

**CARACTERIZACIÓN Y CALIDAD DE UN ABONO
ORGÁNICO FERMENTADO aof PREPARADO CON
RESIDUOS DEL PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN DE
LA PAPA (*Solanum tuberosum* L)**

**CHARACTERIZATION AND QUALITY OF A FERMENTED
ORGANIC FERTILIZER AOF PREPARATION WITH WASTE
THE INDUSTRIALIZATION PROCESS OF POTATO**

**CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE DE PREPARAÇÃO
FERMENTADO ADUBO ORGÂNICO COM RESÍDUOS AOF
O PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA
(*SOLANUM TUBEROSUM* L)**

**Francisco García
Pilar Gil
Alberto Carrillo**





CARACTERIZACIÓN Y CALIDAD DE UN ABONO ORGÁNICO FERMENTADO AOF PREPARADO CON RESIDUOS DEL PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L)*

CHARACTERIZATION AND QUALITY OF A FERMENTED ORGANIC FERTILIZER AOF PREPARATION WITH WASTE THE INDUSTRIALIZATION PROCESS OF POTATO

CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE DE PREPARAÇÃO FERMENTADO ADUBO ORGÂNICO COM RESÍDUOS AOF O PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA (*SOLANUM TUBEROSUM* L)

Francisco García**

Pilar Gil***

Alberto Carrillo****

RESUMEN

La producción de abonos orgánicos en Colombia se ha incrementado en los últimos años buscando dar un manejo adecuado a los desechos biodegradables generados por los procesos agroindustriales; el presente trabajo evaluó la calidad de composición mineral, caracterización del producto y población microbiana de un AOF fabricado a partir de los desechos generados en la transformación industrial de la papa. En el ensayo se hicieron 2 tratamientos: T1 consistió en la mezcla de 90% de material orgánico (residuo de papa 80%, aserrín 5%, desperdicios

de molinería 3% y melaza 2%) más la adición de minerales en forma de carbonatos, fosfatos y sulfatos en razón del 10%, en T2 solo se mezcló el material orgánico. El ensayo demostró que este material con 75% de humedad genera una fermentación anaeróbica con olor ácido muy fuerte, que decrece en la medida en que se pierde humedad, quedando la mezcla en un volumen de 50% y cambiando el olor al de una fermentación alcohólica. Respecto a las características del producto final el T2 mostró valores más altos de pH, COO, CIC, CRH y C/N, demostrando que el residuo de papa tiene un buen comportamiento como abono orgánico. De otra parte la adición de minerales eleva las cantidades de estos, que están contenidas de forma natural en el sustrato, dando al compuesto el valor agregado de un porcentaje más alto de elementos disponibles; en ambos casos la oferta de nutrientes y microorganismos es favorable para la nutrición vegetal.

PALABRAS CLAVE

Fermentación, Fitopatógenos, Fijadores de Nitrógeno, Composición Mineral

ABSTRACT

The manure production in Colombia has increased in recent years seeking to provide adequate management biodegradable waste generated by agro-industrial processes, the present study evaluated the quality of mineral composition, and characterization of microbial population of a manufactured aof from wasted generated in the industrial processing of potatoes. In Study 2 treatments were: T1 consisted of a mixture of 90% organic material (80% potato waste, sawdust 5%, milling waste 3% and molasses 2%) plus the addition of minerals to form carbonates, phosphates and sulphates in the rate of 10% in T2 only mix the organic material. The trial demonstrated that this material with

Fecha de Recepción del Artículo: 09 de Agosto de 2009.

Fecha de Aceptación del Artículo: 25 de Octubre de 2009.

* Artículo de investigación producto del trabajo que los autores adelantan en el Grupo de Investigación Abonos Orgánicos Fermentados, Registro COL0043576, Categoría D, Universidad Juan de Castellanos,

** Ph.D (c). en Biología Vegetal, Parma Italia, Esp. en Gerencia Agraria, Ingeniero Agrónomo UPTC. Docente JDC. E-mail: jfgm29@hotmail.com.

*** Ingeniera Agropecuaria, Agrozootecnista, Tecnóloga en Producción Agraria JDC. E-mail: capigiga@hotmail.com.

**** Licenciado en Matemáticas. Esp © en Gerencia Educacional. E-mail: jac8201@hotmail.com.

75% humidity anaerobic fermentation produces a very strong smell of acid, which decreases as it loses moisture, leaving the mixture in a volume of 50% and changing the smell of an alcoholic fermentation. Given the characteristics of the final product showed T2 high pH values, COO, CIC, CRH and C / N, showing that the potato waste has a good record as organic fertilizer. On the other hand the addition of minerals increases the amounts of these, which are contained naturally in the substrate, giving the compound the added value of a higher percentage of available elements in both cases the supply of nutrients and microorganisms is favorable for plant nutrition.

KEY WORDS

Fermentation, plant pathogens, nitrogen fixers, Mineral Composition

RESUMO

A produção de estrume na Colômbia tem aumentado nos últimos anos, procurando proporcionar uma adequada gestão dos resíduos biodegradáveis gerados pela agro-processos industriais, o presente estudo avaliou a qualidade da composição mineral e Caracterização da população microbiana de um aof fabricados a partir de resíduos gerados no processamento industrial de batatas. No Estudo 2 tratamentos foram: T1 composto por uma mistura de 90% de material orgânico (80% de resíduos de batata, serragem de 5%, os resíduos de moagem de 3% e melão 2%) mais a adição de minerais para formar carbonatos, fosfatos e sulfatos na taxa de 10% no mix T2 apenas o material orgânico.

PALAVRAS-CHAVE

Fermentação, patógenos de plantas, fixadores de nitrogênio, minerais Composição

INTRODUCCIÓN

Como abono orgánico se describe un producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos animales, vegetales o residuos sólidos urbanos que contienen porcentajes de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable (COO), humedad (H), capacidad de intercambio catiónico (CIC), cenizas (CEN), relación carbono-nitrógeno (R/N) y elementos disponibles entre otros; así mismo, como proceso industrial consiste en la transformación acelerada e irreversible mediante reacciones biooxidativas y catabólicas de un sustrato orgánico de origen biológico que en condiciones fundamentalmente aerobias, es seguida de resíntesis mediado por organismos descomponedores endémicos, enzimas endo y extracelulares presentes en el medio, que al actuar sobre la matriz orgánica, transforman el material hasta obtener un producto heterogéneo, con apariencia completamente independiente del material de origen y que se caracteriza por su estabilidad química y sanitización, medido con respecto a parámetros de referencia establecidos por un patrón (Peláez, 2007).

En términos generales el compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica (Lizarazo, 2008). Lo característico de estos compuestos es que son identificables por la química orgánica (proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, resinas, grasas, ligninas y otros), estas sustancias se consideran como fuentes de nutrientes para las plantas y los organismos del suelo cuando se descomponen por medio de un proceso conocido como mineralización, igualmente, se les atribuyen actividades estimulantes e inhibitoras de crecimiento de las plantas, con la producción de antibióticos y vitaminas (Zapata, 2007).

De otra parte en una pila de material en compostaje, lo deseable es que prevalezcan los metabolismos respiratorios de tipo aerobio, tratando de minimizar los procesos fermentativos y las respiraciones anaerobias, ya que los productos finales de este tipo de metabolismo no son adecuados para su aplicación agronómica y conducen a la pérdida de nutrientes; teniendo en cuenta además que la fermentación no es sinónimo de transformación orgánica mediante procesos aerobios.

En consecuencia otra medida de la calidad consiste en la caracterización química del compost generalmente basada en dos criterios: valor agronómico del compost y contenido de metales pesados. Primero debe ser evaluado el contenido de N, P, K, y elementos traza (Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Mo), el segundo por el contenido de metales pesados; Sin embargo muchos países establecen unas especificaciones diferentes para las condiciones del compost (Leone, 2007).

En el proceso de industrialización de la papa (*Solanum tuberosum* L) se generan diariamente residuos con gran cantidad de agua que en corto tiempo causan mal olor por la fermentación anaeróbica, sin embargo es un buen material para compostar por el contenido en carbohidratos de fácil degradación, rápida acción enzimática, fuente de energía para muchos microorganismos y trazas de elementos; por tales razones se propuso fabricar abono orgánico fermentado aof buscando evaluar la calidad de composición mineral, caracterización del producto y población microbiana, de manera que sea un alimento para las plantas y los microorganismos del suelo; el trabajo fue realizado para la empresa JDA comercial Ltda., que busca una alternativa para dar buen uso a los residuos orgánicos generados de esta actividad.

METODOLOGÍA

Materiales: papa, aserrín, minerales (fosfatos, carbonatos de Ca y Mg, sulfatos de Cu, Mn, Fe, Zn, Mg y ácido bórico H₃BO₄), melaza de caña, desperdicios de molinería (maíz) y suelo del barrido de los camiones transportadores; estos materiales fueron distribuidos así: T1 Mezcla de residuos de papa picada 80%, aserrín 5%, desperdicios de molinería 1%, suelo 3%, minerales 10%, melaza 1% y T2 Mezcla de residuos de papa picada 90%, aserrín 5%, desperdicios de molinería 1%, suelo 3%, melaza 1%.

Se utilizaron para el proceso cajones de madera con capacidad de 1m³ con espacios libres para permitir la ventilación, estos se colocaron sobre un piso cubierto con plástico negro, buscando en el piso una inclinación del 3% para conducir el lixiviado hasta una caneca enterrada donde se recogió. En este se desató la melaza para regar el material el día de la preparación; la distancia entre los dos tratamientos fue de 2 m, y las repeticiones una a continuación de la otra.

La papa se pico a un tamaño de 2cm de grueso, luego se distribuyó por capas junto con los demás materiales en el cajón de la siguiente manera: para T1 1 capa de aserrín, escorias Thomas, papa picada, desperdicios de molinería, luego CaCO₃.MgCO₃ y roca fosfórica, sobre esta capa se regó con lixiviado de papa al que se mezclaron CuSO₄, FeSO₄, MnSO₄; MgSO₄, ZnSO₄ y H₃BO₄ al 0,5 %, con 15 días de anticipación para esperar su fermentación; el día de la preparación del compostaje se desató la cantidad de melaza correspondiente y se regó el material, de esta manera quedaron distribuidos los minerales homogéneamente.

Cada capa se repitió hasta completar el volumen del cajón cuyo peso inicial en promedio fue

de 1.100 Kg. A los 8 días se hizo la mezcla del material pasando el contenido a otro cajón idéntico, colocado a continuación, quedando libre el primero para preparar en este la siguiente repetición de la manera indicada anteriormente; cada 8 días se hizo esta operación hasta completar las 5 repeticiones, luego únicamente se mezclaba pasando el material a otro cajón hasta el día 56 para cada repetición.

Para T2 se realizó la misma operación pero no se agregaron minerales, a los 56 días el material se estabilizó en temperatura, humedad y pH lo que permitió tomar las muestras y enviarlas al laboratorio. Para caracterización y composición mineral las muestras fueron evaluadas por Agrilab, para microorganismos Fijadores de Nitrógeno (FN) y Solubilizadores de Fósforo (SF) por el Centro de Investigaciones Microbiológicas (CIMIC), para patógenos el Laboratorio de Ecología Microbiana (LEMA) y para fitopatógenos el (LAMFU) de la Universidad de los Andes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

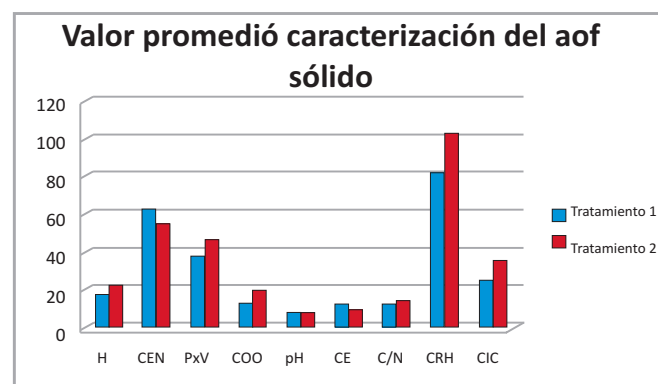
A los resultados de caracterización se aplicó una prueba de normalidad de SHAPIRO – WILK con una significancia del 95% y un W tabulado de 0.7, lo que indica que las variables de caracterización tienen un W calculado mayor al W de tabla, por lo cual se puede concluir que los datos presentan una distribución normal; luego estos fueron trabajados con el programa SPSS versión 11.5

CARACTERIZACIÓN

Se aplicó un análisis de estructura grupal entre los dos tratamientos para mirar el indicador de las variables es decir el aumento o disminución promedio por Kg de minerales adicionados.

Tabla 1. Valor de pérdida o ganancia en caracterización por Kg. de mineral adicionado al AOF

Mineral	Valor	
Humedad (H)	0.0498 por Kg	↓
Cenizas (CEN)	0.086 por Kg	↓
Pérdida por volatilización (PxV)	0.0864 por Kg	↓
% COO	0.0683 por Kg	↓
Densidad (D)	0.0069 por Kg	↑
Conductividad Eléctrica (CE)	0.0011 por Kg	↑
Capacidad de Retención de Humedad (CRH)	0.0217 por Kg	↑
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	0.206 por Kg	↓
Nitrógeno Orgánico (Norg)	0.105 por Kg	↓
Nitrógeno Amoniacal (NNH4)	0.00378 por Kg	↓
Nitrógeno total (N _t)	0.00056 por Kg	↓
Nitrógeno total (N _t)	0.00442 por Kg	↓
Relación Carbono / Nitrógeno (C/N)	0.014 por Kg	↓



Respecto al porcentaje de humedad con valores medios de 21.68 y 16,7%, para T1 y T2 respectivamente indica una disminución de 0,0498 por Kg de mineral agregado atribuido posiblemente a la capacidad de hidratación de los carbohidratos (almidones) que tienen los residuos de papa. Igualmente el % de cenizas en el T1 (62,80%) supera el máximo exigido por la norma (60%), lo que obedece a la adición de los sulfatos, carbonatos y fosfatos, mostrando además una ganancia de 0,086 unidades por cada Kg de mineral agregado como lo indica la tabla 1. En lo referente al pH y la conductividad eléctrica estos son mayores en el T1, debido a la adición de minerales como el Ca que se encuentra en 17,4% aumentando el pH hasta

8.28 y los metales como Fe, Cu, Mn, Zn y Mg que aumentan la CE por ser cationes bivalentes que interactúan con cargas negativas generadas por las reacciones oxidativas de los compuestos orgánicos.

De otra parte (COO), 18.76 % en el T2 es el mínimo exigido por la norma Icontec 5167 y corresponde a las estructuras carbonadas que son susceptibles de transformación en moléculas más sencillas; mientras que la disminución en el T1 puede obedecer a que los cationes metálicos promueven muchas reacciones enzimáticas formando otros compuestos que bajan el porcentaje de carbono disponible, aumentando las cenizas; esto coincide con lo planteado por Peláez (2007) se pueden considerar tres tipos de subgrupos, en función de los contenidos de carbono orgánico y cenizas: 1) materiales con alto contenido de cenizas y bajo carbono orgánico, 2) con valores medios de cenizas y carbono orgánico y 3) con bajo contenido de cenizas y alto carbono orgánico, igualmente al aumentar el COO aumenta la CIC y la CRH.

Entonces y teniendo en cuenta la importancia de estas variables; se aplicó un análisis de gradiente y regresión múltiple para determinar el grado de relación entre ellas con respecto al porcentaje de CEN. Encontrando que la CRH con valores promedio para T2 de 102.14% y T1 de 81.54% no muestra una correlación lineal con CEN o CIC, dado que presentan un error estándar significativo, superior al 5%. Los valores mostrados disminuyen 0.206 por Kg de mineral agregado para CRH y 0.105 para CIC (Ver Tabla 1). Esto se explica porque la CRH varía dependiendo de las características del material y de la edad del mismo; en consecuencia en el presente ensayo el porcentaje más alto de moléculas orgánicas es de carbohidratos que retienen agua debido a la facilidad de hidratación haciendo que la CRH sea mayor; no obstante la disminución en T1 obedece a que las sales generan un efec-

to contrario liberando agua; que lixivia además algunos elementos como el K que igualmente disminuye en el T1 como lo muestra la tabla 2, pero la tendencia del material en ambos casos será la pérdida de agua por los procesos oxidativos hasta generación de CO₂; en consecuencia esta variable disminuye rápidamente al inicio del proceso y se hace asintótica al final del mismo según lo muestra (Peláez, 2007).

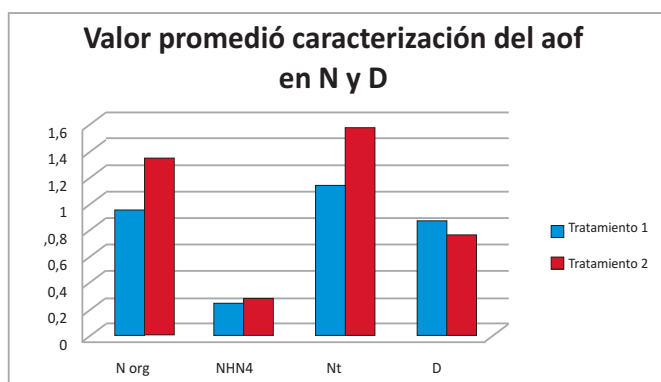
La variable CIC, muestra un valor de 34.84 me/100g para el T2, 10.5 más que el T1 (figura 1); entonces y teniendo en cuenta que los carbohidratos forman muchas moléculas orgánicas (ácidos alcoholes fenoles), estas pueden desprotonarse generando cargas negativas en el compuesto quedando listo para recibir cationes; la CIC, se incrementa constantemente durante el tiempo de compostación, dado que está asociada a grupos funcionales ácidos que contienen oxígeno, lo cual explica la correlación entre la CIC y las moléculas que contienen N según lo encontrado por (Zapata, 2007), donde explica la formación de complejos y su efecto en la movilidad de cationes metálicos por la capacidad que tiene los grupos funcionales de la materia orgánica de formar ligandos que actúan como bases de Lewis. Prácticamente todos los aspectos de la química de los cationes metálicos está relacionada con la formación de complejos con la materia orgánica. Mientras que los cationes Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² están retenidos por el complejo de intercambio mediante la desprotonación de los grupos RCOOH y R-OH de los coloides orgánicos, los cationes metálicos (Cu⁺², Co⁺², Fe⁺², Fe⁺³, Hg⁺², Hg⁺², Pb⁺², Zn⁺², y otros) tienen la potencialidad de formar compuestos de coordinación con las moléculas orgánicas. Sin la presencia de estos ligandos orgánicos, los cationes metálicos estarían precipitados y no se moverían en el perfil del suelo, causarían toxicidad y no serían disponibles para las raíces de las plantas.

RELACIÓN C/N

Esta variable con valores de 10,8 para T1 y 12,2 para T2 indica una apropiada relación del material terminado y una favorable relación del N contenido en el material de partida; coincidiendo con Leone (2006) entonces un residuo orgánico con una C/N inferior a 25:1 libera N mineral en el material mientras que una mayor induce la retención del N inorgánico en el suelo. En consecuencia C/N menor genera pérdida por volatilización en forma de amoníaco especialmente si el pH y la temperatura son valores elevados (Calabretta e Intrigliolo, 2007).

Al observar los valores de la densidad, estos corresponden a los de material orgánico inferiores a 1, pero en el T1 tiene un valor mayor (0,83) ocasionado por la adición de minerales, entonces al aumentar el peso de los sólidos disminuye el volumen por ml mostrando un incremento de 0,0011 unidades por Kg de minerales adicionados, no significativo respecto al T2.

Figura 2. Valor promedio para caracterización del AOF en N y densidad

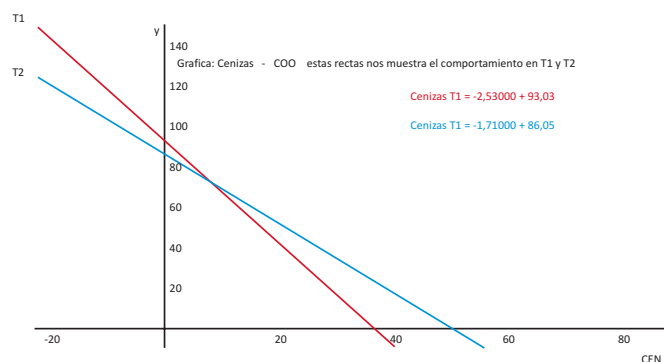


CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE (COO)

Para determinar si existe una relación directa entre CEN con COO, NT y C/N se realizó un análisis de regresión simple lo que permite predecir el comportamiento que va a tener las cenizas con respecto a cada variable.

Para el T1 en la medida que aumenta el porcentaje de COO bajan las cenizas en razón de 2,53, lo que indica que cuando el valor de COO es de 0 las cenizas son del 93% como lo muestra la figura 3. De otra parte a medida que aumenta el COO en el T2 las cenizas disminuyen en razón de 1,71%, es decir que cuando en el aof el COO es 0 las cenizas serán de un 86%.

Figura 3. Comportamiento CEN – COO en T1 y T2



En consecuencia al aumentar el COO las cenizas de T1 disminuyen en mayor cantidad que en T2 y comparando los dos tratamientos se encuentra que cuando el porcentaje de COO es de 8,51% las cenizas tienen un valor de 71,49%.

NITRÓGENO TOTAL (NT)

El comportamiento del Nitrógeno total (NT) en la mezcla con adición de minerales T1, muestra que al aumentar el NT las cenizas disminuyen en razón de 11,62% lo que permite predecir que cuando el NT es 0 el valor de las cenizas es de 120. Así mismo para el T2 muestra que si aumenta el NT disminuyen las cenizas en razón de 51,8% y cuando el valor del NT es 0 las cenizas llegan a ser del 133,77%, además el análisis permitió establecer que no existe una relación directa entre el NT y las cenizas porque se encuentran valores alternantes que no permiten predecir el comportamiento del NT en relación al porcentaje de cenizas.

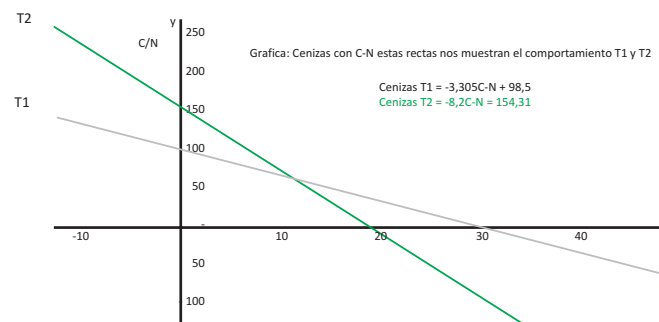
El NT con mayor valor en el T2 1,53 % es un elemento en poca cantidad como oferta del abono en la fertilización; la menor cantidad en el T1 1,09% puede obedecer a la pérdida como amonio debido a la utilización de carbonatos y sulfatos en la mezcla, lo que se explica también por el exceso de calcio y azufre en este tratamiento; dado que los carbonatos y sulfatos pueden reaccionar formando compuestos que inhiben la disponibilidad del N o provocan su volatilización.

El % de N org muestra un mayor valor en el T1 1,29 %, igualmente bajo, pero dado que en un proceso de compostaje se establece una red de interrelaciones es de resaltar que el ataque realizado por los microorganismos sobre la materia orgánica es fundamentalmente enzimático, que es precisamente el gran responsable de la biotransformación de la materia orgánica presente (8% de proteína), donde además participan iones metálicos dando origen en última instancia a lo que se denomina proceso de mineralización del N a formas asimilables por la planta, NH_4^+ o NO_3^- , que como lo refleja este estudio para el NH_4^+ es menor al 1%, lo que no garantiza ningún aporte a la planta.

De otra parte Peláez (2009) sostiene que las altas tasas de respiración en un compost traen como consecuencia que buena parte del carbono se emita como CO_2 mientras que el nitrógeno pasa a ser parte importante de la matriz de la partícula fundamental del compost, donde el nitrógeno captado es fundamental para la formación de grupos reactivos y núcleo.

Finalmente se efectuó una comparación entre tratamientos para la variable CEN respecto a COO y C/N, con el propósito de mirar la semejanza de ambos tratamientos, esta prueba no se realizó para el NT ya que no existe una relación directa cuando se aplican minerales.

Figura 4. Comportamiento CEN – C/N en T1 y T2



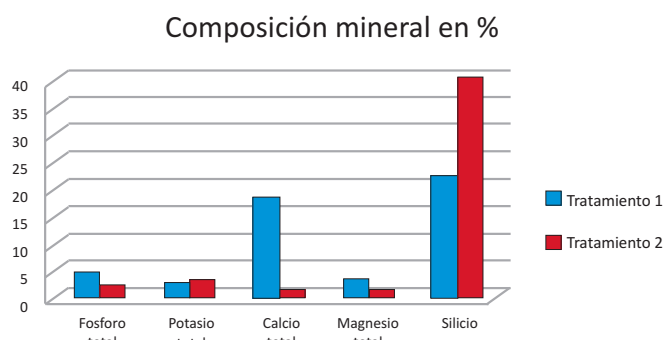
Cuando la C/N aumenta, las cenizas en el T1 tienden a 0, es decir cuando la C/N vale 29,84 el valor de las cenizas es 0, mientras que en el T2 cuando la C/N vale 18,8 las cenizas son 0; al comparar ambos tratamientos se encuentra que cuando la C/N tiene un valor de 11,4 las cenizas alcanzan en 60,81% lo que equivaldría a decir que al aumentar la C/N bajan las cenizas a razón de 3,3/1, en menor proporción que el material orgánico sin minerales, cuya relación es de 8,2/1; mostrando para el primer caso mayor porcentaje de mineralización del N como lo indica la figura 4.

COMPOSICIÓN MINERAL DEL AOF

Tabla 2. Valor de pérdida o ganancia en composición mineral por Kg de mineral adicionado al AOF.

Mineral	Valor Kg
Fósforo total (P_2O_5)	0,0293 ↑
Potasio total (K_2O)	-0,0075 ↓
Calcio total (CaO)	0,1667 ↑
Magnesio total (MgO)	0,0187 ↑
Azufre total	5,934 ↑
Hierro total	5,776 ↑
Manganeso total	32,874 ↑
Cobre total	0,688 ↑
Zinc total	1,476 ↑
Sodio total	4,9 ↑
Boro total	0,758 ↑
Silice (SiO_2)	-0,1796 ↓
Cobalto	0,236 ↑

Figura 5. Composición mineral del AOF



El porcentaje de Fósforo total P_2O_5 es más alto en el T1, teniendo en cuenta el aporte del elemento en proporción del 0,5% a través de fosfatos como se evidencia en la tabla 2, obteniendo una ganancia de 0,0293 por Kg adicionado; sin embargo el T2 muestra un valor similar a lo reportado en otros ensayos, con diferente materia prima pero con aportes de fosfatos, lo que permite suponer que en el presente ensayo mucha de la energía requerida por los microorganismos quimiolitotrofos fue obtenida de los carbohidratos de la papa y no de los fosfatos.

Para el Potasio total K_2O se observa que los tubérculos almacenan buena parte de este elemento, puesto que el T2 reporta 2.35%, el T1 1.61%, este menor valor (T1) es el resultado de la lixiviación del elemento considerado por Lewis como un ácido duro que se uniría con una base fuerte como el $R-OH$ formado en el proceso de fermentación del almidón; pero que para el caso del T2 no ocurrió lo mismo dada la menor actividad enzimática mostrada por un mayor contenido en el porcentaje de carbono orgánico oxidable.

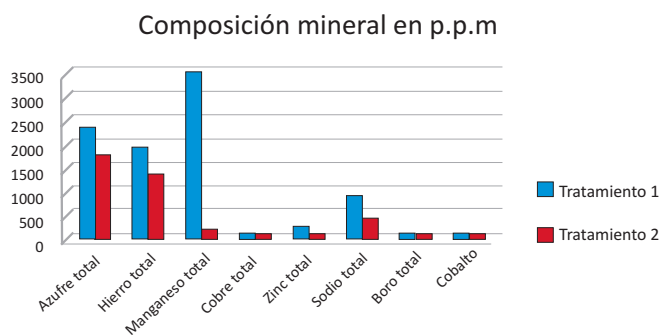
En el caso del Calcio total de CaO , el mayor valor corresponde al T1 dado que a este tratamiento se le suministró carbonato de calcio 1.5% y óxido de calcio 4.8%, mientras que el 0.72 del T2 corresponde solamente al contenido en el material orgánico. El Ca reportado puede estar

quelatado o formando compuestos con nitratos, sulfatos, carbonatos o fosfatos; teniendo en cuenta que los átomos, moléculas o iones tienden a buscar su estabilidad a través de los electrones de su orbital externo mediante procesos redox o cambios en la relación de coordinación; estas son cambios dados entre la relación de átomos en la unidad química (Zapata, 2007).

El comportamiento del Magnesio MgO , muestra en el T1 2.24% con mayor cantidad debido a que fue también suministrado como sulfato, mientras que en el T2 0,37% corresponde al presente en los residuos de papa, la poca presencia puede obedecer a que tiene un papel específico relacionado con la activación de enzimas que interviene en la respiración, síntesis de DNA y RNA.

Porcentaje de SiO_2 con un mayor valor en el T2 39.44%, corresponde a una cantidad alta teniendo en cuenta que no fue suministrado, pero este es un elemento que se deposita en forma hidratada y amorfa sobre todo en el retículo endoplasmático de la pared celular o en los espacios intercelulares, puede formar complejos con polifenoles, sirviendo luego como alternativa a la lignina en el reforzamiento de la pared celular (Taiz y Zeiger, 2006).

Figura 6. Composición mineral del AOF



Los elementos S, Fe, Mn, Cu, Zn, Na, B, Co y Mo en general presentan mayor valor en el T1, porque fueron adicionados como sulfatos,

ácido bórico y el cobalto en las escorias Thomas, sin embargo lo que llama la atención es que el T2 muestra valores importantes dentro del contenido del AOF provenientes de la materia prima utilizada (papa), como lo muestra la tabla 3, la presencia de estos iones metálicos que ordinariamente se precipitarían a los valores de pH del AOF (entre 8,29 y 7,6) o por exceso de agua en este caso pueden ser mantenidos en forma soluble por las reacciones de complejación de la materia orgánica; se sabe que varias sustancias orgánicas sintetizadas biológicamente por microorganismos, tales como aminoácidos, ácidos alifáticos de cadena corta son bases duras que forman complejos solubles con cationes metálicos (Zapata, 2007).

Tabla 3. Composición mineral de tubérculos de papa utilizada en el ensayo

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Humedad	%	75.5
Carbono orgánico oxidable	%	1.91
Relación Carbono - Nitrógeno	%	5
Nitrógeno total	%	0.40
Fosforo total (P ₂ O ₅)	%	0.12
Potasio total (K ₂ O)	%	0.73
Calcio total (CaO)	%	0.02
Magnesio total (MgO)	%	0.04
Azufre total	p.p.m	387
Hierro total	p.p.m	19
Manganeso total	p.p.m	2.7
Cobre total	p.p.m	1.5
Zinc total	p.p.m	4.7
Sodio total	p.p.m	1.2
Boro total	p.p.m	3.2
Cobalto total	p.p.m	0.25

MICROORGANISMOS FIJADORES DE NITRÓGENO MFNYSOLUBILIZADORES DE FÓSFORO MSF

A los morfotipos de MFN se les hizo un análisis de estadística descriptiva, la cual consistió en mirar cual fue la probabilidad (p) de aparición o no.

Tabla 4. Población media de Microorganismos Fijadores de Nitrógeno (MFN)

Colonias	Tratamiento	*	Tratamiento 2	*
Colonia a	probabilidad	0,6	probabilidad++	0,6
	promedio	10	promedio	9
	desviación tip	4,58	desviación tip	6
	máximo	15	máximo	15
	mínimo	6	mínimo	3
Colonia B	probabilidad	1,0	probabilidad	1,0
	promedio	11,62	promedio	25,2
	desviación tip	4,94	desviación tip	16,78
	máximo	18	máximo	51
	mínimo	4	mínimo	9
Colonia c	probabilidad	1,0	probabilidad	1,0
	promedio	560,6	promedio	495
	desviación tip	557,307	desviación tip	221,39
	máximo	1450	máximo	744
	mínimo	54	mínimo	162
Colonia d	probabilidad	0,4	probabilidad	0,8
	promedio	12	promedio	12
	desviación tip	0	desviación tip	8,83
	máximo	-	máximo	24
	mínimo	-	mínimo	3
Colonia d	probabilidad	0,2	probabilidad	0,0
	promedio	6	promedio	-
	desviación tip	0	desviación tip	-
	máximo	-	máximo	-
	mínimo	-	mínimo	-

La aparición de colonias b y c en un AOF es del 100% sin importar la aplicación de minerales, estos lo único que determinan es la disminución de los individuos de las colonias. Al aplicar minerales a un AOF la aparición de una colonia d pasa de ser un hecho verosímil a un hecho inverosímil, su $p = 0.4$, pero el número promedio de individuos es el mismo. La aparición de una colonia e es un caso imposible cuando no se le aplican minerales a un AOF, al aplicarlos esto solo incrementa la colonia e en un 20%.

En el sustrato netamente orgánico las poblaciones son mayores debido a que el nitrógeno no es removido, sino consumido por los microorganismos para formar su proteína, por esta razón cuando todo el nitrógeno disponible sea consumido, la mayor parte de los microorganismos morirá y el nitrógeno almacenado en las células bacterianas será tomado por otros microorganismos para formar nuevo material y el carbono será usado como fuente de energía, de esta manera el N se recicla y el carbono se reduce a CO₂ (Calabretta e

Intrigiolo, 2007). Esto permite entender los bajos porcentajes de N en ambos tratamientos, pero en general en todos los AOF. Lo significativo de estos resultados son las cantidades de ecotipos especialmente el (c) que al tener una fuente de energía como la registrada en este ensayo T1 11,93- T2 18,76 % se ven obligados a fijar N atmosférico para construir su proteína.

Para los MSP los recuentos de morfotipos realizados no son relevantes dado que estos valores se encuentran entre <102 hasta 3x103 UFC/g para T1 y para T2 valores entre <102 hasta 9 x 102 UFC/g, debido en el primer caso a la disponibilidad de fósforo inorgánico y pH básico y en el segundo aunque fueron ligeramente mayores los ecotipos no tuvieron una fuente de fósforo orgánico e inorgánico para mantener su actividad, dado que el fósforo orgánico esta contenido principalmente en los ácidos nucleicos y fosfolípidos compuestos escasos en el sustrato de papa.

MICROORGANISMOS FITOPATÓGENOS

Tabla 5. Reporte de microorganismos fitopatógenos en papa reportados en el AOF sólido

Fitopatógenos	T	Resultado
Rhizoctonia Solani	T1	50 residuos orgánicos positivos /80g de compost
	T2	10 residuos orgánicos positivos 80/g de compost
Streptomyces Scabies	T1	<10 x 10 ³ UFC/g de compost (medio AM Y GYM)
	T2	<10 x 10 ³ UFC/g de compost (medio AM Y GYM)
Fusarium Oxysporum - Fusarium Solani	T1	<10 x 10 ³ UFC/g de compost (medio komada)
	T2	<10 x 10 ³ UFC/g de compost (medio komada)
Verticillium Albostratum	T1	<10 x 10 ³ UFC/g de compost (medio komada)
	T2	<10 x 10 ³ UFC/g de compost (medio komada)
Helminthosporium Solani	T1	<10 x 10 ² UFC/g de compost (medio pda y Czapek)
	T2	negativo
Phytophthora Infestans	T1	negativo
	T2	negativo mediante verificación molecular
Ralstonia Solanacearum	T1	negativo mediante verificación molecular
	T2	negativo mediante verificación bioquímica
Erwinia Carotovora	T1	negativo mediante verificación bioquímica
	T2	negativo mediante verificación bioquímica

FITOPATÓGENOS

De acuerdo con la tabla 5, de los agentes causales de enfermedad para el cultivo de papa que se reportan en el producto estabilizado, ninguno de los tratamientos muestra la presencia de morfotipos en cantidades consideradas patógenas.

PATÓGENOS

De los microorganismos patógenos evaluados al final del proceso solo se reportan recuento en tubo de esporas de Clostridium sulfito reductor donde para T1 los valores se encuentran entre <103 hasta de 30 x 102 y T2 entre 103 hasta 23 x 102 que ambos casos corresponde a poblaciones dentro de los límites permitidos por la norma.

CONCLUSIONES

El abono orgánico fermentado sólido (AOF) no contiene un porcentaje considerable de nitrógeno disponible para las plantas; sin embargo muestra altos morfotipos de MFN de vida libre promovidos por la escasez de nitrógeno orgánico del material compostado.

El nitrógeno reportado en el material se encuentra formando parte de partícula del compost, donde el nitrógeno captado es fundamental para la formación de grupos reactivos y núcleo.

La adición de carbonatos, sulfatos y fosfatos favorece la presencia de elementos disponibles para las plantas, pero no las características del AOF por cuanto el material compostado sin minerales muestra un mejor comportamiento en COO, pH, CRH, CIC, C/N y Densidad acercándose más a los parámetros exigidos por la norma.

Las condiciones de pH, porcentaje de humedad y temperatura alcanzadas durante el proceso y al final del mismo no permiten la presencia de microorganismos fitopatógenos que normalmente provienen en la materia prima compostada (tubérculos de papa).

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo agradecen al Ingeniero Juan David Atehortua, Gerente de JDA Comercial Ltda. por la financiación del proyecto en su totalidad.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, L. ARROYAVE, C y PELÁEZ, C. (2007). *Correlación de Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos en el Compost*. Seminario nutrición vegetal “Interacción entre materia orgánica, minerales y microorganismos para la disponibilidad de iones en el suelo”. Tunja - Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

ARROYAVE, C. CORREA, W. MEJIA, C y PELÁEZ, C. (2007). *El papel de los enzimas en los procesos de transformación de la materia orgánica*. Seminario nutrición vegetal “Interacción entre materia orgánica, minerales y microorganismos para la disponibilidad de iones en el suelo”. Tunja Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

ATLAS, R y BARTHA, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4ª ed. Madrid: Pearson Educación S.A. 677 pp.

BARBANCHO, A. *Estadística elemental moderna*. Ariel. Capítulo 11.

BOHN, H. McNEAL, B. y CONNOR, G. (1993). *Química del suelo*. México: Editorial Limusa. S.A. 370 pp.

CALABRETA, M y INTRIGLIOLO, F. (2007). *Produzione e utilizzo di compost dai residui dell'industria agrumaria in Sicilia*. Volume II • numero 1. Convegno Il compost in Italia e nel bacino del Mediterraneo: l'evoluzione delle politiche europee ed i criteri di qualità del prodotto 21-22 settembre 2006 Sala riunioni Ucea – Roma.

CAMPBELL, R. (2001). *Ecología microbiana*. México: Limusa S.A.

COYNE, M. (2000). *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio* [traducido al español por Martín Rasskin]. España: Editorial Paraninfo.

GARCÍA, F. (2009). *Respuesta de las propiedades químicas y microbiológicas del suelo a la aplicación de AOF durante diferentes épocas, bajo las condiciones ambientales de clima frío*. Seminario Taller “Relación suelo planta ambiente con la nutrición vegetal”. Tunja Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

GARCÍA, F. GIL, P. GALVIS, L. y GALINDO, W. (2008). *Cuantificación de tres microorganismos en el proceso y dinámica de los abonos orgánicos fermentados (AOF)*. Revista Cultura Científica No. 6. Tunja: Fundación Universitaria Juan de castellanos, pp. 62 – 69.

LEONE, A. (2006). *Applicazione di compost in suoli agrari. Valutazione dell'attività biologica e monitoraggio di metalli pesanti e di alcuni microrganismi potenzialmente patogeni*. Università degli studi di napoli “federico ii” dipartimento di biologia strutturale e funzionale dottorato in biologia applicata indirizzo ecologia terrestre xviii ciclo tesi di dottorato.

MADIGAN, M. MARTINKO, J. y PARKER, J. (2004). *Biología de los microorganismos*. Décima edición. Madrid: Pearson Educación. S.A., pp. 1008.

MARTINEZ, C. (1984). *Estadística aportes y problemas resueltos*. Tercera edición. Bogotá: Editorial ECOE.

NTC 5167 (2004). *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)*. Primera actualización. Bogotá D.C.

PELAEZ, C. (2009). *Dinámica enzimática en la interacción suelo, planta, microorganismo y enmienda orgánica*. Seminario Taller “Relación suelo planta ambiente con la nutrición vegetal”. Tunja - Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

(2008). *Criterios de calidad en materiales orgánicos empleados como enmiendas o fertilizantes*. Seminario “Calidad de los abonos orgánicos fermentados (AOF) para una eficiente nutrición vegetal”. Tunja – Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

(2008). *La inoculación de microorganismos en procesos de estabilización de materiales empleados como enmiendas y fertilizantes orgánicos: La necesidad del proceso o una estrategia comercial (revisión de casos)*. Seminario “Calidad de los abonos orgánicos fermentados (AOF) para una eficiente nutrición vegetal”. Tunja - Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

SPIEGEL, R y MORRAY. *Estadística, teoría y problemas*. Colección de Schaum. Capítulo 16.

ZAPATA, R. (2009). *La materia orgánica como fuente de nutrientes y facilitadora de la nutrición vegetal*. Seminario Taller “Relación suelo planta ambiente con la nutrición vegetal”. Tunja - Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

(2007). *Efecto de la materia orgánica en la movilidad iónica en el suelo*. Seminario nutrición vegetal “Interacción entre materia orgánica, minerales y microorganismos para la disponibilidad de iones en el suelo”. Tunja - Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.

(2007). *Índices para evaluar madurez del compost*. Seminario nutrición vegetal “Interacción entre materia orgánica, minerales y microorganismos para la disponibilidad de iones en el suelo”. Tunja - Boyacá: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.