizas se encontraba el CaO, el cual hace alcanzar mayores parámetros de resistencia con el tiempo, se obtuvo resultados satisfactorios, en los que se resalta el empleo positivo de la ceniza volante de RSU en una cantidad de 40 % en peso y un tiempo de cura de 60 días, lo que aumenta el parámetro de cohesión en más del triple en comparación con el suelo puro. Las mixturas con ceniza de fondo también arrojaron resultados satisfactorios en comparación con el suelo puro, donde resalta el empleo positivo con una cantidad de 30% en peso y un tiempo de cura de 30 días. En todos los casos, las mixturas con ceniza volante arrojaron mejores resultados de resistencia debido a la mayor cantidad de CaO en su composición química y menor cantidad de materia orgánica, con lo cual se corrobora la hipótesis inicial al realizar los ensayos de caracterización química.

Estos resultados dan a conocer un nuevo material geotécnico cuyo uso es recomendable. Se debería incentivar nuevas investigaciones en las que se pueda analizar otras mixturas de suelo con ceniza, o mixturas de

suelo – ceniza y cal (cal en proporción menor a 5% en peso) o el comportamiento que pueda tener en campo estas mixturas de suelo con ceniza, realizando ensayos de densidad en campo, y ensayos de lixiviación y solubilización para monitorear la posible contaminación del suelo.

En el Perú, sería importante la implantación de una incineradora de residuos sólidos urbanos, debido a que la cantidad generada de residuos está en proporción directa con el incremento de la economía y la población anual. No se debería esperar a que la disposición de residuos urbanos se vuelva un problema como en Brasil, donde el relleno sanitario de Gramacho llegó a contaminar la Bahía de Guanabara, para tomar este tipo de acciones. Además, luego de las investigaciones realizadas, esta incineradora generaría energía a un menor costo y también cenizas que pueden ser utilizadas como estabilizantes de suelos sin ningún costo.



**Cuerpos de prueba con mixtura de 60% de suelo puro y 40% de ceniza volante con 60 días de tiempo de cura, que arrojó los mejores resultados.**