

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Master:

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA
DE RÁBANO (RAPHANUS SATIVUS), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO
COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA”**

Realizado por:

NELSON FRANCISCO SÁNCHEZ MUÑOZ

Director del proyecto:

Ing. Katty Coral, MSc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, agosto 2021

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, NELSON FRANCISCO SÁNCHEZ MUÑOZ, con cédula de identidad # 171682859-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Nelson Francisco Sánchez Muñoz

C.I.: 171682859-3

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE
RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO
COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA”**

Realizado por:

NELSON FRANCISCO SÁNCHEZ MUÑOZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

ING. KATTY CORAL

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Ing. Katty Coral

DIRECTORA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:



JOHANNA MEDRANO



ALBERTO AGUIRRE

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

FIRMA

FIRMA

Quito, 27 de Agosto de 2021

DEDICATORIA

A mi esposa y mi hija.

AGRADECIMIENTO

A la empresa Acería del Ecuador C.A. Adelca por su ayuda y compromiso para que este trabajo de titulación llegue a feliz término.

A mi Directora de Tesis, Ing. Katty Coral, gracias por su apoyo.

A mi hermana Malena y Santiago, a ustedes les debo el estar aquí.

A Paulita y Gabriel, sin su apoyo ningún sueño se hubiese logrado.

A mis padres, gracias por enseñarme a luchar por lo que uno sueña

A mi jefe, Juan Alfonso, su apoyo ha sido incondicional en todo este tiempo.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción.....	3
Materiales y Métodos	6
Área de estudio	6
Objeto de estudio.....	8
Diseño muestral: siembra en macetas.....	9
Cosecha.....	15
Resultados	16
Discusión	35
Conclusiones	39
Bibliografía.....	40

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 1

Resumen

El proceso de una Acería inicia con la adición de chatarra ferrosa que se funde producto del calor generado por arco eléctrico al interior del horno EAF (Electric Arc Furnace). Como resultado final de la fundición, se obtiene acero líquido y una capa superficial denominada escoria. La escoria puede reciclarse de diversas maneras, aunque se ha utilizado más en la construcción de caminos, la escoria también puede ser utilizada como fertilizante. En un estudio de metales vía residuo y lixiviado que se realizó a la escoria, se comprobó la ausencia de contenidos significativos de metales pesados y carencia de toxicidad, por lo que puede ser utilizada como aportante de nutrientes para el crecimiento de plantas. El presente estudio buscó comprobar si la escoria resultante del horno eléctrico funciona como aditivo de compost, favoreciendo el crecimiento de rábano (*Raphanus Sativus*). El estudio se realizó bajo condiciones controladas en la parroquia de Alóag, donde los rábanos fueron sembrados en macetas aditivadas con diferentes porcentajes de escoria, y analizadas de manera periódica para corroborar el impacto de esta, en las dimensiones de los productos obtenidos (longitud de hojas y diámetro de rábanos) versus los resultados obtenidos en una muestra en blanco. Una vez finalizado el ciclo de cultivo del rábano se evidenció que la mezcla en la proporción 25% escoria – 75% tierra era la más idónea para el crecimiento de este, además el estudio realizado de contenido de metales para este producto determinó que el Plomo (Pb) y el Cadmio (Cd) se encuentran por debajo de los límites permitidos por el CODEX de la FAO, y por lo tanto, es un producto apto para el consumo humano.

PALABRAS CLAVE: Fundición, Escoria, Residuos, Lixiviación, Rábano, Metales pesados.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Abstract

The process of a Steelworks begins with the addition of ferrous scrap that melts as a result of the heat generated by an electric arc inside the EAF (Electric Arc Furnace) furnace. As a final result of the smelting, liquid steel and a surface layer called slag are obtained. Slag can be recycled in various ways, although it has been used more in road construction, slag can also be used as fertilizer. In a study of metals via residue and leachate that was carried out on the slag, the absence of significant contents of heavy metals and lack of toxicity was found, so it can be used as a contributor of nutrients for plant growth. The present study sought to verify if the slag resulting from the electric furnace works as a compost additive, favoring the growth of radish (*Raphanus Sativus*). The study was carried out under controlled conditions in the parish of Alóag, where the radishes were planted in pots added with different percentages of slag, and periodically analyzed to corroborate the impact of this, on the dimensions of the products obtained (length of leaves and radish diameter) versus the results obtained in a blank sample. Once the radish cultivation cycle was finished, it was evidenced that the mixture in the proportion 25% slag - 75% earth was the most suitable for the growth of this, in addition the study carried out on the content of metals for this product determined that Lead (Pb) and Cadmium (Cd) are below the limits allowed by FAO CODEX, and therefore, it is a product suitable for human consumption.

KEY WORDS: Smelter, Slag, Waste, Leaching, Radish, Heavy metals.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Introducción

La chatarra ferrosa (materia prima) se funde producto del calor generado por arco eléctrico al interior del horno EAF (Horno de Arco Eléctrico) (Marulanda *et al.*, 2012). Como resultado final del proceso de fundición se obtiene acero líquido fundido y una capa superficial denominada escoria (Bellart & Mesa, 2011). La escoria se genera por la oxidación de las impurezas y materiales de carga, y por la acción de los fundentes y el propio desgaste del revestimiento del horno (Rocha & Meléndez, 2009). En un proceso de fundición, la escoria puede ser definida como una fase que contiene sustancias inútiles de un mineral y que inevitablemente estará en cualquier operación pirometalúrgica que involucre la fundición de un metal (Lovera *et al.*, 2004).

El sector del acero es uno de los principales productores de residuos. Actualmente en la empresa de referencia del presente estudio, se generan 145 kg de escoria por cada tonelada de acero producido, siendo fácilmente imaginable el problema que supone una cantidad tan elevada de cualquier residuo y la necesidad de encontrar soluciones para su disposición final. A pesar de ello, se ha desarrollado varios procesos mediante los cuales la mayoría de los residuos se convierten nuevamente en recursos económicos (Khunte, 2018). En este sentido, el requisito de reducir el impacto ambiental y los costos de eliminación de las escorias ha llevado a estudiar y desarrollar diferentes estrategias para reciclarlos (Branca *et al.*, 2009). En el caso del impacto ambiental generado por la escoria, esta contiene metales pesados en concentraciones que son más altas que en la mayoría de los suelos (Gomes & Pinto, 2006). Por esta razón, se ha planteado preguntas sobre

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 4

la necesidad de evaluar los riesgos potenciales para la salud humana y el medio ambiente asociados con las aplicaciones actuales (Proctor, 2014). Sin embargo, en el estudio para el análisis de la valorización de escorias como material agregado para concreto (Asi *et al.*, 2007), se establece que la gravedad de los impactos generados en las actividades es baja o media, sin causar un daño permanente o irreversible a los recursos naturales (Parra & Sánchez, 2010).

Algunos usos para las escorias son: producción de concreto, cemento, como fertilizantes en la agricultura, como material adsorbente en el tratamiento de aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales y en la estabilización de bancas para los ríos (Rondón *et al.*, 2018). La utilización de escoria siderúrgica para la agricultura se caracteriza por favorecer la estabilización del pH del suelo, y por generar un incremento en la macro porosidad, beneficiando el transporte hídrico (Melendez *et al.*, 2001).

La utilización de la escoria como fertilizante es relativamente nuevo en la agricultura, esta favorece debido a su alto contenido de macronutrientes (Ca, P, S, K) y micronutrientes (Fe, Mo, Mn, Zn, Cu, Si), indispensables para la vida de las plantas (Dalmaso, 2005). De acuerdo con Sanabria & Grabowski (2017) el uso de escoria siderúrgica provoca resistencia en las plantas contra la enfermedad de pudrición de tallo en maíz generado por el complejo de hongos. Bajo esta premisa, la escoria siderúrgica de alto horno, se caracteriza por su alto contenido en silicio, elemento que se acumula en la epidermis de la hoja endureciendo el tejido y protegiendo así a la planta contra la penetración de patógenos (Pereira & Grabowski, 2015), en este contexto, algunos elementos como el silicio, son utilizados actualmente en todo el mundo como inductores de resistencia contra hongos fitopatógenos para un control natural y de bajo impacto químico en las plantas (Carmona *et al.*, 2010).

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Con estos antecedentes, la hipótesis definida fue: la escoria incide favorablemente como aditivo de compost en el crecimiento de una hortaliza como el rábano. Con esta hipótesis se orientó la formulación del objetivo principal, que consistió en analizar los efectos de la escoria en el desarrollo de una hortaliza: rábano (*Raphanus Sativus*) utilizando diferentes dosificaciones para establecer óptimos resultados, tomando como base los siguientes objetivos específicos: Evaluar la toxicidad a través de ensayos vía residuo y vía lixiviado de la escoria para la plantación de una hortaliza, como es el caso del rábano (*Raphanus Sativus*); verificar el desarrollo de los rábanos fertilizados con la escoria, utilizando dimensiones de los productos resultantes (longitud de hojas y diámetro de los rábanos) versus los resultados obtenidos en la muestra blanco, y finalmente; cuantificar la presencia de metales pesados en los rábanos cosechados y evaluar contra la Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el cantón Mejía, ubicado en el sector Sur-Oriente de la provincia de Pichincha, al Sur-Este de la hoya de Guayllabamba, en un valle que está regado por el río San Pedro. Su cabecera cantonal, Machachi, se encuentra a una distancia de 36.6 km de la ciudad de Quito y a 48.8 km de la ciudad de Latacunga. Actualmente, Mejía posee tres (3) áreas que se caracterizan por la calidad del suelo, las mismas son propicias para la ganadería, pues existe una gran superficie de pastos naturales y plantados, que se encuentran principalmente en la parte occidental. En las zonas elevadas se pueden hallar cultivos de papas, cebada, trigo, maíz, habas y hortalizas, fréjol, arveja, nabo, rábano, col, coliflor, zanahoria, camote, remolacha, ají, ajo, orégano y cebolla (Montoya & Erazo, 2013)

Figura 1. Ubicación Cantón Mejía



Realizado por: EcuRed (2019)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 7 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

La agricultura es una de las actividades predominantes de pequeños y medianos productores, la misma se ha dedicado a la exportación de flores, brócoli, entre otros, mientras que la ganadería es una actividad a la que se dedican grandes productores. El 56,91 % de las unidades de producción son menores a una hectárea; mientras que las propiedades de más de 200 hectáreas representan el 45 % del área total del cantón (Sáenz *et al.*, 2013)

Según el III Censo Nacional Agropecuario realizado en el año 2000, la mayor parte de la superficie del cantón corresponde a cultivos transitorios y barbechos, seguido por pastos (cultivados y naturales) y finalmente los montes y bosques, los cuales abarcan una superficie de 8105 ha, mientras que el resto del cantón corresponde a otras coberturas (IEE & GADPP, 2013).

Tabla 1. Unidades de producción agropecuaria (UPAs) y superficie por categoría de Cobertura del suelo del Cantón Mejía

Cobertura	UPAs	Superficie Sembrada
Cultivos Permanentes	215	421
Cultivos Transitorios y Barbecho	4121	5950
Descanso	426	674
Pastos Cultivados	1890	32541
Pastos Naturales	1403	5322
Páramos	173	15594
Montes y Bosques	691	16642
Otros usos	4446	2758
Total	13365	79901

Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 8

En este contexto, Mejía tiene tres (3) áreas que se caracterizan por la calidad de su suelo. En las partes altas se encuentran cultivos de papas, cebada, trigo maíz, habas, fréjol, arveja, rábano, col, coliflor, zanahoria, camote, remolacha, ají, ajo, orégano y cebolla. Por otra parte, en la zona cálida y húmeda de Tandapi se produce banano, café, limón, naranja, caña de azúcar y yuca (Arias & Pizanán, 2013).

Objeto de estudio

El objetivo del presente estudio consistió en analizar los efectos de la escoria en el desarrollo del rábano (*Raphanus sativus*) utilizando diferentes dosificaciones para establecer óptimos resultados. En el Ecuador el rábano corresponde a un cultivo empírico e importante, por el valor económico de su producción, su aporte nutricional, su ciclo de obtención relativamente corto, y por ser además una fuente de ingresos. En la actualidad el rábano se cultiva en muchos países del mundo, gracias a sus propiedades nutricionales y a su fácil adaptación especialmente en regiones templadas (Tito, 2005).

El rábano se produce por semillas, sin embargo, no necesita semillero y ocupa muy poco espacio; se siembra directamente en el terreno definitivo dejando alrededor de 3 cm de separación entre las semillas. Es posible escalonar la siembra en periodos muy cortos, por ejemplo cada diez días, y así disponer de una producción continua de rábanos frescos; los primeros que se siembren, pueden recolectarse unos 25 días después, ya que tienen un ciclo de crecimiento muy rápido (Vicent, 2013)

Al rábano le va bien en casi cualquier tipo de suelo, siempre que no sea excesivamente ácido (se puede corregir añadiendo cal). Obviamente, se obtienen mejores resultados si se dispone

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 9 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

de un suelo rico en materia orgánica, con algo de arena para que las raíces no crezcan apelmazadas, así se consiguen frutos más tiernos, además le conviene una exposición soleada y riego frecuentes (Carrera, 2015). Con el fin de analizar este particular, se realizó el análisis del pH tanto del suelo como de la escoria para reconfirmar que efectivamente se contaba con un suelo neutro o básico, que favorezca el crecimiento del rábano.

Diseño muestral: siembra en macetas

El presente estudio consistió en obtener una (1) muestra en blanco de suelo con tierra negra y cuatro (4) muestras de tierra negra aditivada con escoria en los siguientes porcentajes:

- Muestra 1: Tierra 100%
- Muestra 2: Tierra 75% - Escoria 25%
- Muestra 3: Tierra 50% - Escoria 50%
- Muestra 4: Tierra 25% - Escoria 75%
- Muestra 5: Escoria 100%

Previamente se realizó un estudio de toxicidad de la escoria a través de un ensayo de lixiviación con el fin de corroborar que la misma no pueda generar un daño al rábano que sería sembrado. Los estudios se realizaron con un laboratorio con acreditación SAE y bajo la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018, con el método 1311 - Procedimiento de Lixiviación Característica de Toxicidad de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos y evaluado con el Código Electrónico de Regulaciones Federales (e-CFR) de los Estados Unidos. Así mismo, se realizó un análisis de la toxicidad a través de un ensayo vía residuo mediante el método de fluorescencia de rayos X, comparándolo contra la Tabla 1.- Criterios de Calidad del Suelo del Acuerdo Ministerial 097-A.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 10 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

De manera adicional, se agregó una maceta con tierra negra al 100% aditivada con el químico YaraMila Complex, de tal manera que se pueda comparar el crecimiento de las semillas en tres ámbitos diferentes (Tierra, Tierra-Escoria y Tierra-Químico). De acuerdo con el fabricante del químico, se deben aplicar cuatro (4) quintales en un área de 6988,96 m², para el caso del presente estudio, el área de la maceta correspondía a 0,03 m², requiriendo una aplicación de 0,8 gramos. La composición del químico se indica en la **Tabla 2**:

Tabla 2. Abono NPK Complejo con micronutrientes

Composición	Porcentaje	Composición	Porcentaje
Nitrógeno (N) total	12%	Manganeso (Mn)	0,020%
Nitrógeno (N) Nítrico	5%	Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	7,7%
Nitrógeno (N) Amoniacal	7%	Óxido de Potasio (K ₂ O)	18%
Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	11%	Óxido de Magnesio (MgO)	2,7%
Trióxido de Azufre (SO ₃)	20%	Total	
Boro (B)	0,015%	Óxido de Magnesio (MgO)	1,3%
Hierro (Fe)	0,20%	Zinc (Zn)	0,020%

Realizado por: Autor (2021)

La siembra se realizó a las 14:00 del día 19 de abril, a una temperatura aproximada de 16 °C bajo un clima seco. Se establece que la época de siembra varía de acuerdo al lugar, a la especie, y según el tipo de producto que se desee, ya sea precoz o tardío, veraniego, otoñal o invernal. Como regla, en cualquier latitud o especie, la siembra o el traspaso al campo, debe concordar con el

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 11 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

periodo en el que se haya superado el riesgo de heladas o lluvias fuertes por la siembra normal precoz (Tito, 2005).

Figura 2. Macetas preparadas para la siembra



Realizado por: Autor (2021)

En la **Tabla 3** se detallan las muestras que fueron sembradas y sus datos iniciales:

Tabla 3. Descripción de las muestras de compost (suelo) realizadas para la siembra de semillas de rábano.

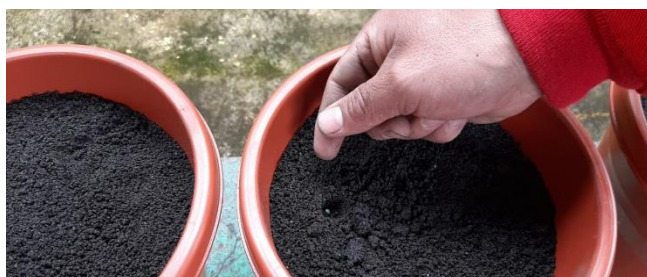
N° de muestra	% Compost (suelo)	% Escoria	Peso Total (Compost + escoria)
Muestra 1	100 %	0%	6,20 kg
Muestra 2	75%	25%	7,83 kg
Muestra 3	50%	50%	9,45 kg
Muestra 4	25%	75%	11,08 kg
Muestra 5	0%	100%	12,7 kg
Muestra 6	Tierra más químico		6,20 kg

Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 12 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Una vez realizada esta mezcla en porcentajes equivalentes para la siembra del rábano, se procedió con la colocación de las semillas en cada una de las macetas. Las semillas se plantaron a un (1) cm de la superficie del suelo, tomando como referencia que las plántulas de rábano emergen con mayor facilidad cuando estas son colocadas a esa profundidad (Reeves *et al.*, 1981).

Figura 3. Siembra de rábano en maceta



Realizado por: Autor (2021)

La fuente de abastecimiento de agua fue el pozo ubicado en el área de Gestión Integral, para corroborar que el agua cumplía con los estándares mínimos de calidad para el riego, se realizó un monitoreo de la misma a través de un laboratorio con acreditación SAE y bajo la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2018. Los valores obtenidos se compararon contra la Tabla 3: Criterios de Calidad de Aguas para Riego Agrícola del Anexo 1, correspondiente al Acuerdo Ministerial 097-A.

El riego para el cultivo de rábano debe ser abundante al inicio de la siembra, y posteriormente, se procurará mantener la tierra húmeda (Torrez, 2011). La falta de agua ocasiona que la raíz se vuelva más dura, pero cuando hay cambios extremos en la humedad del suelo, las raíces se agrietan perdiendo su calidad (Tercero & Portillo, 2012).

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 13

Figura 4. Riego inicial de las macetas con semillas de rábano



Realizado por: Autor (2021)

Para estudiar la efectividad de la escoria como aditivo del compost, las pruebas se realizaron bajo condiciones controladas. Se realizó un riego inicial con una (1) jarra de un (1) litro de agua en cada una de las macetas, esto permitió humedecer la tierra para precautelar el crecimiento de la semilla de rábano. Posteriormente, se realizó un riego por chorro de agua de manera manual a través de la misma jarra, aplicando de manera equitativa la misma cantidad a cada una de las macetas objeto de este estudio.

Cabe mencionar que cada una de las macetas tenía un duplicado con el fin de corroborar como se iba desarrollando en el tiempo cada una de las semillas plantadas y contrastar si su crecimiento era el mismo tanto en la muestra inicial como en la duplicada. Este análisis estadístico consistió en medir el diámetro de las hojas y su crecimiento cada diez (10) días a cada una de las ocho (8) pruebas sembradas, cuyos resultados se expresaron en promedio $\pm$ desviación estándar.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 14 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Figura 5. Imagen referencial de la medición realizada al diámetro de las hojas.



Realizado por: Autor (2021)

El crecimiento se midió a través de un calibrador (pie de rey) digital marca Mitutoyo, mismo que se encontraba calibrado a través de un Laboratorio certificado y con una vigencia de un año a partir de su calibración.

Figura 6. Certificado de calibración pie de rey



Realizado por: Autor (2021)

La verificación de las medias de crecimiento de las hojas de cada una de las muestras se realizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, este método permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de distintas poblaciones coinciden (Terradez & Juan, 2003).

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 15 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Mientras que la verificación de medias de crecimiento del diámetro del rábano, se realizó a través del método post hoc de Dunn, que sirve para comparar las diferencias existentes entre todas las variables obtenidas (Bakieva *et al.*, 2015).

Cosecha

Para Velecela *et al.* (2019), el *Raphanus Sativus* se puede cosechar en un rango de 15, 30 y 45 días, eso dependerá del rendimiento o la producción. En el caso del presente estudio, la cosecha se realizó a los 43 días, para lo cual se contrató un laboratorio externo para la toma in situ de las muestras de rábano que mayor tamaño presentaban y verificar si estos podían ser comestibles comprobando la concentración de metales presentes.

El método utilizado para verificar la presencia de metales pesados en el rábano se conoce como Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) (Quero *et al.*, 2017), para verificar la presencia de Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Níquel y Zinc. La digestión ácida se llevó a cabo con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno, con base en la recomendaciones del Standard Methods 19ed. 1995 (IDEAM, 2004).

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Resultados

Previo al inicio de la siembra en macetas, se corroboró que tanto el compost (suelo) como la escoria no tuvieran un pH ácido, los resultados obtenidos se indican en la **Tabla 4**. De manera adicional, en el estudio de metales en lixiviado que fue realizado a la escoria, bajo el método 1311 - Procedimiento de Lixiviación Característica de Toxicidad de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, corroboró la ausencia de contenidos significativos de metales pesados y carencia de toxicidad, de acuerdo con el Código Electrónico de Regulaciones Federales (e-CFR) de los Estados Unidos tal como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 4. pH obtenidos del compost y la escoria

Muestra	pH
Tierra agrícola (suelo – compost)	6,90
Escoria	10,10

Realizado por: Autor (2021)

Tabla 5. Concentración de metales pesados en escoria vía lixiviado

Contaminante	CAS No.	Valores obtenidos (mg/L)	Nivel reglamentario (mg/L)
Arsénico	7440-38-2	<0.005	5
Bario	7440-39-3	2.3	100

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Tabla 5. (cont.)

Contaminante	CAS No.	Valores obtenidos (mg/L)	Nivel reglamentario (mg/L)
Cadmio	7440-43-9	<0.001	1.0
Cromo	7440-47-3	<0.002	5
Mercurio	7439-97-6	<0.001	0,2
Plata	7440-22-4	<0.001	5
Plomo	7439-92-1	<0.005	5
Selenio	7782-49-2	<0.01	1.0

Realizado por: Autor (2021)

De igual manera, el estudio de metales vía residuo que fue realizado a la escoria, bajo el método de fluorescencia de rayos X, evidenció la ausencia de metales pesados y la presencia de un contenido significativo de Cromo y Plomo, de acuerdo con la Tabla 1.- Criterios de Calidad del Suelo del Acuerdo Ministerial 097-A tal como se muestra en la **Tabla 6**:

Tabla 6. Concentración de metales pesados en escoria vía residuo

Contaminante	CAS No.	Valores obtenidos (mg/kg)	Nivel reglamentario (mg/kg)
Cadmio	7440-43-9	<0.0001	0.5
Cromo	7440-47-3	6600	54
Mercurio	7439-97-6	<0.00061	0,1

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 18

Tabla 6. (cont.)

Contaminante	CAS No.	Valores obtenidos (mg/kg)	Nivel reglamentario (mg/kg)
Plomo	7439-92-1	110	19
Selenio	7782-49-2	<0.00011	1

Realizado por: Autor (2021)

A continuación, se indican los resultados obtenidos del seguimiento realizado a las muestras sembradas en macetas durante el lapso de 40 días, con intervalos de tiempo de 10 días. Durante este lapso se midió la longitud de las hojas.

Tabla 7. Primer seguimiento realizado al crecimiento de las muestras (10 días)

N° de muestra	% Compost	% Escoria	28/04/2021	
			Muestra 1 (tamaño hoja)	Duplicado (tamaño hoja)
Muestra 1	100 %	0%	15,22 mm	15,53 mm
Muestra 2	75%	25%	13,22 mm	16,73 mm
Muestra 3	50%	50%	13, 52 mm	12,49 mm
Muestra 4	25%	75%	14,86 mm	14,67 mm
Muestra 5	0%	100%	15,66 mm	13,18 mm
Muestra 6	Tierra 100% más químico		8,08 mm	10,10 mm

Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 19 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Figura 7. Muestra 100% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 8. Muestra 25% escoria – 75% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 9. Muestra 50 % tierra – 50% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 10. 75 % escoria – 25 % tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 11. Muestra 100% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 12. 100 % tierra – abono químico



Realizado por: Autor (2021)

Se evidencia un crecimiento similar en las muestras durante la primera revisión realizada el 28 de abril. La siguiente revisión se llevó a cabo doce (12) días después, los resultados de la muestra se indican a continuación:

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 20 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Tabla 8. Segundo seguimiento realizado al crecimiento de las muestras (22 días)

N° de muestra	% Compost	% Escoria	10/05/2021	
			Muestra 1	Duplicado
Muestra 1	100 %	0%	27,06 mm	22,97 mm
Muestra 2	75%	25%	23,81 mm	32,72mm
Muestra 3	50%	50%	22,91 mm	15,83 mm
Muestra 4	25%	75%	22,49 mm	24,84 mm
Muestra 5	0%	100%	16,40 mm	22,77 mm
Muestra 6	Tierra 100% más químico		23,00 mm	27,80 mm

Realizado por: Autor (2021)

Figura 13. Muestra de rábano 100% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 14. Muestra 25% escoria – 75% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 15. Muestra 50 % tierra – 50% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 16. 75 % escoria – 25 % tierra



Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 21 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Figura 17. Muestra 100% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 18. 100 % tierra – abono químico



Realizado por: Autor (2021)

Se evidenció un cambio entre la primera toma realizada el 28 de abril y la segunda revisión del 10 de mayo, a parte del tamaño, se verificó el florecimiento de hojas nuevas en el rábano. A pesar de notar un aumento de tamaño en todas las macetas, empezaron a despuntar los rábanos que se encuentran en las macetas de 100% tierra, 75% tierra – 25% escoria y 100% tierra con químico.

Tabla 9. Tercer seguimiento realizado al crecimiento de las muestras (32 días)

N° de muestra	% Compost	% Escoria	20/05/2021	
			Muestra 1	Duplicado
Muestra 1	100 %	0%	23,84 mm	28,13 mm
Muestra 2	75%	25%	26,15 mm	33,78 mm
Muestra 3	50%	50%	23,40 mm	19,07 mm
Muestra 4	25%	75%	23,41 mm	27,29 mm
Muestra 5	0%	100%	16,99 mm	23,35 mm
Muestra 6	Tierra 100% más químico		34,63 mm	35,50 mm

Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 22 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Figura 19. Muestra de rábano 100% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 20. Muestra 25% escoria – 75% tierra



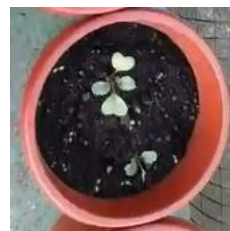
Realizado por: Autor (2021)

Figura 21. Muestra 50 % tierra – 50% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 22. 75 % escoria – 25 % tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 23. Muestra 100% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 24. 100 % tierra – abono químico



Realizado por: Autor (2021)

En esta tercera revisión se evidenció que algunos rábanos tuvieron una restricción de crecimiento de hojas, principalmente en aquellas macetas donde había una concentración de escoria del 50% o más. Se constataron hojas más grandes y crecimiento de más hojas en la maceta con tierra al 100% y tierra al 100% con químico.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Tabla 10. Cuarto seguimiento realizado al crecimiento de las muestras (43 días)

N° de muestra	% Compost	% Escoria	31/05/2021	
			Muestra 1	Duplicado
Muestra 1	100 %	0%	27,85 mm	31,97 mm
Muestra 2	75%	25%	32,71 mm	37,81 mm
Muestra 3	50%	50%	23,77 mm	21,72 mm
Muestra 4	25%	75%	24,79 mm	26,75 mm
Muestra 5	0%	100%	18,90 mm	23,95 mm
Muestra 6	Tierra 100% más químico		52,49 mm	56,19 mm

Realizado por: Autor (2021)

Figura 25. Muestra de rábano 100% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 26. Muestra 25% escoria – 75% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 27. Muestra 50 % tierra – 50% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 28. 75 % escoria – 25 % tierra



Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 24 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Figura 29. Muestra 100% escoria



Realizado por: Autor (2021)

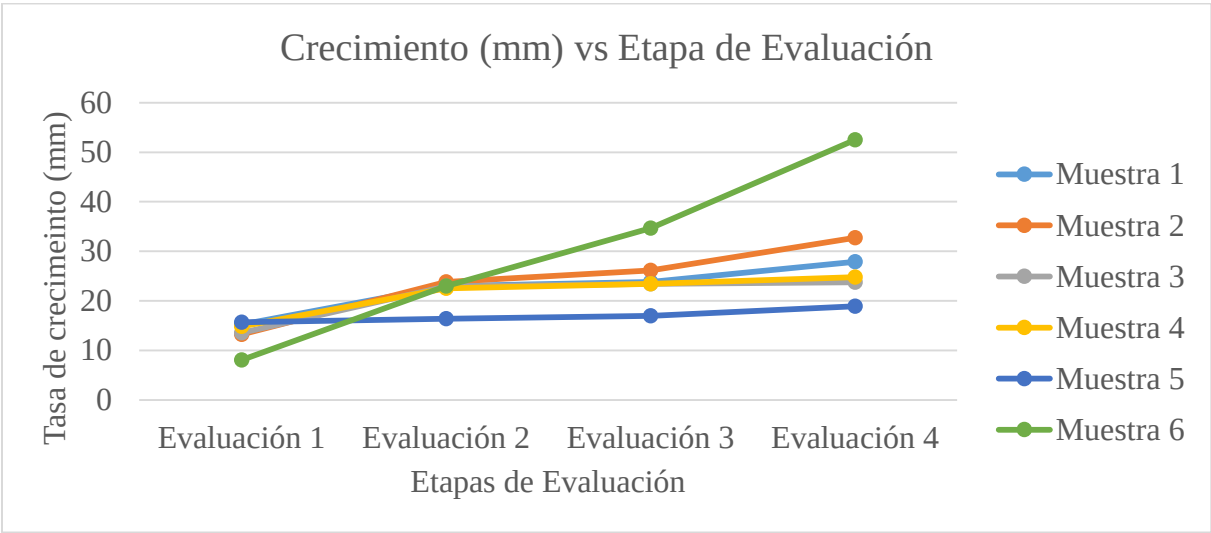
Figura 30. 100 % tierra – abono químico



Realizado por: Autor (2021)

En esta última revisión se mantuvo la restricción de crecimiento de hojas, principalmente en aquellas macetas donde había una concentración de escoria del 50% o más. A diferencia de la tercera revisión, se evidenciaron hojas más grandes y crecimiento de más hojas en la maceta con tierra al 75% - escoria 25% y tierra al 100% con químico. En la **Figura 31** se evidencia el crecimiento de las hojas de rábano en las cuatro etapas que duró el proyecto:

Figura 31. Crecimiento de las muestras por cada etapa de evaluación

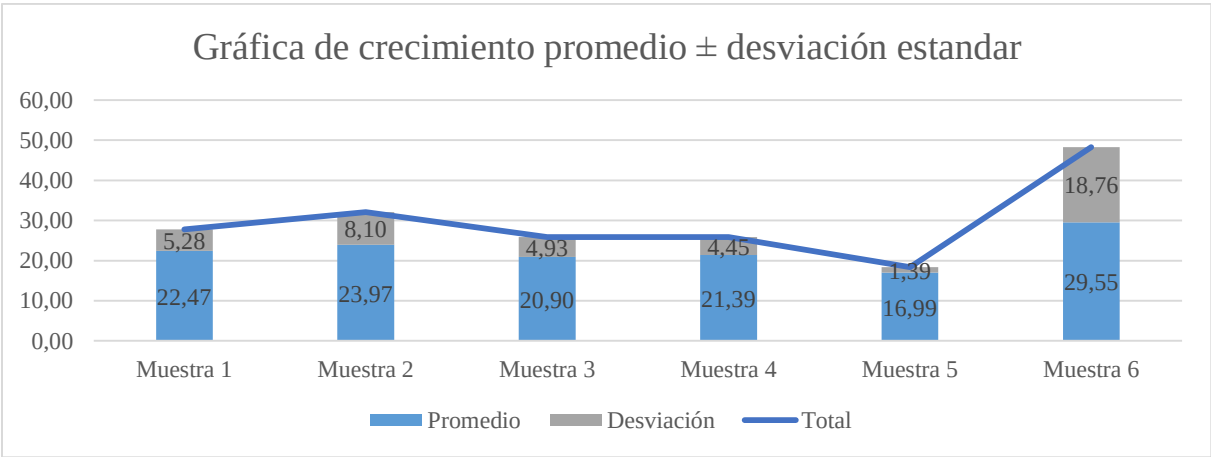


Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 25 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Se evaluó el diferencial promedio de crecimiento total a lo largo de las 4 etapas (**Figura 32**), donde se obtuvieron resultados alentadores para los rábanos que se sembraron en tierra 100% con químico, en segundo lugar tierra 75% - escoria 25% y finalmente, en tercer lugar tierra 100%. Estas muestras fueron las que más se desarrollaron durante la ejecución del proyecto tal como se puede apreciar en la Figura 32.

Figura 32. Gráfica de crecimiento promedio del rábano



Realizado por: Autor (2021)

A continuación, se indican los porcentajes de crecimiento de todas las muestras tomando en consideración la etapa inicial y la final, donde se corrobora que la muestras 100% tierras más químico, 75% tierra - 25% escoria y 100% tierra respectivamente, fueron las más idóneas para el crecimiento del rábano.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 26 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Tabla 11. Tabla de crecimiento porcentual

N° de muestra	% Compost	% Escoria	Etapa inicial	Etapa final	% de Crecimiento de las hojas
			28/04/2021	31/05/2021	
Muestra 6	Tierra 100% más químico		8,08	52,49	85%
Muestra 2	75%	25%	13,22	32,71	60%
Muestra 1	100%	0%	15,22	27,85	45%
Muestra 3	50%	50%	13,52	23,77	43%
Muestra 4	25%	75%	14,86	24,79	40%
Muestra 5	0%	100%	15,66	18,9	17%

Realizado por: Autor (2021)

La verificación de las medias de crecimiento de las hojas de cada una de las muestras se realizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) de un factor utilizando el software libre Past4.04, a continuación, se muestran los resultados:

1. Definición de las variables:

- **Variable Independiente:** Tipos de mezclas (Cualitativa)
- **Variable Dependiente:** Crecimiento de hojas (Cuantitativa)

2. Definición de la Hipótesis

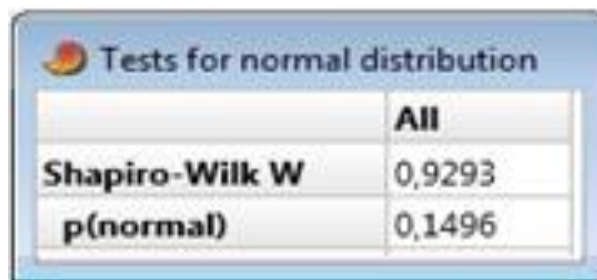
- **H0:** No existen diferencias significativas entre las medias de crecimiento de las hojas.
- **H1:** Existen diferencias significativas entre las medias de crecimiento de las hojas.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

3. Requisitos

- **Tipo de variable:** La variable dependiente crecimiento de hojas en este caso es cuantitativa continua.
- **Independencia:** Se cumple con la condición de independencia pues los tipos de mezclas de compost con escoria son independientes entre sí.
- **Normalidad:** Aplicando el test de normalidad se tiene un valor estadístico (Shapiro-Wilk) de $W = 0,9293$ y una probabilidad de $p(\text{normal}) = 0,1496$. Por lo tanto, es normal.

Figura 33. Gráfico de normalidad de la variable dependiente Crecimiento



	All
Shapiro-Wilk W	0,9293
p(normal)	0,1496

Realizado por: Autor (2021)

- **Homocedasticidad:** Finalmente analizamos la homogeneidad de la varianza. En este caso aplicamos el test de Levene. Podemos ver que el valor de p es de 0,409 que es mayor a 0,05.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 28 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Tabla 12. Análisis del Test No Paramétrico Univariante

Variable Independiente		Variables Normales	Variables No Normales	Test Seleccionado
Tipo de muestras		X	-	ANOVA de Una Vía
2 niveles	Más de 2 niveles			
-	X			

Realizado por: Autor (2021)

Al existir Homocedasticidad se toma el test ANOVA de una vía, donde el valor de p es de 0,4511 mayor a 0,05, por lo tanto se acepta la H0: No existen diferencias significativas entre las medias de crecimiento de las hojas. Al final del proyecto se realizó la cosecha del rábano, a continuación, se indican los resultados obtenidos de los rábanos cosechados y la longitud de su diámetro:

Tabla 13. Longitud del diámetro del rábano cosechado

N° de muestra	% Compost	% Escoria	31/05/2021	
			Muestra 1	Duplicado
Muestra 1	100 %	0%	15,29 mm	17,37 mm
Muestra 2	75%	25%	16,23 mm	22,68 mm
Muestra 3	50%	50%	6,02 mm	9,19 mm
Muestra 4	25%	75%	11,50 mm	9,48 mm

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 29

Tabla 13. (cont.)

N° de muestra	% Compost	% Escoria	31/05/2021	
			Muestra 1	Duplicado
Muestra 5	0%	100%	3,03 mm	2,61 mm
Muestra 6	Tierra 100% más químico		10,74 mm	25,14 mm

Realizado por: Autor (2021)

La verificación de las medias de crecimiento del diámetro del rábano se realizó a través de una prueba post hoc de Dunn en el software libre Past4.04, a continuación, se muestran los resultados:

4. Definición de las variables:

- **Variable Independiente:** Tipos de mezclas (Cualitativa)
- **Variable Dependiente:** Diámetro del rábano (Cuantitativa)

5. Definición de la Hipótesis

- **H0:** No existen diferencias significativas entre las medias del diámetro del rábano.
- **H1:** Existen diferencias significativas entre las medias del diámetro del rábano.

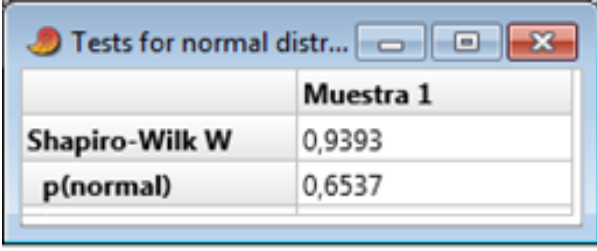
6. Requisitos

- **Tipo de variable:** La variable dependiente crecimiento del diámetro del rábano en este caso es cuantitativa continua.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 30 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

- **Independencia:** Se cumple con la condición de independencia pues los tipos de mezclas de compost con escoria son independientes entre sí.
- **Normalidad:** Aplicando el test de normalidad se tiene un valor estadístico (Shapiro-Wilk) de $W = 0,9393$ y una probabilidad de $p(\text{normal}) = 0,6537$. Por lo tanto, es normal.

Figura 34. Gráfico de normalidad de la variable dependiente – Diámetro rábano



	Muestra 1
Shapiro-Wilk W	0,9393
p(normal)	0,6537

Realizado por: Autor (2021)

- **Homocedasticidad:** Finalmente analizamos la homogeneidad de la varianza. En este caso aplicamos el test de Levene. Podemos ver que el valor de p es $6,559E-92$ que es menor a $0,05$. Al no existir Homocedasticidad se toma el test de Welch, donde el valor de p es de $0,02539$ menor a $0,05$, por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 : Existen diferencias significativas entre las medias del diámetro del rábano.

En este caso se necesita saber entre qué niveles concretamente se da esta diferencia. Se pueden comparar todas las parejas posibles con pruebas post hoc, llamadas así porque se aplican sólo después de constatar que existen diferencias significativas entre los niveles. Para el caso de variables normales utilizó una prueba de Dunn, donde se determinó que las diferencias significativas entre los diámetros del rábano se dieron principalmente con la muestra 6, es decir, la

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 31 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

media del diámetro de la muestra 100% escoria difería con las muestras 100% tierra, 75% tierra – 25% escoria y 100% tierra más químico. Por lo tanto, podemos decir que no existen diferencias significativas entre las medias de crecimiento de las muestras 100% tierra, 75% tierra – 25% escoria y 100% tierra más químico.

Figura 35. Comparación de las medias obtenidas del diámetro del rábano

Several-sample tests						
One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise	Dunn's post hoc	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Muestra 1		0,7815	0,1272	0,4054	0,03751	1
Muestra 2	0,7815		0,07142	0,2673	0,0184	0,7815
Muestra 3	0,1272	0,07142		0,4881	0,5791	0,1272
Muestra 4	0,4054	0,2673	0,4881		0,212	0,4054
Muestra 5	0,03751	0,0184	0,5791	0,212		0,03751
Muestra 6	1	0,7815	0,1272	0,4054	0,03751	

Realizada por: Autor (2021)

Figura 36. Muestra de rábano 100% tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 37. 25% escoria – 75% tierra



Realizado por: Autor (2021)

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 32 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Figura 38. 50 % tierra – 50% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 39. 75 % escoria – 25 % tierra



Realizado por: Autor (2021)

Figura 40. Muestra 100% escoria



Realizado por: Autor (2021)

Figura 41. 100 % tierra – abono químico



Realizado por: Autor (2021)

Las muestras de los rábanos cosechados fueron entregadas a un laboratorio externo certificado para medir la concentración de metales pesados que estuvieran presentes en las tres muestras que mayor crecimiento presentaron, en la **Tabla 14** se indican los resultados:

Tabla 14. Concentración de metales pesados en la muestra total de rábano, hojas y tubérculo hipocotíleo.

N° de muestra	% Compost	% Escoria	Cr	As	Ni	Cd	Pb	Co	Mo	Vn
			mg/kg	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/kg	ug/L	ug/d	ug/L
Muestra 6	Tierra más químico		<0,09	<0,09	<0,07	<0,05	<0,1	<1	<2000	0,04

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 33 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Tabla 14. (cont.)

N° de muestra	%	%	Cr	As	Ni	Cd	Pb	Co	Mo	Vn
			mg/kg	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/kg	ug/L	ug/d	ug/L
Muestra 2	75%	25%	<0,09	<0,09	<0,07	<0,05	<0,1	<1	<2000	0,04
Muestra 1	100%	0%	<0,09	<0,09	<0,07	<0,05	<0,1	<1	<2000	0,04

Realizado por: Autor (2021)

En la **Tabla 15** se detallan los límites máximos permisibles para contaminantes en metales y que se encuentran establecidos en la Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos:

Tabla 15. Niveles máximos y niveles de referencia para contaminantes y toxinas en los alimentos

Contaminante	CAS No.	Nivel máximo (mg/kg)
Cadmio	7440-43-9	0.05
Plomo	7439-92-1	0.1

Realizado por: Autor (2021)

Se puede observar que los resultados de la **Tabla 14** correspondientes a la prueba de toxicidad son inferiores a los límites permisibles según el CODEX de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, lo que indica que el rábano plantado puede ser apto para el consumo humano. Este factor es de suma importancia en la situación actual, cuando

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 34

se proyecta la posible utilización de la escoria del proceso de Horno Eléctrico, de forma general un residuo, en ciertas aplicaciones, lo cual deberá hacerse en condiciones medioambientales segura.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Discusión

La industria del acero es una gran generadora de residuos, es así que una buena gestión de los mismos colaborará en la reducción de los impactos ambientales asociados a la producción del acero (Andrés *et al.*, 2011). En el Ecuador el principal residuo especial generado de acuerdo con el Módulo de Información Ambiental Económica en Empresas del INEC 2016, son las escorias de acería, que alcanzan el 49 % del total de los residuos especiales producidos. Para Madías (2015), la industria siderúrgica genera unas 400 Mt/año de escoria y su uso robustece la sustentabilidad de la industria, ya que ayuda a preservar los recursos naturales y reducir las emisiones de CO₂, consecuentemente es primordial el reciclaje para que sirvan de componente en otros productos útiles para diversas actividades. Por lo anteriormente expuesto, el presente estudio se basó en la necesidad de buscar una solución sostenible y que permitiera reutilizar un residuo tomando como base fundamental la Economía Circular, de esta manera poder aplicar la escoria como aditivo para la agricultura.

En otros estudios similares, se ha utilizado la escoria como filtro para la remoción de fósforos a través de un proceso de adsorción. De acuerdo con Guevara (2016), en ese estudio se concluyó que la composición química de la escoria tiene el potencial de reducir la concentración de fósforos en los efluentes provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, la implementación de dicha tecnología brinda la oportunidad a empresas dedicadas a la manufactura de acero y a plantas de tratamiento de aguas residuales de trabajar en sinergia y con ello poder minimizar el impacto ambiental, fomentando el desarrollo sostenible en la industria para minimizar la cantidad de residuos.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 36 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Para efectos del presente estudio se evidenció que la aplicación de la escoria metalúrgica del Horno Arco Eléctrico (HEA) produce un mejoramiento de los indicadores de la siembra de rábano, lo cual se puede constatar en el tamaño de las hojas y diámetro del rábano entre las muestras 100% tierra y 75 % tierra – 25 % escoria. De acuerdo con Mihalache *et al.* (2016), los resultados de su estudio indicaron que la escoria se puede utilizar con éxito para corregir la acidez del suelo, para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo y el aumento de la fertilidad de este. La escoria de acero se ha utilizado con éxito como sustituto de la piedra caliza para neutralizar la acidez en suelos agrícolas por muchos años, además, a sus beneficios de encalado, la escoria contiene nutrientes que pueden mejorar el crecimiento de las plantas y contiene silicio que se ha demostrado que aumenta los rendimientos de cultivos de pasto, como arroz y caña de azúcar y también ayuda a los cultivos a defenderse de enfermedades (Chand *et al.*, 2015).

Existen otros estudios donde la escoria ha sido ampliamente utilizada como fertilizante para el crecimiento de hortalizas o cereales. La viabilidad de la escoria de acero utilizada como fertilizante de hierro se estudió en un experimento de maceta con maíz. La escoria se añadió a dos suelos calcáreos deficientes en hierro, los resultados mostraron que dosis moderadas aumentó sustancialmente el rendimiento de materia seca del maíz, de manera adicional la aplicación de escoria de acero aumentó la concentración residual de bicarbonato de amonio-ácido dietilentriamina pentaacético (AB-DTPA) extractable en suelos (WANG & CAI, 2006). De manera adicional, se realizó un estudio similar donde se plantó maíz en maceta utilizando 3 kg de tierra seca al aire y posteriormente tamizada, mezclada homogéneamente con escoria a diferentes proporciones. Los resultados obtenidos demostraron que las plantas de maíz que mayor altura alcanzaron fueron aquellas donde se utilizaba escoria como material encalante a diferencia del tratamiento testigo, en el cual se utilizaba únicamente tierra (Encina, 2017).

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

En la década de 1930, la escoria metalúrgica era utilizada como enmienda agrícola en Alabama, Illinois, Indiana, Kentucky, Maryland, Nueva York, Ohio, Pensilvania y Virginia Occidental. Ciertos autores informaron sobre ensayos de campo en Pensilvania donde se produjeron cosechas de maíz, trigo, avena, alforfón y soja con escoria metalúrgica. Además de materiales de encalado, la escoria metalúrgica contiene varias concentraciones de nutrientes vegetales como fósforo, azufre, manganeso, hierro y molibdeno. La escoria metalúrgica contiene cantidades significativas de silicato de calcio, y varios cultivos, incluidos el trigo, el arroz y la caña de azúcar mostraron respuestas de crecimiento positivas al silicato, incluso el silicio ha demostrado que resiste las infecciones fúngicas en el césped (Stanojkovic-sebic *et al.*, 2017).

Se estudió el efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento del rábano en la Universidad de Gomel, los datos medios mostraron claramente que el diámetro de la raíz del rábano aumentó en cada nivel de nitrógeno. El diámetro máximo de la raíz fue de 4.87 cm mientras que el diámetro mínimo de la raíz fue de 1,82 cm (Razzaque *et al.*, 2017). En el presente estudio, el diámetro mayor del rábano se dio en la maceta con mezcla 75% tierra – 25% escoria obteniendo una hortaliza de 2,27 cm, mientras que la hortaliza de menos diámetro se obtuvo en la maceta de 100% escoria con un valor de 0,26 cm.

En dependencia de las condiciones del suelo, el tamaño de las hojas de rábano se incrementará hasta alrededor del 30 %. Adicional, se observó el incremento del diámetro del tronco y ancho promedio de hojas (Suwardjo *et al.*, 2013). Mientras tanto, en el presente estudio y en concordancia con las condiciones del suelo, el tamaño de las hojas se incrementó en un 23%.

Como residuo de las industrias del acero, la escoria utilizada ha demostrado tener un gran y sostenible potencial para reducir la acumulación de Cd en el grano de arroz. El pH mejorado del suelo y el contenido de Silicio disponible del suelo pueden contribuir a disminuir la concentración

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 38

disponible de metales pesados al reducir la movilidad de los metales y unir los metales en fracciones más estables (Ning *et al.*, 2016). Para el caso de este proyecto, se demostró que el Cadmio se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles (0,05 mg/kg) establecidos en el CODEX de la FAO. De igual manera, el pH ha permitido generar una mejora en el suelo, obteniéndose un suelo más básico y propicio para el crecimiento del rábano.

Después del estudio ANOVA realizado a los resultados del tamaño de las hojas del rábano, se aceptó la Hipótesis Nula, por lo tanto, las medias de crecimiento de las hojas del rábano no presentan diferencias significativas. Esto se debe a que las hojas crecieron fuera de la zona de influencia de la tierra o la escoria, y donde la luz es uno de los factores determinantes en el crecimiento, en diámetro y altura de las plantas (Ochoa & Mendoza, 2015). Sin embargo, en el análisis post hoc de Dunn realizado a los valores diámetro del rábano se determinó que las medias de crecimiento del diámetro del rábano presenta diferencias significativas, entre la muestra 100% escoria y las muestras 100% tierra, 75% tierra – 25% escoria y 100% tierra más químico, esto se debe a que la tierra tiene una densidad de 365 kg/m^3 mientras que la escoria tiene una densidad de 16000 kg/m^3 . De acuerdo Carrera (2015), se obtienen mejores rábanos si se dispone de un suelo rico en materia orgánica, con algo de arena para que las raíces no crezcan apelmazadas. Es por esto que se obtuvieron mejores resultados, y por lo tanto rábanos más grandes en las muestras de 100% tierra y 75% tierra – 25% escoria, donde había una mayor incidencia de la tierra.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA 39

Conclusiones

Mediante la utilización de escoria ferrosa se logró un incremento del 23% en el crecimiento del rábano en comparación de la muestra 200% tierra.

Los estudios de lixiviación en metales realizado a la escoria permitió corroborar que la concentración de metales pesados en el lixiviado es inferior a los límites de peligrosidad establecidos en la e-CFR de Estados Unidos. Sin embargo, el estudio de metales vía residuo presentó un contenido significativo de cromo y plomo comparado con la Tabla 1 del Acuerdo Ministerial 097-A.

La escoria puede ser utilizada como aditivo de compost para mejorar el aporte de nutrientes y desarrollo de la hortaliza sembrada cuando se presenta una mezcla de 75% compost (suelo) – 25% escoria.

De los resultados obtenidos en el estudio de metales para el consumo de alimentos realizado al rábano, se obtuvo que tanto el cadmio como el arsénico se encuentran bajo los límites máximos permisibles.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE
RÁBANO (RAPHANUS SATIVUS), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 40
COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Bibliografía

III Censo Nacional Agropecuario 2 000 – MAG/SICA-INEC

Cantón Mejía (Ecuador). (2019, julio 29). EcuRed,. Consultado el 20:41, julio 4, 2021 en
[https://www.ecured.cu/index.php?title=Cant%C3%B3n_Mej%C3%ADa_\(Ecuador\)&oldid=3480427](https://www.ecured.cu/index.php?title=Cant%C3%B3n_Mej%C3%ADa_(Ecuador)&oldid=3480427).

Andrés, S., Álvarez, V., Villanueva, J., & Rodríguez, F. (2011). *Ajuste en el proceso de producción del acero para disminuir el impacto medioambiental asociado a la generación de escoria*. 6–8.

Arias, J., & Pizán, E. (2013). *Análisis de los factores que determinan la sostenibilidad y sustentabilidad de la economía social y solidaria para el cultivo y la comercialización de productos* [Universidad Politécnica Salesiana].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5316>

Asi, I. M., Qasrawi, H. Y., & Shalabi, F. I. (2007). Use of steel slag aggregate in asphalt concrete mixes. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(8), 902–911. <https://doi.org/10.1139/l07-025>

Bakieva, M., Gonzales, J., & Jornet, J. (2015). SPSS: ANOVA de un factor. *Gestión y Análisis de Datos Con SPSS*, 1–7.

Bellart, M., & Mesa, S. (2011). Impacto ambiental y ciclo de vida de los materiales de construcción. *Energy and Buildings*, 34(6), 1 recurs electrònic. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1)

Branca, T. A., Colla, V., & Valentini, R. (2009). A way to reduce environmental impact of ladle furnace slag. *Ironmaking and Steelmaking*, 36(8), 597–602.
<https://doi.org/10.1179/030192309X12492910937970>

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE
RÁBANO (RAPHANUS SATIVUS), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 41
COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

- Carmona, M., Melo, E., & Gally, M. (2010). *Pudriciones del tallo y raíces del cultivo de maíz*. 86–89.
- Carrera, J. (2015). *Universidad técnica de cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Chand, S., Paul, B., & Kumar, M. (2015). An Overview of Use of Linz-Donawitz (LD) Steel Slag in Agriculture. *Current World Environment*, 10(3), 975–984.
<https://doi.org/10.12944/cwe.10.3.29>
- Dalmaso, D. (2005). *Utilización de escorias siderúrgicas en suelos agrícolas de la región pampeana*. Publicació, 26.
- Encina, K. (2017). *Escoria básica y carbonato de calcio en la recuperación de un suelo ácido de Tingo María, en maíz (Zea mays) PM 213 en invernadero*. 65.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2682/P36-E55-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gomes, J., & Pinto, C. (2006). *Leaching of heavy metals from steelmaking slags*. May 2014.
<https://doi.org/10.3989/revmetalm.2006.v42.i6.39>
- Guevara, Y. (2016). *Uso de la escoria como Absorbentes para eliminar el fósforo de las aguas residuales*. 22–25.
- IDEAM. (2004). *Determinación de metales pesados totales con digestión ácida y solubles lectura directa por Espectrofotometría de absorción atómica*.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Metales+en+agua+por+Absorción+Atómica..pdf/e233a63d-378c-4f83-9311-d9375043cf2a>
- IEE, & GADPP. (2013). Memoria Técnica: Cantó Mejía “Sistemas Productivos.” Ecuador, 134.
http://ideportal.iee.gob.ec/geodescargas/mejia/mt_mejia_sistemas_productivos.pdf
- Khunte, M. (2018). *Process Waste Generation and Utilization in Steel Industry*. May, 0–5.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE RÁBANO (*RAPHANUS SATIVUS*), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 42 COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

<https://doi.org/10.11648/j.ijimse.20180301.11>

- Lovera, D., Arias, V., & Coronado, R. (2004). La Valoración De Las Escorias Metalúrgicas Como Recursos Industriales. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 7(13), 26–30.
- Madías, J. (2015). Reciclado de escorias de acería. *Revista Acero Latinoamericano*, April, 40–48. https://www.researchgate.net/publication/280011511_Reciclado_de_escorias_de_aceria
- Marulanda, J., Alvarez, C. D., & López, M. A. (2012). Estimación de los Parámetros de un Modelo de un Horno de Arco Eléctrico Usando Máxima Verosimilitud. *Tecno Lógicas*, 0(29), 69–89.
- Melendez, L., Lisazo, J., & Ramirez, R. (2001). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro*, 13(Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), 111–116.
- Mihalache, M., Ilie, L., Marin, D., Mihalache, D., & Ildiko, A. (2016). Research on Heavy Metals Translocation From Soil Amended With Lf Slag in Wheat Grains. *16th International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM2016, Book 3, 2*(SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-62-9 / ISSN 1314-2704), 281–286. <http://dx.doi.org/10.5593/SGEM2016/B32/S13.037%0Ahttps://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article7810&lang=en>
- Montoya, D., & Erazo, V. (2013). Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, Escala 1: 25 000. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Ning, D., Liang, Y., Liu, Z., Xiao, J., & Duan, A. (2016). Impacts of steel-slag-based silicate fertilizer on soil acidity and silicon availability and metals-immobilization in a paddy soil. *PLoS ONE*, 11(12), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168163>

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE
RÁBANO (RAPHANUS SATIVUS), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 43
COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

- Ochoa, D., & Mendoza, J. C. (2015). *Evaluar el efecto de enmiendas nutricionales sobre el crecimiento y rendimiento del rábano (Raphanus sativus L) en época seca en la finca experimental Las Mercedes.* [Universidad Nacional Agraria].
<https://core.ac.uk/reader/35166850>
- Parra, L., & Sánchez, D. (2010). *Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco.* Municipio Tuta Bocayá. [https://doi.org/10.1016/S0893-133X\(01\)00359-1](https://doi.org/10.1016/S0893-133X(01)00359-1)
- Pereira, K., & Grabowski, C. (2015). Potencial de la escoria siderúrgica en la inducción de resistencia a enfermedades foliares del trigo (*Triticum aestivum* L.). *Investigación Agraria*, 17(2), 98–107. <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/318/287>
- Proctor, D. M. (2014). *Physical and Chemical Characteristics of Blast Furnace , Basic Oxygen Furnace , and Electric Arc Furnace Steel Industry Slags.* March 2000.
- Quero, P., Zorilla, M., Morales, S., & Rodríguez, M. (2017). Determinación de la Contaminación por Metales Pesados en Suelos Aledaños a la Empresa Electroquímica de Sagua. *Revista Centro Azúcar*, 44(3), 53–62. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n3/caz06317.pdf>
- Razzaque, M., Haque, M., & Karim, M. (2017). Effect of nitrogen on growth and yield on mungbean in low nutrient soil. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 42(1), 77–85. <https://doi.org/10.3329/bjar.v42i1.31981>
- Reeves, T. G., Code, G. R., & Piggin, C. M. (1981). Seed production and longevity, seasonal emergence and phenology of wild radish (*raphanus raphanistrum* l.). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 21(112), 524–530. <https://doi.org/10.1071/EA9810524>
- Rocha, E., & Meléndez, E. (2009). *Aceración.* Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rondón, H., Muniz de Farias, M., & Reyes, F. (2018). Uso de escorias de alto horno y acero en

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE
RÁBANO (RAPHANUS SATIVUS), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 44
COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

- mezclas asfálticas: revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17(33), 71–97.
<https://doi.org/10.22395/rium.v17n33a4>
- Sáenz, M., Aguirre, D., & Verdesoto, S. (2013). *Memoria Técnica Cantón Mejía Proyecto: “ Generación De Geoinformación Para La Gestión Del Territorio a Nivel Nacional Escala 1 : 25 000 ” Socioeconómico Y Cultural. 1*, 57.
- Sanabria, J. D., & Grabowski, C. (2017). *Potencial de la escoria siderúrgica de alto horno para el control de la pudrición del tallo en maíz (Zea mays L .) Potential of steel blast furnace slag for the control of stalk rot in corn (Zea mays L .). June 2016.*
- Stanojkovic-sebic, A., Dinić, Z., Postic, D., Savic, D., Ilicic, R., Josic, D., & Pivic, R. (2017). Levels of Macro and Trace Elements in Vegetable Crops As Influenced By. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(1), 1017–1025.
- Suwardjo, W., Morales, M., Santiesteban, A., Bolívar, J., Fidalgo, Y., Mojena, L., & Gonzáles, I. (2013). Investigación y desarrollo para la introducción del fertilizante ecológico con escoria metalúrgica como soporte. *Revista Cubana de Química*, XXV(2), 115–122.
- Tercero, R., & Portillo, K. A. (2012). *Evaluación del crecimiento y rendimiento del cultivo de Rábano (Raphanus sativus, L) en diferentes fases lunares en la unidad de producción Las Mercedes, UNA, Managua 2010.* Universidad Nacional Agraria.
- Terradez, M., & Juan, Á. (2003). Análisis de la varianza (ANOVA) ANOVA doble (Two Way) more papers like this? *Academia*.
- Tito, M. (2005). *Epocas y densidades de plantación de rabano (Raphanus sativos L.) Para la producción de semill en el valle bjao de cochabamba.* Universidad Mayor de San Andrés.
- Torrez, M. (2011). *Evaluación del cultivo de rábano (Raphanus sativus L) variedad Crimson Giant utilizando sustratos mejorados y determinación de los coeficientes “Kc” y “Ky”, bajo riego.*

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL CRECIMIENTO DE UNA PLANTA DE
RÁBANO (RAPHANUS SATIVUS), CULTIVADA EN MACETA APLICANDO 45
COMPOST ADITIVADO CON METALES DE ESCORIA FERROSA

Finca Las Mercedes, Managua, 2009 [Universidad Nacional Agraria].

<http://repositorio.una.edu.ni/2150/1/tnf01t693.pdf>

Velecela, S., Meza, V., García, S., Alegre, J., & Salas, C. (2019). Microbial enrichment vermicompost under two production system and its effects on radish (*Raphanus sativus* L.) production. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 229–239.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.08>

Vicent, C. (2013). Comportamiento agronómico de tres variedades de rábano (*rhaphanus sativus*), con diferentes densidades de siembra aplicando abono orgánico líquido. In *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. [http://mail.uteq.edu.ec/bitstream/43000/554/1/T-UTEQ-0042\(1\).pdf](http://mail.uteq.edu.ec/bitstream/43000/554/1/T-UTEQ-0042(1).pdf)

WANG, X., & CAI, Q. S. (2006). Steel Slag as an Iron Fertilizer for Corn Growth and Soil Improvement in a Pot Experiment1 1 Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30270800). *Pedosphere*, 16(4), 519–524.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60083-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60083-0)