

# Investigación y desarrollo para la introducción del fertilizante ecológico con escoria metalúrgica como soporte

## *Research and Development for Introduction of the Ecological Fertilizer with Metallurgical Slag as Support*

Dr. Widodo Suwardjo<sup>1</sup>, MSc. Marisol Morales-Díaz<sup>1</sup>, Tec. Aída Santiesteban-Patterson<sup>1</sup>, Ing. José Bolívar-Rodríguez<sup>1</sup>, MSc. Yoel Fidalgo-Rodríguez<sup>1</sup>, Ing. Loreto Mojena-Beltrán<sup>1</sup>, Ing. Israel González-de-Armas, Ing. Miguel Kindelán-Sira 

widodo@magcime.cu; mmorales@inifat.co.cu; mkindelan@aacero.co.cu

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Metalúrgicas, Ciudad de la Habana, Cuba; <sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", La Habana, Cuba

### ● Resumen

Se muestran los resultados principales de la prueba a escala de laboratorio efectuada en el Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en Agriculturas Tropicales (INIFAT). Se experimentó la siembra de sorgo en el suelo ácido con un pH igual a 6, tratado con el producto desarrollado actualmente (Fértiles: fertilizante con escoria secundaria como soporte y encalante). Se realizó una prueba de la siembra de king grass en dos campos de suelos ácidos con un pH de 4,5 a 5,0, perteneciente a la empresa "Pecuaria de Bacuranao". Se muestran los indicadores principales del crecimiento del cultivo, tanto en el suelo tratado con la escoria, como en el suelo testigo en los diferentes periodos. Se describen los resultados de análisis de la lixiviación de las muestras de escorias para conocer el nivel de toxicidad de metales pesados en el filtrado.

Palabras clave: escoria, fértiles, suelos, cultivos, king grass.

### ● Abstract

The paper shows the main experiment result in laboratory (in pots) carried out in the National Institute of Fundamental Researches in Tropical Agriculture (INIFAT). In the experiment Sorgho (*Sorghum Vulgaris*) was planted in acid soil (pH= 6), treated with "Fértiles", which is blend between white slag and organic material. Basing on the results obtained, an experiment was carried out by planting "King Grass" on two fields of acid soil with pH from 4,5 to 5,0 belonging to the enterprise "Bacuranao Animal's Husbandry", in Cotorro municipality (Havana). Preliminary, in the "Fértiles" treated soil the yield of green mass, depending on the specific condition of the treated soil, increased from 20 % to 40 % per hectare. In the paper the results of lixiviation analysis of the specimens of slag are described to know the toxicity level of heavy metals in the filtrate.

Key words: slag, fertiles, soil, crops, king grass.

## ● Introducción

Según el estudio realizado anteriormente, se ha valorado, que la escoria de la acería por sus características químicas no solo es capaz de actuar modificando el pH del suelo sino también como portadora de calcio y magnesio y como corrector de los niveles de hierro, previa transformación del hierro existente en la escoria en una fase asimilable para suelos y cultivos.

Se comprobó la ausencia de contenidos significativos de metales pesados y carencia de toxicidad. Por otra parte, su adición al suelo no solo aporta una serie de micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, sino que, además, produce importantes mejoras en las propiedades físicas (porosidad) del suelo que favorecen al transporte hídrico, lo que contribuye a aumentar la productividad del cultivo y la calidad de las cosechas /1, 2/.

A partir del año 2002, el Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME) desarrolla un Proyecto Nacional de Ciencia Técnica (PNCT), bajo el título "Tecnología para la elaboración de un fertilizante ecológico, en el que emplea la escoria metalúrgica como soporte", y que en este momento se encuentra en etapa de la prueba de extensión.

Según la referencia estudiada, el fertilizante "Fértiles" con escoria, se destina, fundamentalmente, al tratamiento de suelos ácidos.

Existen las siguientes condiciones, objetivamente favorables:

La Empresa Siderúrgica "José Martí" (ESJM) tiene un reto de producir, próximamente, hasta 400,000 toneladas de acero anuales. Como consecuencia incrementará el volumen de desechos industriales como la escoria y el polvo de humos. Hasta el momento, este subproducto no tiene utilización potencial, y por supuesto, su presencia afecta la norma del medio ambiente de la empresa.

Por otra parte, en la misma región del municipio de Cotorro, existe una empresa pecuaria que tiene un terreno con una extensión de alrededor de 63 caballerías de suelos ácidos que, según la experiencia foránea, a este tipo de suelos se le puede mejorar la calidad (e incrementar la productividad de la siembra de pastos) mediante el tratamiento con la escoria siderúrgica.

El objetivo principal de la presente etapa del trabajo es comprobar los resultados de las pruebas obtenidos a escala de laboratorio en las pruebas a escala de parcelas o campos, y determinar la capacidad agronómica del cultivo sembrado en el suelo tratado con el material desarrollado ("Fértiles").

Para materializar este objetivo, se realiza un experimento que consiste en el tratamiento de suelos durante la siembra de king grass, en dos terrenos: uno ubicado en la carretera de Managua y calle 100, y otro ubicado en la carretera Cuatro Caminos-Managua.

Los efectos positivos de la utilización de la escoria no significan solamente la posibilidad de su empleo en la agricultura o ganadería, sino también su aporte en el saneamiento del medio ambiente del área de la empresa siderúrgica.

## ● Desarrollo

### *Pruebas a escala de laboratorio*

Para estudiar la efectividad del producto en el suelo ácido, se realizaron experimentos bajo condiciones controladas en el INIFAT de Minagri. El experimento consistió en siete tratamientos con tres réplicas, distribuidos de la forma siguiente: un testigo absoluto; un NPK; tres mezclas con EB 25, 50 y 75 %, y HL 75, 50 y 25 %; un tratamiento con HL y otro EB solo con el cultivo indicador del sorgo, para un total de 21 macetas. El corte se realizó después de 32 días de la siembra; las muestras fueron pesadas y posteriormente se llevaron a la estufa hasta obtener peso seco. Los resultados del experimento se muestran en las tablas 1 y 2.

TABLA 1. ALTURA PROMEDIO DE LAS PLANTAS / MACETAS

Experimentos	Altura de las plantas (cm)			Promedio (cm)	Crecimiento
	I	II	III		
Testigo Absoluto	40,26	44,58	40,77	41,87	100 (base)
NPK	54,11	46,73	47,25	49,36	117,88
25%EB+75%HL	47,25	55,80	47,38	50,14	119,75
50%EB+50%HL	51,07	53,51	48,0	50,86	121,47
75%EB+25%HL	50,61	54,73	50,27	51,87	123,88
HL	48,96	45,98	44,27	46,40	110,80
EB	45,66	40,0	35,0	40,22	96,0

TABLA 2. PESO INICIAL DE LAS MUESTRAS VERDES

Experimentos	Muestras (g)			Peso total (g)	Promedio g/mac	Rendimiento, %
	I	II	III			
Testigo absoluto	11,95	10,06	8,18	30,19	10,06	100,0 (base)
NPK	23,58	25,09	24,0	72,67	24,22	240,75
25%EB+75%HL	15,07	15,72	18,21	49,0	16,33	162,33
50%EB+50%HL	22,68	21,11	24,39	68,18	22,73	225,94
75%EB+25%HL	21,21	21,29	21,62	54,12	21,37	212,42
HL	14,52	14,60	15,12	44,24	14,75	146,62
EB	12,85	15,19	8,91	36,95	12,32	122,46

De las tablas podemos observar que para la condición del suelo con pH igual a 6 el mejor producto utilizado para su tratamiento fue la mezcla con mediano porcentaje del EB (denominamos "Fértiles 50/50"). Esta formulación permite obtener el óptimo porcentaje de rendimiento de la masa verde, así como de la masa seca, en comparación con el mismo índice para la siembra en el suelo testigo.

Sobre la base de este resultado, se preparó un producto ("Fértiles 50/50") para realizar este experimento a escala de parcelas (campos).

### Pruebas a escala de campos

#### Resultados preliminares de la prueba (calle 100 y C. Managua)

##### Ficha técnica:

1. Siembra: CT-115 (king grass)
2. Fecha de siembra: 20 de noviembre 2007, pH del suelo 5,0....
3. Fecha de tratamiento: 5 de febrero 2008 (foto 1)

4. Material para tratamiento: "Fértiles 50/50"

5. Dosis de tratamiento: 5 ton de Fértiles/ha

6. Primera inspección: 11 de marzo 2008 (foto 2), pH del suelo 5-5,50.

7. Segunda inspección: 25 de abril 2008 (foto 3), pH del suelo 5-5,50.

8. Tercera inspección: 5 de junio 2008 (foto 4), pH del suelo 5-5,50.

#### Método de la toma de muestra

Se cortó una planta representativa de un grupo de plantas sembradas (de cinco hasta quince plantas). La toma de muestra (corte) se repite hasta cinco réplicas cada cinco metros a partir de la punta de partida.

Como índices de la valoración del crecimiento de la siembra se mide: la altura de la mata, el diámetro del tronco, anchura de la hoja y la productividad del forraje por hectárea, posteriormente se determina el porcentaje de masa seca del forraje.

**TABLA 3. RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE LA SIEMBRA EN EL SUELO TRATADO DE LA GRANJA DE LA CALLE 100 Y CARRETERA MANAGUA DESPUÉS DE 120 DÍAS**

No. muestra	Altura (cm)	Diám. tronco (mm)	Ancho de hoja (mm)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	% del peso seco
1	275	14,3	42	0,372	0,089	23,92
2	290	21,9	45	0,598	0,141	23,60
3	272	20,25	41	0,514	0,119	23,25
4	290	21,85	45	0,702	0,180	25,64
5	304	12,65	45	0,573	0,138	24,10
<b>Promedio</b>	<b>286,2</b>	<b>18,19</b>	<b>43,6</b>			
<b>Peso total</b>						
<b>Peso promedio por planta</b>				<b>0,546</b>		
<b>% promedio de MS</b>						<b>24,10</b>

La productividad promedio del forraje:  $0,546 \times 5 \times 10000 = 27,30$  ton/ha.

Los resultados de la medición de las siembras en el campo testigo se presentan en la tabla 4.

**TABLA 4. RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE LA SIEMBRA EN EL SUELO TESTIGO DE LA GRANJA DE LA CALLE 100 Y CARRETERA MANAGUA DESPUÉS DE 120 DÍAS**

No. muestra	Altura (cm)	Diám. tronco (mm)	Ancho de hoja (cm)	Peso húm. (kg)	Peso seco (kg)	% del peso seco
1	285	14	32	0,304	0,077	25,32
2	286	12,2	40	0,450	0,124	27,55
3	276	15	38	0,330	0,082	24,84
4	285	13,10	40	0,416	0,106	25,48
5	296	15,40	42	0,350	0,092	26,28
<b>Promedio</b>	<b>285,6</b>	<b>13,94</b>	<b>38,4</b>			
<b>Peso total</b>						
<b>Peso promedio por planta</b>				<b>0,37 kg</b>		
<b>% peso MS</b>						<b>25,89</b>

La productividad promedio:  $0,37 \times 5 \times 10000 = 18,50$  ton/ha.

El incremento de la productividad del forraje por cada hectárea:  $(27,30 - 18,50) / 18,50 \cdot 100 \% = 47,56 \%$

#### **Resultados de la siembra en el campo de Recría**

Visualmente se puede observar que el cultivo (king grass) sembrado en la granja de calle 100 se desarrolla mejor que la misma siembra en la granja

Recría de Cotorro (E.II). En el mismo periodo de desarrollo de la siembra (120 días), la productividad del forraje en el campo de calle 100 fue dos veces mayor que la siembra en el campo de Recría, o sea, 27,30 t/ha contra 13,90 T/ha, respectivamente.

El resultado del análisis de pH indica que el suelo del campo Recría tiene un nivel de acidez mas bajo (hasta nivel de 4,5) que el del suelo del campo de la calle 100. Con esta relación se notó que el efecto de

la acción de escoria resultó más sensible en el incremento de la productividad del cultivo del suelo más ácido (56,18 % contra 47,56 %). Sin embargo, consideramos que otras características específicas del suelo se deben analizar con más profundidad.

## Análisis de ecotoxicidad

### Método experimental de análisis de lixiviación y toxicidad

Se realizaron análisis de la toxicidad de las escorias (blanca y negra) mediante un test de lixiviación. La lixiviación de las muestras de escorias se produjo con

ácido acético (0,5 molar), efectuado en el laboratorio del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM (España). Después de 24 horas del proceso de lixiviación, se realizó el análisis de concentración de los metales (Fe, Cr, Cu, Pb, Cd y Zn) en el lixiviado.

### • Resultado de análisis

Los resultados del análisis de la toxicidad de las escorias (blanca y negra) mediante un test de lixiviación efectuado en el laboratorio anteriormente mencionado se puede observar en la tabla 5 /3, 4/.

TABLA 5. ANÁLISIS DE TOXICIDAD (mg/L)

Elemento Lixiviado	Tipo de escoria			
	Blanca 1	Blanca 2	Negra 1	Negra 2
Pb	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Zn	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ni	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cu	< 0,03	< 0,03	< 0,04	< 0,04
Fe	< 0,09	< 0,09	< 0,08	< 0,09
Cr	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10

Para conocer los límites máximos permisibles de elementos que son dañinos al medio ambiente, se consultó con la Legislación Europea actual, y se compararon con los resultados obtenidos en esta prueba de toxicidad. La tabla 6 muestra los límites máximos de metales pesados en licores lixiviados de algunos elementos, según la Legislación Europea (CEE).

TABLA 6. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN LA LEGISLACIÓN EUROPEA (CEE) ACTUAL

Elemento	Límite máximo (mg / L)
Pb	0,20
Zn	0,20
Ni	-
Cu	0,10
As	0,50
Cr	0,20
Hg	0,005
Fe	Sin límite

Se puede observar que los resultados de la presente prueba de toxicidad son considerablemente inferiores a los límites permisibles según la CEE, lo que indica que las escorias de la primera prueba se pueden utilizar, sin que ello implique una afectación al medio ambiente.

Este factor es de suma importancia en la situación actual, *máxime* cuando en nuestro caso proyectamos la posible utilización de las escorias del proceso de HAE-HC, de forma general un residuo, en ciertas aplicaciones, lo cual deberá hacerse en condiciones medioambientales seguras.

### Consideraciones sobre el contenido de metales pesados en las escorias

En la tabla 7 se presentaron los resultados del análisis químico de las muestras de la escoria blanca, y de la escoria negra, tomadas en los años 2000 y 2003.

TABLA 7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ESCORIAS (%)

Elementos	Muestras 2003	Muestras 2000	Muestras 2003	Muestras 2000
-	Escoria blanca, %		Escoria negra, %	
P	-	0,017 4	0,268	0,351
S	<b>0,557</b>	<b>0,153</b>	<b>0,123</b>	<b>0,092 7</b>
Cl	<b>0,053 6</b>	<b>0,034 4</b>	-	<b>0,035 0</b>
F	<b>0,61</b>	<b>0,48</b>	-	<b>0,05</b>
CaO	51,17	44,73	29,65	38,60
SiO <sub>2</sub>	29,27	25,83	15,76	20,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>9,81</b>	<b>13,49</b>	<b>4,10</b>	<b>6,00</b>
MgO	6,18	9,31	4,48	4,64
MnO	0,571	1,97	4,16	6,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,571	3,09	38,89	21,22
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	<b>0,070 9</b>	<b>0,107</b>
WO <sub>3</sub>	-	<b>0,015 8</b>	<b>0,050 3</b>	<b>0,053 8</b>
BaO	<b>0,027 9</b>	<b>0,014 4</b>	<b>0,047 3</b>	<b>0,075 0</b>
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,059 7	1,14	1,25
CuO	0,010 9	0,015 1	0,028 9	0,022 7
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0,012 30</b>	<b>0,016 80</b>		<b>0,015 6</b>
SrO	<b>0,052 7</b>	<b>0,044 7</b>	<b>0,275</b>	<b>0,037 5</b>
ZrO <sub>2</sub>	<b>0,013 3</b>	<b>0,017 2</b>	<b>0,028 8</b>	<b>0,012 1</b>
Sum La... Lu	<b>0,025</b>	<b>0,039</b>	<b>0,173</b>	<b>0,136</b>
HfO <sub>2</sub>	<b>0,118</b>	<b>0,039 1</b>	<b>0,099</b>	<b>0,099 9</b>
Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	<b>0,012 7</b>	-	<b>0,033 7</b>	<b>0,013 7</b>
IrO <sub>2</sub>	<b>0,044 1</b>	-	<b>0,021 4</b>	<b>0,049 8</b>
PtO <sub>2</sub>	<b>0,012 9</b>	-	<b>0,021 1</b>	<b>0,022 6</b>
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	<b>0,036</b>	-
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	<b>0,057 4</b>	<b>0,027 9</b>
Na <sub>2</sub> O	<b>0,056 6</b>	-	<b>0,141</b>	<b>0,038</b>
K <sub>2</sub> O	<	<	<	<
PbO	<	<	<	<
CdO	<	<	<	<
NiO	<	<	<	<
HgO	<	<	<	<
ZnO	<	<	<	<

Se observó que la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Ni, Hg, Zn) no se detecta, se encuentran por debajo del límite de detección, que significa por debajo del valor de 100 ppm. El contenido del cobre oscila entre 92 y 127 ppm para la escoria blanca, y el contenido del cromo oscila entre 7 800 y 8 550 ppm para la escoria negra.

Para la evaluación de la concentración de metales pesados en las escorias de "Antillana de Acero", como punto de orientación se empleó la Legislación Europea (mientras no se tenga norma propia), donde los valores máximos de elementos tóxicos permisibles son los siguientes:

Cr – 1 500 ppm; Cu – 1 750 ppm; Zn – 4 000 ppm; Pb – 1 200 ppm; Ni – 400 ppm; As – 10 ppm; Hg – 25 ppm; Cd – 40 ppm.

De la tabla 7 podemos observar que el contenido de metales pesados en la escoria blanca es inferior al límite de peligro de tóxicos.

Por otra parte, el contenido de cromo en la escoria negra es muy elevado, oscila entre 7 800 y 8 550 ppm, superior del límite de peligro de tóxicos. Sin embargo, la concentración de los demás metales pesados (Ni, Cd, As, Hg, Zn) es menor al límite de la peligrosidad.

## Desarrollo mediante fotos



Foto 1. Tratamiento manual con "Fértiles" en el campo de pastos sembrado con king grass.



Foto 2. Campo de king grass después de 35 días del tratado con "Fértiles".



Foto 3. Campo de king grass después de 90 días del tratado con "Fértiles".



Foto 4. Campo de king grass después de 120 días del tratado con "Fértiles".

### ● Discusión de los resultados

La aplicación de la escoria metalúrgica de la acería Horno Arco Eléctrico (HAE) en el suelo ácido produce el mejoramiento de los indicadores de la siembra de cultivos en la productividad de forraje.

En dependencia de las condiciones del suelo, la productividad del cultivo se incrementará hasta alrededor del 30%. Además, se observó el incremento del diámetro del tronco y ancho promedio de hojas.

Se calculó que la aplicación de "Fértiles 50/50" con una dosis de cinco toneladas por hectárea, aportó al suelo los siguientes elementos: 3 kg de nitrógeno; 3,2 kg de fósforo; 2 kg de potasio; 1 200 kg de calcio; 190 kg de magnesio; 45 kg de hierro; 32 kg de manganeso; 9 kg de azufre. Estos minerales son elementos esenciales en la nutrición de los animales /2/.



### Conclusión y recomendación

1. *Mediante el tratamiento del suelo ácido con un producto de la mezcla de escoria metalúrgica con material orgánico se produce un incremento en la productividad (forraje de king grass) de 20 % hasta 40 %.*

2. *Se considera que el incremento del forraje de king grass por hectárea del suelo, provocará el aumento de la producción de leche, debido al incremento en peso del alimento del ganado.*

*Se estima que el incremento de cada litro de leche / ganado, equivale a 2,7 toneladas / año de leche en polvo (por cada 100 unidades), con valor de alrededor de 13.500 USD. Como base del cálculo, se emplearon los elementos de la referencia /2, 4/.*

3. *Se recomienda introducir la aplicación del producto "Fértiles" en el suelo ácido del municipio de Cotorro o en otros lugares semejantes, e incluso en algunos organopónicos de la capital.*

**4. La concentración de metales pesados en la escoria blanca está por debajo de límites tóxicos y además, según el análisis de lixiviación y ecotoxicidad, la concentración de metales pesados en el lixiviado es inferior a los límites de peligrosidad.**



## Bibliografía

1. FORMOSO, A.; A. CORRES; L. GARCÍA. "Sostenibilidad en la utilización agrícola de Escorias Siderúrgicas y beneficios medioambientales". En: *Taller del Proyecto "Alpha"*. Ciudad Habana, 2003.
2. RUÍZ PADRÓN, Teresa. *Conocimientos básicos de la suplementación de minerales en el ganado vacuno*. Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal-Ganadería Tropical (CIMA-GT), 2008.
3. SUWARDJO, W., y otros. "Escoria metalúrgica como material para mejoramiento de suelos: Extensión de la prueba de laboratorio a la prueba del campo". En: *1er Seminario del Producto Limpio*. Evento Instituto Argentina de Siderurgia (IAS), 2009.
4. OQUENDO LOVAINA, Gabriel. *Pastos y Forrajes*. Álvarez Calvo, J. (ed.). 2005.