

# Evaluación de las escorias de horno cuchara (HC) de Simesa como correctoras de acidez en suelos

Jorge H. Agudelo L., J. Henry Salazar B. y Juan C. Parra G. \*

## Resumen

Para evaluar la calidad agroquímica de muestras de escoria HC de la siderúrgica de Medellín S.A., con especial énfasis en su uso potencial como corrector de la acidez de suelos y fuente de nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas aportando calcio, manganeso, magnesio y hierro, se realizaron análisis en el laboratorio de agroquímica del Departamento de Química, de la Universidad de Antioquia sobre una muestra de escoria HC para determinar su solubilidad en un suelo tipo andisol del oriente antioqueño clasificado taxonómicamente como típico hapludand y hacer una aproximación a la cantidad de escoria que debe adicionarse al suelo para modificar el pH.

----- *Palabras clave:* suelos, escorias, fertilizantes, corrector de acidez.

## Abstract

Simesa's slag was evaluated in regard to its agrochemical quality, especially for applications as acidity corrector and fertilizer. Analysis were carried out in the agrochemistry laboratory of the Chemistry Department, University of Antioquia. Slag solubility in an andisol type soil, classified as típico hapludand, was determined, as well as the quantity of slag necessary for pH modification.

----- *Key words:* soils, slags, fertilizer, acidity corrector.

---

\* Grupo de Investigaciones en Cerámicos, Medio Ambiente y Metalurgia Extractiva, Ceramex. Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Universidad de Antioquia. jagudelo@udea.edu.co.

## 1. Introducción

Las escorias son un residuo inevitable en la industria de producción de acero [1] (en este caso horno eléctrico de arco) y como no tienen una utilización específica son desechadas; por esto, las empresas se ven en la necesidad de buscar sitios para depositarlas, con los riesgos de contaminación que ello implica.

Las escorias siderúrgicas son subproductos de los procesos pirometalúrgicos, en los cuales la fusión completa de todos los materiales iniciales produce dos productos líquidos: metal y escoria, esta última es de menor densidad que el metal y forma una capa separada [1, 2].

Desde el punto de vista químico, las escorias están constituidas por óxidos, los más importantes son cuatro:  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$ , además de  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{TiO}_2$ , y de otros en menores proporciones [1].

A raíz de la creación del Ministerio del Medio Ambiente y su preocupación por el acelerado deterioro del entorno, unido a la no disponibilidad de sitios adecuados para depositar las escorias y la inquietud permanente de las empresas y universidades por el aprovechamiento de estos subproductos, se han desarrollado de investigaciones en el tema con el fin de recuperar grandes extensiones de tierra donde se deposita la escoria y abrir nuevos campos de aplicación de las mismas.

Las escorias pueden emplearse como agregados pétreos en la estabilización de suelos y caminos veredales, agregados para asfaltos, concretos y materia prima para cementos, obteniéndose ventajas técnicas apreciables con respecto a los hormigones tradicionales. Los agentes catalizadores básicos como la cal dolomítica permiten el desarrollo de la cementación del suelo, lo que sumado al aporte friccional de las escorias, le confieren excelentes propiedades estructurales [5].

Buena parte de las mejoras de rendimiento ocurridas en la agricultura de Argentina, México,

Holanda y Alemania en los últimos años, ha descansado en el aumento de la calidad de la base biológica de los materiales utilizados para la producción de cereales y oleaginosas, vale decir, mejores variedades y calidades de los productos obtenidos, y también el convencimiento de que los países no están haciendo uso adecuado de otra fuente de crecimiento importante como son los fertilizantes químicos [9].

El dar a conocer y debatir las características de los diferentes tipos de escorias producidas en la Siderúrgica de Medellín S.A. en el proceso de afino de acero (horno cuchara, escoria HC), y la diversidad de los posibles usos que puedan darse, motivó al Grupo de Investigación Ceramex de la Universidad de Antioquia, a la elaboración de un proyecto en colaboración con Simesa para la caracterización de las escorias producidas en su planta con el fin de reutilizarlas en la industria.

## 2. Generalidades

El suelo es el recubrimiento más o menos continuo de la superficie terrestre, con estructura suelta y espesor variable, resultante de la transformación de la roca madre subyacente por la acción de distintos procesos físicos, químicos y biológicos, que la han hecho apta para el crecimiento y desarrollo de las plantas [3].

Tiene el suelo un origen, una dinámica de crecimiento e incluso puede destruirse (nace, crece y muere), lo cual define su naturaleza de cuerpo natural, con individuos que conforman una población. Las poblaciones de suelos pueden diferenciarse unas de otras en virtud de las variaciones que se presentan entre sus características morfológicas, fisicoquímicas, biológicas o mineralógicas.

Las rocas y sedimentos sufren una serie de transformaciones fisicoquímicas por efecto de la actividad del agua, ácidos orgánicos, etc., conocidas como meteorización, las cuales convierten la roca y sus minerales en material terroso (saprolito) que contiene arcillas, iones o nuevos

minerales, más los que aún no se han transformado. Parte de los iones que se liberan del mineral, en el proceso de meteorización, sufren un proceso de percolación hacia el interior del perfil, entre más lluviosa sea la zona, más procesos de transformación ocurren y más lavado de iones; sin embargo, los iones H, Fe, y Al son poco móviles y tienden a acumularse en relación con los otros (Na, Ca, Mg, K, etc.); es por esto que en las zonas de alta precipitación dominan el H y el Al, que caracterizan los suelos ácidos [4].

Por lo anterior son entonces importantes, como índices de evolución de los suelos, el grado de meteorización y de lixiviación (lavado de iones y elementos del perfil) que hayan sufrido.

### 2.1. Composición química de la escoria HC

El material empleado para los tratamientos consistió en muestras de escoria provenientes de la Siderúrgica de Medellín S.A.; en la tabla 1 se presenta la composición química promedio en porcentaje de la muestra de escoria HC.

**Tabla 1** Composición química promedio de la escoria HC de Simesa

Tipo	CaO	MgO	MnO	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	S
HC	48,46	8,72	1,31	3,4	7,95	27,60	0,07	0,39	0,39

\* Resultados reportados por la empresa Simesa

### 2.2. Contenido de metales pesados

Los metales pesados fueron cuantificados por absorción atómica (equipo UNICAM 929 AA Spectrometer) y se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2** Contenido de metales pesados presente en la escoria HC de Simesa

Contenido de metales pesados	Escoria HC
Cadmio (mg/kg)	0,00
Cromo (mg/kg)	505
Níquel (mg/kg)	3,35
Plomo (mg/kg)	0,00
Cobre (mg/kg)	26,0

## 3. Desarrollo experimental

El trabajo experimental consistió en caracterizar química y mineralógicamente la escoria producida en la Siderúrgica de Medellín S.A.,

Simesa, luego con esta información y el apoyo de la literatura, se determinaron las posibles aplicaciones de la escoria, teniendo en cuenta aquellas que demandan mayor cantidad en aplicaciones industriales. Posteriormente, se realizaron los diferentes ensayos conducentes a confirmar estas posibles aplicaciones.

Para llevar a cabo la investigación, se diseñó un muestreo aleatorio que barrió un rango de 600 coladas en un período de tres meses, garantizando así el cubrimiento de las variables del proceso, tales como tipo y calidad de la chatarra, clases de aceros fabricados, condiciones de operación de los hornos, etc. En total se recolectaron 36 muestras de escoria HC, para analizarlas química y mineralógicamente, también se tuvo en cuenta el tipo de acero producido en cada colada de acero y el tipo de chatarra adicionada, con el fin de observar la variación de la composición química de la escoria.

Las escorias HC se sometieron a ensayos para comprobar su poder encalante (corrector de aci-

dez de suelos) y pruebas como material aportador de oligoelementos (micronutrientes), además se realizaron análisis de metales pesados contenidos en ellas [6, 7].

El estudio proporciona y establece lineamientos que en el futuro permitirán actuar con certeza en el desarrollo de investigaciones encaminadas al aprovechamiento máximo de las escorias de acería.

## 4. Ensayos realizados

### 4.1. Evaluación agroquímica de escorias

Para evaluar la calidad agroquímica de las muestras de escoria, con especial énfasis en su uso potencial como corrector de la acidez de suelos y como fuente de nutrientes, el Laboratorio de Agroquímica del Departamento de Química realizó sobre una muestra del material, las siguientes determinaciones:

#### 4.1.1. Alcalinidad en solución acuosa

*Metodología.* Una suspensión acuosa del material fue acidulada en exceso con solución estandarizada de HCL, luego fue retrovalorada con solución estandarizada de NaOH hasta el punto final de la fenolftaleína, mostrando el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \text{Alcalinidad (mol de CaCO}_3\text{ / 100 g)} \\ = 1,156 (\pm 0,009) \end{aligned}$$

#### 4.1.2. Contenido de óxidos de calcio y magnesio

Se cuantificaron estos óxidos por complexometría EDTA, en la muestra tratada según Norma Icontec 302. Se observa que la alcalinidad del material es generada primordialmente por óxidos de calcio y magnesio, el análisis reportó el siguiente resultado:

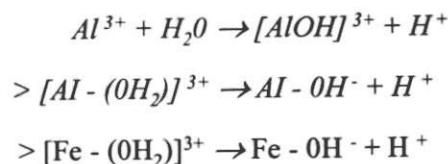
$$\% \text{ p/p de CaO} = 53,0 (\pm 0,2)$$

$$\% \text{ p/p de MgO} = 16,7 (\pm 0,4)$$

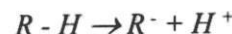
#### 4.1.3. Capacidad encalante

4.1.3.1 Generalidades. La información anterior permite inferir el uso de la escoria como material encalante para reducir acidez de suelos agrícolas, como fuente de calcio, de magnesio y de algunos micronutrientes.

En nuestra región es notorio el predominio de suelos ácidos, por efecto combinado del clima y de la actividad biológica sobre su superficie. En estos suelos la lluvia suele sobrepasar la evotranspiración generando el fenómeno de la lixiviación, por el cual se diluyen gradualmente las sales más solubles de calcio, magnesio y potasio que migran hacia horizontes bajos, predominando en el horizonte superficial compuestos de hierro y aluminio en forma cristalina y amorfa generadora de acidez, a través de reacciones tales como [7, 8]:



La actividad microbiológica sobre la superficie es fuente de ácidos orgánicos:



La concentración de iones  $H^+$  en la solución del suelo o en el complejo de intercambio determina la acidez activa, todas las demás especies que pueden generar al ion  $H^+$ , determinan la acidez potencial [9].

Una fracción importante de la actividad agrícola de la región y del país, se desarrolla sobre suelos andisoles, en él se agrupan suelos que han evolucionado a partir de materiales volcánicos (básicamente cenizas volcánicas) y que presentan aluminosilicatos amorfos; esta mineralogía le confiere al suelo algunas propiedades especiales como alta capacidad de intercambio catiónico, alta fijación de fosfatos, alta habilidad para formar complejos estables con la materia orgánica, alta porosidad y alta capacidad

para retener humedad, condiciones que facilitan el laboreo del suelo [4, 6]. Estos suelos son comunes en la zona montañosa, donde tienen asiento actividades tan importantes como el cultivo del café, de hortalizas y pastos para la producción lechera, caracterizados entre otros factores por el contenido de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, buen contenido de materia orgánica y bajos contenidos de calcio y magnesio [3].

4.1.3.2. Metodología. Para establecer la capacidad encalante de la muestra de escoria y por las características enunciadas del suelo se utilizó una muestra del Oriente antioqueño, bajo condiciones de invernadero, con base en un arreglo de un factor (dosis del material), de ocho niveles, completamente aleatorizado, aplicadas en gramos de escoria/ kilogramos de suelo fueron: 0,0, 0,4, 0,66, 0,84, 1,08, 2,0, 4,0, 8,0 respectivamente. Considerando como respuesta el pH del suelo (relación suelo/agua 1:1), empleando tres réplicas por tratamiento; para el efecto la muestra del suelo fue secada a la sombra, tamizada por malla 2 mm; luego de aplicadas las dosis y homogeneizado, el suelo fue colocado en macetas dispuestas en el invernadero e incubadas quince días, manteniendo la humedad del suelo a un 80 % de su capacidad de campo.

La muestra del suelo, clasificado taxonómicamente como Tipic Hapludand, provino de la

granja Paysandú, de la Universidad Nacional, ubicada en el corregimiento de Santa Elena.

El análisis agroquímico del suelo reportó los siguientes parámetros:

• **Parámetros agroquímicos del suelo.** En la tabla 3 se muestran los parámetros agroquímicos encontrados en el suelo

4.1.3.3. Resultados del experimento. Las muestras de suelo de las unidades experimentales, luego de secadas a la sombra se les determinó pH en relación suelo/agua 1:1, cuyos resultados se ven en la tabla 4.

**Tabla 3.** Parámetros agroquímicos del suelo

<i>Parámetros</i>	<i>Suelo andisol</i>
Textura	FArA
Potencial de hidrógeno (pH)	4,80
Materia orgánica (%)	8,50
Fósforo (ppm)	5,00
CICE (meq/100 g de suelo)	6,10
Saturación con Al (%)	1,00
Calcio (meq/100 g suelo)	3,30
Magnesio (meq/100 g suelo)	1,60
Potasio (meq/100 g suelo)	0,20

**Tabla 4** Variación del pH del suelo al adicionar las dosis de escoria HC de Simesa

<i>Dosis</i>	<i>0,0</i>	<i>0,4</i>	<i>0,66</i>	<i>0,84</i>	<i>1,08</i>	<i>2,0</i>	<i>4,0</i>	<i>8,0</i>
	4,9	5,0	5,1	5,1	5,1	5,3	5,6	6,1
pH	4,8	4,9	5,1	5,0	5,1	5,4	5,7	6,1
	4,8	5,1	5,0	5,1	5,2	5,5	5,7	6,0

## 5. Análisis de la información

El análisis de varianza de los resultados indica efectos altamente significativos de las dosis del material sobre el pH del suelo. A partir de la prueba de rangos múltiples se establecen los siguientes grupos homogéneos:

### 5.1. Prueba de rangos múltiples

Método: 95,0% LSD

Dosis	Promedio	Grupos homogéneos
0,0	4,83333	X
0,4	5,00000	X
0,66	5,06667	XX
0,84	5,06667	XX
1,08	5,13333	X
2,0	5,40000	X
3,0	5,66667	X
4,0	6,06667	X

La prueba indica que las respuestas pueden distribuirse en tres grupos: respuesta baja para el testigo y la primera dosis; respuesta media para las dosis comprendidas entre 0,66 y 1,08 g/kg, y altas con las dosis 2 a 8 g/kg.

Un suelo se considera no ácido cuando su pH es igual o mayor a 5,5 [6]. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que para alcanzarlo se requiere una dosis aproximada de 2,0 g de escoria por cada kilogramo de suelo, pero una dosis de 1,0 g de escoria por cada kilogramo puede ser satisfactoria, lo que equivale a 1,5 toneladas de escoria por cada hectárea de suelo. En conclusión estos resultados indican que el material manifiesta una capacidad muy alta como corrector de acidez de suelos, lo cual se corresponde con su alcalinidad en solución acuosa de 1,156 mol de  $\text{CaCO}_3/100$  g equivalente a 115,6 g de carbonato/100 g de material.

Otra cualidad del material, tanto o más importante que su capacidad para corregir acidez, proviene de sus altos contenidos en magnesio y calcio, dos elementos normalmente deficientes en suelos ácidos.

Adicionalmente el material es una fuente potencial de microelementos tales como hierro y manganeso [4]. Estas consideraciones hacen muy recomendable un estudio posterior de este material, para evaluar la respuesta agronómica a su aplicación en condiciones de campo.

## 6. Conclusiones

Una vez terminados los análisis correspondientes, se presentan las principales conclusiones obtenidas en el transcurso de la investigación:

- Al agregar escoria HC al suelo no representa problema alguno, ya que la ausencia de metales como plomo, cadmio y arsénico, y los bajos contenidos de cromo la hacen un material seguro [10].
- Los estudios han reportado el uso con fines agrícolas de escorias con contenidos mayores de cromo, las cuales no han originado ninguna reacción adversa en los organismos vivos.
- Por sus altos contenidos de magnesio y calcio, dos elementos normalmente deficientes en suelos ácidos, la escoria es una fuente potencial de estos elementos, estas consideraciones hacen muy recomendable un estudio posterior de este material, para evaluar la respuesta agronómica a su aplicación en condiciones de campo [4, 11].
- Los resultados obtenidos indican que para alcanzar un pH de 5,50 se requiere una dosis aproximada de 2,0 g de escoria HC por cada kilogramo de suelo ácido, pero una dosis de 1,0 g de escoria HC por cada kilogramo de suelo puede ser satisfactoria, lo que equivale a 1,5 toneladas de escoria HC por cada hectárea de suelo ácido. En conclusión estos resultados indican que el material manifiesta una capacidad muy alta como corrector de acidez de suelos.
- Su alcalinidad en solución acuosa es de 1,156 mol d  $\text{CaCO}_3/100$  g equivalente a 115,6 g de carbonato/100 g de material, nos hace creer que la escoria HC es un material idóneo como corrector de acidez de suelos.

Cabe anotar que estos son los resultados preliminares que fijarán el punto de partida para una serie de análisis en campo, para evaluar exhaustivamente el gran poder como corrector de acidez de suelos de la escoria HC, y como material aportador de micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

## 7. Referencias

1. Waelkens, G.S., Del Carmine, C. *Generación y propiedades de las escorias siderúrgicas*. Somisa, Argentina, 1989, pp. 1-31.
2. Courdurier, L., Hopkins, D., y Wilkomirski, I. *Fundamental of Metallurgical Processes*. Editorial John Wiley and Sons, 1987, pp. 212-230.
3. Jaramillo, J., Parra, S., y Gonzales, S. *El recurso suelo en Colombia distribución y evaluación*. Universidad Nacional de Colombia, 1997, pp. 19-43.
4. López, F.A., Medina, F. Utilización de escorias LD como enmendantes de suelos ácidos. *Revista Afinidad XLVI*, marzo-abril 1989, pp. 162-166.
5. Páramo, J.A. *Estabilización de suelos con escorias*. Somisa, 1989, pp. 46-52.
6. Martínez, P., Tico, R., *Agricultura práctica*. Editorial Ramón Sopena, Barcelona, 1995, pp. 16-47.
7. ASTM C 127-93. *El Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate*.
8. ASTM C 128-97. *Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates*.
9. Salas, L.B. *Utilización de escorias de acería OBM*. Somisa, 1989, pp. 102-109.
10. Stevenson, J. *Slag Characterization and Utilization*. Langston University, 1995, pp. 70-72.
11. Kos, B.; Mayer, F.W. y Kohlbacher, M. *Reciclaje de escorias de acería*. ILAFA, 1995, pp. 9-12.