

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Durante las últimas décadas el área agroindustrial ha optado por priorizar los factores cantidad y tiempo, haciendo uso indiscriminado y sin supervisión de agroquímicos, deteriorando la calidad del ambiente en especial la del suelo, motivo por el cual la población e instituciones exigen la implementación de una agricultura orgánica.

La producción orgánica pretende reducir los impactos ambientales, realizando una gestión de los residuos orgánicos, el rastrojo o desecho vegetal en combinación de estiércol aportan al suelo, nutrientes que estimularan el crecimiento de los cultivos. Una de las prácticas fundamentales de la agricultura orgánica es el uso de abonos orgánicos.

Abono orgánico es todo material orgánico de origen vegetal o animal que se emplea para fertilizar o mejorar las condiciones del suelo, su manejo permite devolver las propiedades físicas, químicas y biológicas que ha perdido el suelo con el transcurso del tiempo debido al uso de productos químicos.

La palabra Bocashi es de origen japonés significa “materia orgánica fermentada”, es uno de los abonos orgánicos más completos debido a que proporciona al suelo micro y macronutrientes que son básicos para el desarrollo de las plantas. En un proceso de descomposición en presencia de aire y bajo condiciones controladas logra obtener resultados a corto plazo.

Países como Japón, Estados Unidos, Austria, Suiza desarrollan la producción de estos abonos orgánicos, en América latina, México, Colombia, Costa Rica y otros, preocupados por disminuir el uso indiscriminados de fertilizantes químicos desarrollan proyectos de investigación sobre los beneficios de la implementación de una agricultura orgánica.

A nivel nacional el departamento de La Paz, desarrolla programas de producción de abono tipo Bocashi en la provincia de Omasuyos, debido a que su uso mejora la resistencia del suelo ante las heladas.

En el Departamento de Tarija tanto productores como instituciones, han iniciado actividades para la implementación de una agricultura orgánica, basada en la elaboración de abonos orgánicos empleando recursos e insumos propios de la zona.

De esta manera se aplica un manejo adecuado de los residuos orgánicos generados tanto por el ganado como por el cultivo de los productores, disminuyendo así los focos de contaminación de aire, agua y suelo.

En la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, se realizaron proyectos sobre la elaboración de abonos orgánicos con diferentes sustratos en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar abono orgánico tipo Bocashi por medio de una fermentación aeróbica a partir de rastrojo vegetal y estiércol vacuno.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la materia prima local para su uso en la elaboración del abono orgánico tipo Bocashi.
- Determinar las condiciones y variables óptimas para la elaboración del abono orgánico tipo Bocashi.
- Adaptar el proceso de elaboración de abono orgánico en base a los insumos y materia prima local.
- Determinar la cinética de fermentación para la elaboración de abono orgánico tipo Bocashi.
- Determinar el efecto de la aplicación de suero de leche como fuente de inoculación microbiana.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas de las diferentes formulaciones para la elaboración del abono orgánico tipo Bocashi.

Justificación

Tarija es uno de los departamentos con mayor actividad agropecuaria y actualmente no cuenta con sistemas de manejo de los residuos vegetales (rastrajo) y los generados por el ganado en las granjas de los productores, convirtiendo a estas en focos de contaminación del aire, agua y suelo.

En décadas anteriores los agricultores fertilizaban el suelo con abonos elaborados a partir de materiales orgánicos (rastrajo de los mismos cultivos, estiércol del ganado y otros), esta práctica ha sido desplazada por la aplicación de agroquímicos sin control.

Este proyecto de investigación pretende elaborar un abono orgánico, aprovechando materia prima e insumos locales, realizando una previa caracterización y selección de los mismos, de esta manera se propone una alternativa para la gestión de los residuos orgánicos. La producción de abono Bocashi adaptando su formulación a las condiciones y posibilidades del productor le da un valor agregado a los residuos generados en las granjas y de esta manera el costo de producción es menor.

De tal manera que se cumpla lo establecido en la Ley N° 3525 y los artículos 380, 405 y 407 de la Constitución Política, que promueven y apoyan la producción ecológica, conservando las características de cada ecosistema, el desarrollo rural integral sustentable, promoviendo la producción y comercialización de productos ecológicos.

El principio fundamental del abono Bocashi es la fermentación aeróbica de la materia orgánica es originada por los microorganismos presentes como actinomicetes, hongos bacterias Gram positivas aeróbicas, heterótrofas y fotosintéticas.

Empleando un método de pilas con un sistema de aireación que consiste en volteos, de acuerdo al requerimiento de oxígeno y para mantener una temperatura óptima para el desarrollo de los microorganismos aeróbicos. La descomposición en presencia de oxígeno permite a los microorganismos una rápida acción sobre la materia biodegradable, lo que permite que el abono entregue nutrientes (nitrógeno, fósforo y calcio) de suma importancia para una fertilización adecuada del suelo de cultivo que

mejorará las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado por el uso indiscriminado de agroquímicos.

Este proyecto de investigación pretende proporcionar una alternativa de solución al manejo y tratamiento de los residuos orgánicos, obteniendo un producto que contenga los macro nutrientes que sean asimilables por el suelo, en un tiempo menor a los otros abonos.

CAPÍTULO I

1. Marco Teórico

1.1. Suelo

La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), establece las siguientes definiciones para el término de suelo:

- Es el material no consolidado en la superficie de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de plantas terrestres
- Es el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales: material parental, clima, macro y microorganismos y topografía, todos actuando durante un lapso de tiempo y generando un producto: el suelo, que difiere del material del cual derivó en varias propiedades y características físicas, químicas, y biológicas.

1.2. Propiedades del Suelo

1.2.1. Propiedades Físicas

- **Estructura del Suelo**

La partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados por peds. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión.

- **Perfil del Suelo**

Cuando se expone el perfil de un suelo, la mayoría de las veces aparece una serie de porciones aproximadamente paralelas entre sí y a la superficie del terreno; cuando estas porciones se diferencian entre sí, se debe a que sus características son el resultado de la pedogénesis, reciben el nombre de horizontes genéticos, o simplemente horizontes del suelo; si la diferenciación observada no se debe a la pedogénesis, las porciones observadas se nombran capas.

- **Humedad en el Suelo**

La cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas y está determinada fundamentalmente por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración.

- **Textura del Suelo**

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.

- **Color del Suelo**

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo, se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato.

- **Consistencia del Suelo**

La consistencia es la propiedad que define la resistencia del suelo a la deformación o ruptura que pueden aplicar sobre él. Según su contenido de humedad la consistencia del suelo puede ser dura, muy dura y suave. Se mide mediante tres niveles de humedad: aire-seco, húmedo y mojado.

- **Porosidad del Suelo**

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del

espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

- **Densidad del Suelo**

Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas.

1.2.2. Propiedades Químicas

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo cmolc/kg o meq/ 100g de suelo.

- **pH del Suelo**

El pH determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad

de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden a presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5.

- **Nutrientes para las Plantas**

La cantidad de nutrientes presente en el suelo determina su potencial para alimentar organismos vivos. Los 16 nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas se suelen clasificar entre macro y micro nutrientes dependiendo de su requerimiento para el desarrollo de las plantas. Los macronutrientes se requieren en grandes cantidades e incluyen Carbono(C), Hidrógeno (H), Nitrógeno(N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre(S). Los micronutrientes por otro lado se requieren en pequeñas, su insuficiencia puede dar lugar a carencia y su exceso a toxicidad, se refieren a Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl).

- **Salinización del Suelo**

Se refiere a la acumulación de sales solubles en agua en el suelo. Las sales que se pueden encontrar en un nivel freático salino se transportan con el agua a la superficies del suelo mediante ascenso capilar y una vez que el agua se evapora se acumulan en la superficie del suelo. La salinización suele ocurrir con manejo de riego inapropiado sin tomar en consideración el drenaje y lixiviación de los sales por fuera de los suelos. La salinización elevada en el suelo lleva a la degradación de los suelos y la vegetación. Las sales más comunes se encuentran en combinaciones de los cationes de sodio, calcio, de magnesio y de potasio con los aniones de cloro, sulfato y carbonatos.

- **Alcalinización del suelo**

La alcalinización del suelo se define como el exceso de sodio intercambiable en el suelo. A medida que su concentración incrementa en el suelo empieza a reemplazar otros cationes. Los suelos sódicos son frecuentes en regiones áridas y semiáridas y se encuentran muchas veces inestables con propiedades físicas y químicas muy pobres. Debido a ello el suelo se encuentra impermeable disminuyendo la percolación, infiltración del agua por el suelo y por último el crecimiento de las plantas.

1.2.3. Propiedades Biológicas

Las propiedades biológicas del suelo están asociadas a la presencia de materia orgánica y macro y microfauna (hongos, bacterias, nemátodos, insectos y lombrices) presente.

La microfauna del suelo mejora las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica, permitiendo un balance entre poblaciones dañinas y benéficas que disminuyen los ataques de plagas a las plantas.

La biodiversidad es fundamental en todo sistema de producción autosustentable, la diversidad de especies presentes en la macro y microfauna del suelo, conforman un mundo subterráneo que es más amplio y complejo que el sistema natural de superficie, esto revela la complejidad de interrelaciones que allí se suceden y la importancia de implementar prácticas agronómicas que tiendan a su conservación.

1.3. Materia Orgánica del Suelo

La materia orgánica del suelo es considerada como un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal, parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente, y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos, animales pequeños que aún faltan descomponer (Meléndez, G., 2003).

Inmediatamente después de la caída de los materiales al suelo muchas veces antes, comienza un rápido proceso por parte de macro y microorganismos que utilizan los residuos orgánicos como fuentes de energía. El proceso de descomposición está acompañado de la liberación de CO₂ y de los nutrientes de los residuos orgánicos (Meléndez, G., 2003).

La materia orgánica en el suelo mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Al ser fuente de micro y macronutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio y azufre), el carbono presente en ella es fuente de energía para microorganismos, mejora la retención de agua, estabiliza su acidez y otros.

1.4. Importancia de la Materia Orgánica en el Suelo

De acuerdo a Bornemisza, E. y Fassbender, H. (1987), la fracción orgánica o materia orgánica del suelo tiene un papel muy importante en el mejoramiento de su productividad.

1.4.1. Efecto en las Propiedades Químicas del Suelo

La materia orgánica del suelo regula los siguientes procesos químicos:

- El suministro de macronutrientes por la mineralización, en particular la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes hierro, manganeso, boro, Molibdato disponibles para las plantas.
- Reduce el riesgo de variaciones bruscas de pH en el suelo, la materia orgánica aumenta el poder amortiguador del suelo. El pH se encuentra relacionado con el

contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes (Nitrógeno, fósforo, calcio, potasio).

- Favorece a la capacidad de cambio catiónico y a la capacidad de intercambio aniónico, donde se acumulan nitratos, fosfatos y sulfatos.
- Facilita la absorción del azufre y del nitrógeno de los suelos, debido a que la dinámica del nitrógeno y azufre en la materia orgánica son el resultado de múltiples mecanismos y procesos donde: la mineralización e inmovilización ocurren simultáneamente, fijando ambos nutrientes en el suelo para su posterior asimilación, de esta manera se evita que sean arrastrados por el agua durante el proceso de lixiviación.
- Mejora el suministro de micronutrientes (cobre, manganeso, zinc y hierro) a partir de la formación de quelatos. En el proceso de quelación los micronutrientes se combinan con ciertas sustancias orgánicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, aminoácidos) resultado los llamados quelados. En este proceso la molécula orgánica envuelve el catión metálico y forma un complejo eléctricamente neutro. Con la quelación se protege a los micronutrientes de una fijación anticipada y se facilita su absorción radicular.

1.4.2. Efecto en las Propiedades Físicas del Suelo

- En la estructura del suelo: favorece a la formación de agregados individuales, reduce la agregación global del suelo; disminuye la plasticidad del mismo.
- Mejora la infiltración del agua y reduce su pérdida por evaporación, contribuyendo una óptima de función del agua en el perfil del suelo.
- Al mejorar el drenaje y la estructura, se intensifica la aireación en los suelos y, por tanto, ayuda a un crecimiento y funcionamiento eficaz de las raíces.
- En el color del suelo, el cual tiene importancia para su balance térmico, ya que favorece o dificulta la absorción de energía solar.

1.4.3. Efecto en las Propiedades Biológicas

- Como se ha señalado la materia orgánica es fuente de nutrientes y energía, tanto para los macroorganismos (ácaros, lombrices, gusanos) y microorganismos (bacterias, hongos, nemátodos).

Los microorganismos descomponen la materia orgánica, en nutrientes asimilables por las plantas, a su vez estas se convierten en fuente de alimento para los macroorganismos.

- El incremento de la actividad de la micro y macro fauna repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo, las condiciones de fertilidad aumentan, la actividad biológica del suelo juega un papel importante en la transformación de elementos esenciales en formas aprovechables para las plantas.

1.5. Composición de la materia orgánica

Los componentes biológicamente activos de la fracción orgánica del suelo incluyen polisacáridos, aminoazúcares, nucleótidos y compuestos orgánicos de fósforo y azufre. El humus que es un material insoluble en agua, se biodegrada muy lentamente, constituye la mayor parte de la materia orgánica del suelo (Manahan, S. 2007). Estos compuestos se encuentran descritos en la Tabla I-1.

Tabla I-1
Principales clases de compuestos orgánicos en el suelo

Tipo de compuesto	Composición	Importancia
Humus	Residuo de la descomposición de las plantas, resistente a la degradación, consta principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno.	Es el componente orgánico más abundante, mejora las propiedades físicas del suelo, intercambia nutrientes, es depósito de nitrógeno fijo.
Grasas, resinas y ceras	Lípidos extraíbles por disolventes orgánicos	Generalmente, constituye unas unidades porcentuales de la materia orgánica del suelo al repeler el agua, pueden ser fitotóxicos
Sacáridos	Celulosa, almidones, hemicelulosa y gomas	Fuente principal de alimento para los microorganismos del suelo. Pueden afectar adversamente las propiedades físicas del suelo. Ayudan a estabilizar los agregados del suelo
Compuestos orgánicos que contienen nitrógeno	Nitrógeno enlazado al humus, aminoácidos, aminoazúcares y otros compuestos	Proporciona el nitrógeno para la fertilidad del suelo
Compuestos de fósforo	Ésteres de fosfato, fosfatos de inositol (ácido fítico), fosfolípidos	Fuentes del fosfato de las plantas

Fuente: Manaha, S. (2007).

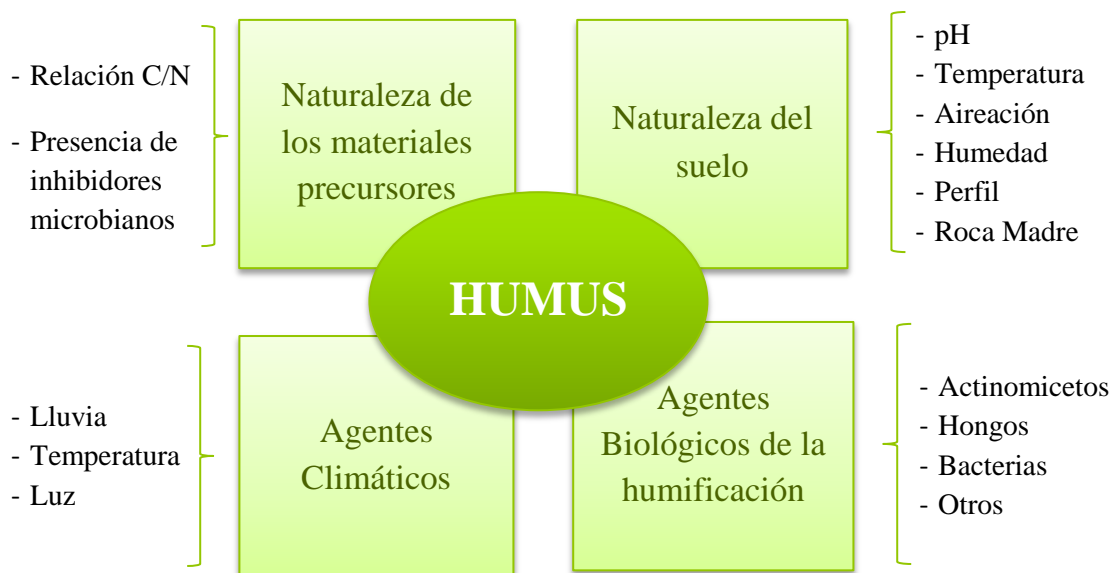
1.6. Humus

El humus es el componente de mayor importancia en la materia orgánica, de acuerdo a Mahana, S. (2007), se encuentra compuesto por una fracción soluble en disoluciones constituida por alcalinas ácidos húmicos y fúlvicos. Y una fracción insoluble llamada humina, esta es el residuo proveniente de la degradación de las plantas por acción de bacterias y hongos.

El humus se forma a través de la humificación que consiste en un conjunto de procesos que transforman la materia orgánica en compuestos que tienen una capacidad de absorción de la luz visible y unos altos contenidos de grupos carbonilo y carboxilo (Kumada, K. 1987). El resultado de este proceso depende de varios parámetros, descritos en la Figura 1-2.

Figura 1-2

Relación del humus con los distintos parámetros que intervienen en su formación



Fuente: Navarro, G. y Navarro, S. (2013).

1.7. Composición del Humus

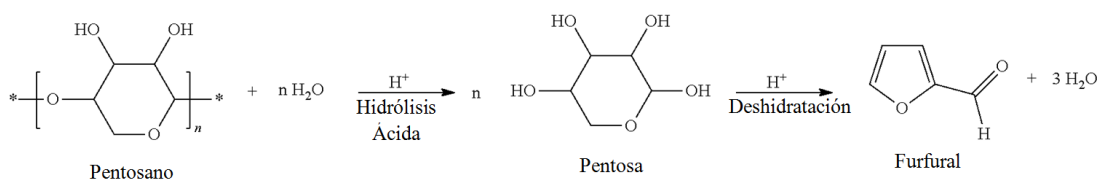
Los compuestos que forman el humus son: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, estos compuestos se diferencian y agrupan de acuerdo con su solubilidad, peso molecular y grado de polimerización (Jaramillo, D. 2002).

1.7.1. Ácidos Húmicos

Son compuestos de alto peso molecular, de color marrón oscuro, de baja acidez, alto grado de polimerización, solubles en álcali y al acidificarse con ácidos minerales se precipitan en forma de un gel oscuro (Jaramillo, D. 2002). A pesar de la diversidad de los ácidos húmicos en los distintos suelos, turbas, restos vegetales en descomposición, estos conservan sus principios de estructura muy semejante, los grupos característicos son los carboxilos e hidroxilos fenólicos, cuyo hidrogeno es susceptible a las reacciones de sustitución (Meléndez, G. 2003).

1.7.2. Ácidos Fúlvicos

Formados por compuestos de bajo peso molecular, alta acidez, bajo grado de polimerización, solubles en álcali y en ácido (Jaramillo, D. 2002). Se distinguen de los ácidos húmicos por su coloración más clara a un color pardo-amarillento, por el contenido relativamente bajo de carbono y por su buena solubilidad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales. La hidrólisis ácida de los pentosanos produce pentosas, que, por deshidratación, dan furfural, de acuerdo con las siguientes reacciones:



1.7.3. Huminas

Se refiere a la fracción del humus más resistente a la descomposición no es soluble ni en ácido ni en álcali (Jaramillo, D. 2002). De acuerdo a Paul, E. y Clark, F. (1989) está compuesta por mezcla de ácidos fúlvicos y húmicos con otros componentes no solubles provenientes de plantas y microorganismos, como celulosa, lignina, paredes celulares y carbón.

1.8. Transformación de materia orgánica

Los desechos orgánicos, si se disponen a la condición natural, estarán conducidos a uno de los siguientes procesos: descomposición oxidativa o descomposición fermentativa. (Okumoto, S., 2003).

1.8.1. Descomposición Oxidativa

El proceso de descomposición oxidativa es conocido como Compost, los microorganismos aeróbicos son los encargados de realizar la descomposición de la materia orgánica. Para este proceso es necesaria la presencia de oxígeno, por lo que es necesario volteos que permitan el ingreso de aire al interior de la materia orgánica.

Durante la oxidación de la materia orgánica se genera una gran cantidad de calor y dióxido de carbono (CO_2), que son liberadas al medio ambiente, dando como resultado un abono o producto mineralizado con poca energía acumulada. Además este proceso produce olores desagradables por la pérdida de nitrógeno liberado en forma de amoníaco.

La producción de compost en gran escala, debe estar regida de acuerdo a la Ley de Medio Ambiente N° 1333 y sus reglamentos, como indica el Artículo 41° el Estado a través de los organismos correspondientes, normara y controlara la descarga en la atmosfera de cualquier sustancia en la forma de gases, que puedan causar daños a la salud, el medio ambiente, molestias a la comunidad o habitantes y efectos nocivos a la propiedad pública y privada.

1.8.2. Descomposición Fermentativa

Aplicada para la elaboración de abono Bocashi, se realiza volteos periódicos a la materia orgánica controlando así el ingreso de oxígeno a la misma, los microorganismos facultativos fermentadores productores de ácido láctico, levaduras, nativos de la materia prima usado o provenientes de una inoculación microbiana, hacen posible la fermentación de materia orgánica.

La materia orgánica con microorganismos fermentadores mantiene el proceso a bajas temperaturas, lo que le permite que la energía no sea liberada al exterior durante la elaboración, de esta forma se puede aprovechar la máxima energía del producto. El uso de inoculante microbiano asegura una buena fermentación, evitando que las bacterias productoras de ácido butírico comiencen a actuar sobre la materia orgánica provocando putrefacción y malos olores (Okumoto, S., 2003).

La Ley de Regulación y Promoción de la Producción Agropecuaria y Forestal no Maderable Ecológica N° 3525 impulsa, promueve y apoya la producción ecológica para lograr un desarrollo rural integral sustentable.

Es por esto que los abono orgánicos son un pilar en la producción ecológica u orgánica ya que permiten aprovechar los materiales que se encuentran en las fincas de los productores, un ejemplo claro es la producción de estiércol vacuno.

En la comunidad de Coimata de la provincia Méndez se cuenta con 11 productores leches con un promedio de 5 vacas de raza holandesa argentina de acuerdo a los registros de Asociación de Lecheros de Coimata (2015), con lo que se puede estimar una generación de estiércol vacuno de 602,25 toneladas/año solo en esta comunidad, esta cantidad es calculada conociendo que una vaca genera 30 kg/día (Finck, A. 1985).

1.9. Abonos orgánicos

Abono orgánico se define como todo material de origen animal o vegetal que se utiliza principalmente para mejorar las características del suelo, como fuente de vida y de nutrientes (Soto, G. 2004).

La calidad de un abono está dada por el uso que se le va dar. Lo que puede ser considerado como un abono de buena calidad para un productor de banano puede ser considerado inefectivo o poco práctico para un productor de hortalizas (Soto, G. y Meléndez, G.2004). Entre los criterios para determinar la calidad de un abono se tiene:

- Control de erosión: mejorando la permeabilidad del suelo, ya que influye en el drenaje de este.
- Incrementar el poder tampón del suelo, reduciendo así las oscilaciones de pH
- Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumenta la fertilidad
- Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios.
- Mejorador de la bioestructura del suelo
- Mejorador de las características del suelo sin daños de contaminación y al cultivo
- Abonos de rápida liberación de nutrimentos

1.10. Abono orgánico tipo Bocashi

El abono orgánico tipo Bocashi es usado para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, aumentar su diversidad microbiana, prevenir plagas y enfermedades, además de suplir de nutrientes importantes para el desarrollo de los cultivos.

El Bocashi se prepara tradicionalmente con los desechos de origen animal y/o de origen vegetal mezclado con tierra de bosque como inóculo para estimular el proceso

en la elaboración de abono orgánico. Sin embargo, estos procesos fueron a menudo largos y laboriosos para los agricultores. (Okumoto, S., 2003)

Los agricultores japoneses usan materia orgánica como la semolina de arroz, torta de soya, harina de pescado y suelo de los bosques como inoculante de microorganismo. (Leblanc, H., 2000).

Al usar desechos (residuos de cosecha, estiércoles y otros) en forma adecuada, el agricultor puede recibir beneficios económicos y ecológicos. El uso de los desechos en la elaboración de abono orgánico reduce el gasto de insumos externos, de esta forma, el agricultor puede ser más independiente y su finca será más rentable. (Okumoto, S., 2003)

La elaboración de abonos orgánicos fermentados se puede entender como un proceso de semi descomposición aeróbica de los residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos, quimioorganotróficos que existen en los propios residuos, con condiciones controladas y producen un material parcialmente estable de lenta descomposición en condiciones favorables y que son capaces de fertilizar a las plantas al mismo tiempo nutrir la tierra (Restrepo, J., 2007).

1.11. Abono Bocashi Tradicional

Bocashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”, una traducción de esta palabra al español (refiriéndonos al abono) es abono orgánico fermentado. El Bocashi tradicional es una técnica usada por agricultores japoneses, posee algunas características que permiten diferenciarlo fácilmente (Leblanc, H., 2000):

1.11.1. Características del Abono Bocashi Tradicional

- El uso de altos volúmenes de suelo de bosque o montaña (suelo que contiene microorganismos benéficos, y a la vez no contiene patógenos).
- El uso de materia orgánica de alta calidad como semolina de arroz, gallinaza y torta de soya.
- El proceso se realiza solo bajo condiciones aeróbicas.

- Hay una diversidad de recetas de Bocashi tradicional, porque cada agricultor lo prepara a su manera.

1.12. Preparación del Bocashi Tradicional

El proceso de preparación del Bocashi tradicional es bastante sencillo, pero se debe tener cuidado de seguir las indicaciones para evitar que el proceso fracase (Leblanc, H. 2000). La secuencia para la elaboración del Bocashi tradicional se presenta a continuación:

- 1) En un lugar bajo techo, colocar los materiales en capas, formando un montículo de 1,2 metros de alto, 2 metros de largo y 1 metro de ancho.
- 2) Agregar agua hasta alcanzar un porcentaje de humedad entre 30 – 40% y mezclar los materiales, verificar que no exista un exceso de humedad, este control de humedad se realiza diariamente.
- 3) Cubrir la mezcla con bolsas, sacos, paja y otros, con la finalidad de mantener la temperatura entre 25 a 40°C, para el adecuado desarrollo del proceso de elaboración del abono.

1.13. Formulación del Bocashi Tradicional

De acuerdo a Restrepo, J. (2007), los ingredientes básicos para la preparación del abono Bocashi tradicional se exponen en la Tabla I-2, pero estos materiales no son fijos ya que existen alternativas locales que permiten elaborar un abono de buena calidad cuyos parámetros se muestran en la Tabla I-3:

Tabla I-2
Ingredientes para la preparación de Bocashi Tradicional en Costa Rica

Material	Cantidad
Tierra cernida	2 quintales
Cascarilla de arroz o paja picada	2 quintales
Gallinaza	2 quintales
Carbón triturado	1 quintal
Pulidura o salvado de arroz	10 libras
Cal o ceniza agrícola	10 libras
Melaza o jugo de caña	1 litro
Levadura de pan, granulada	100 gramos
Agua	Necesaria

Fuente: Restrepo, J. (2007)

Tabla I-3
Contenidos de Niveles Óptimos Para Abono Orgánicos

Características	Nivel Óptimo
% Nitrógeno	> 2
% Fósforo	0,15 – 1,5
Relación Carbono/Nitrógeno	< 20
Humedad	< 40%
Color	Negro a café oscuro
Olor	Tierra

Fuente: Paul, E. y Clark, F. (1996)

1.14. Tipos de elaboración de abono Bocashi

De acuerdo a Asia Pacific Natural Agriculture Network (APNAN, 1999) se diferencian dos tipos: bocashi anaeróbico y Bocashi aeróbico, dicha clasificación se realiza a partir de la manufactura del abono.

1.14.1. Bocashi Anaeróbico

Su elaboración es difícil debido a que se realiza en condiciones anaeróbicas y con materiales de elevada calidad pero si se logra un proceso con las condiciones óptimas el abono tendrá una elevada calidad, favoreciendo al crecimiento de las plantas en las que sea aplicado.

La mezcla de los componentes del abono es aislada, para evitar su contacto con el aire y la luz, se controla que la humedad este entre 30 – 40 %, el periodo de fermentación depende del clima del lugar.

1.14.2. Bocashi Aeróbico

Bajo condiciones aeróbicas el proceso de fermentación es más rápido debido a que los microorganismos aeróbicos descomponen la materia orgánica en menor tiempo, la mezcla de materiales se encuentra en contacto con el aire debido a los volteos realizados.

La temperatura óptima para la elaboración de Bocashi aeróbico se encuentra entre 25 – 35 °C, este rango de temperaturas favorece a la desarrollo de los microorganismos aeróbicos.

1.15. Ventajas y Desventajas de Bocashi Anaeróbico

Principales ventajas del Bocashi Anaeróbico

- Mantiene valor nutritivo de la materia orgánica.
- No requiere aireación forzada o por volteos.
- El producto final, también puede ser utilizado como alimento para ganado.

Desventajas de Bocashi Anaeróbico:

- El proceso de fermentación es más lento que el de Bocashi aeróbico
- Se emplea materiales de alta calidad pulverizados (harina de hueso o pescado, torta de soya, semolina de arroz)

1.16. Ventajas y Desventajas de Bocashi Aeróbico

Las principales ventajas del abono tipo Bocashi aeróbico:

- Elimina el impacto negativo al medio ambiente, a la salud de los consumidores y productores, debido a que reduce el uso de agroquímicos por lo tanto evita sus efectos nocivos a la salud.
- Mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo:
Físicas: estructura, porosidad, capacidad de retención de agua.
Químicas: incrementa contenido de materia orgánica, micro y macronutrientes como nitrógeno, potasio, calcio
Biológicas: aumenta la actividad biológica de los microorganismos aeróbicos presentes que repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo, mejorando las condiciones de fertilidad.
- No genera malos olores, ni gases tóxicos.
- Proceso de fermentación se realiza en un periodo más corto de tiempo en comparación a otros abonos orgánicos.
- Costo de elaboración es bajo, debido a que los insumos utilizados son generados en el mismo terreno como ser el estiércol del ganado y rastrojo de los cultivos.

Desventajas:

- Pérdida de la energía orgánica, sino se controla la temperatura.
- Si no se cuenta con la estabilidad requerida del producto final no aportara los nutrientes adecuados al suelo. La estabilidad de un abono orgánico puede ser evaluada en función de la relación Carbono/Nitrógeno. Un abono estable es aquel en el cual la relación C/N ya no cambia o lo hace muy poco en el tiempo.

1.17. Factores principales para la elaboración de abono orgánico tipo Bocashi

Los factores que deben ser controlados para la elaboración de abonos orgánicos Bocashi según Jairo Restrepo (2007) son:

1.17.1. Temperatura

Se encuentra en función al incremento de actividad microbiológica del abono una vez mezclados los ingredientes. Aproximadamente, después de catorce horas de haberlo preparado, el abono debe presentar temperaturas que pueden superar fácilmente los 50 ° C, lo que es una buena señal para continuar con las demás etapas del proceso. La actividad microbiológica puede ser perjudicada por la falta de oxigenación y el exceso o escasez de humedad.

1.17.2. pH

La elaboración de este tipo de abono requiere que el pH oscile entre un 6 y un 7,5, ya que los valores extremos inhiben la actividad microbiológica durante el proceso de la degradación de los materiales. Sin embargo, al inicio de la fermentación el pH es bajo. Durante el proceso de maduración del abono las variaciones de pH van reduciendo hasta obtener un valor constante.

1.17.3. Humedad

La humedad óptima para lograr la máxima eficiencia del proceso de la fermentación del abono, oscila entre el 50% y el 60% (en peso) o sea, los materiales están vinculados a una fase de oxidación.

Cuando la humedad se encuentra entre 50 a 35 % se observa que la actividad biológica decrece, en un porcentaje inferior al 35%, se da una descomposición aeróbica muy lenta de los materiales orgánicos que hacen parte del compuesto. Por otro lado, cuando la humedad supera el 60%, la cantidad de poros que están libres de agua son muy pocos, lo que dificulta la oxigenación de la fermentación, resultando un proceso anaeróbico putrefacto, el cual está vinculado a una fase de reducción de la materia orgánica, que no es lo deseado ni lo ideal para obtener un abono de buena calidad.

1.17.4. Aireación

La presencia del oxígeno o una buena aireación es necesaria para que no existan limitaciones en el proceso aeróbico de la fermentación del abono. Se calcula que como mínimo debe existir de un 5% a un 10% de concentración de oxígeno en los macroporos de la masa. Sin embargo, cuando los microporos se encuentran en estado anaeróbico (sin oxígeno) debido a un exceso de humedad, ello puede perjudicar la aireación del proceso y en consecuencia, se obtiene un producto de mala calidad. Es decir que no cumple con los parámetros de la Tabla I-2.

1.17.5. Tamaño de las partículas de los ingredientes

La reducción del tamaño de las partículas de los componentes del abono puede presentar la ventaja de aumentar la superficie para su descomposición microbiológica. Sin embargo, el exceso de partículas muy pequeñas puede llevar fácilmente a una compactación que favorece el desarrollo de un proceso anaeróbico, lo que no es ideal para obtener un buen abono orgánico fermentado. En algunos casos, este fenómeno se corrige mezclando al abono materiales de relleno de partículas mayores, como son pedazos picados de maderas, carbón vegetal grueso, etc.

Por otro lado, la forma de preparar el Bocashi es variada y se ajusta a las condiciones y a los materiales que cada campesino dispone en su finca o comunidad.

1.17.6. Relación C: N (Carbono - Nitrógeno)

La relación de carbono-nitrógeno es la cantidad de carbono por unidad de nitrógeno contenido en los tejidos de las plantas, la cual varía dependiendo del material.

La relación teórica e ideal para la fabricación de un buen abono de rápida fermentación se calcula que es de 25 a 35 partes de carbono por una de nitrógeno (25:1). Las relaciones menores pueden resultar en pérdidas considerables de nitrógeno por volatilización; por otro lado, relaciones mayores resultan en una fermentación y descomposición más lenta, y que en muchos casos es conveniente.

1.18. Descripción de los Componentes del Abono Bocashi Tradicional

Se detalla a continuación los componentes que se emplean para la elaboración de Bocashi tradicional, de acuerdo Restrepo, J. (2007):

1.18.1. Carbón

El aporte del carbón es mejorar las características físicas del suelo como su estructura, lo que facilita la distribución de las raíces, la aireación y la absorción de humedad y calor (energía). Su alto grado de porosidad beneficia la actividad macro y microbiológica de la tierra, al mismo tiempo que funciona con el efecto tipo “esponja sólida”, el cual consiste en la capacidad de retener, filtrar y liberar gradualmente nutrientes útiles a las plantas, disminuyendo la pérdida y el lavado de éstos en la tierra. Por otro lado, las partículas de carbón permiten una buena oxigenación del abono, de manera que no existan limitaciones en el proceso aeróbico de la fermentación, otra propiedad que posee este elemento es la de funcionar como un regulador térmico del sistema radicular de las plantas, asiéndolas más resistentes contra las bajas temperaturas nocturnas que se registran en algunas regiones.

1.18.2. Estiércol

Constituye la principal fuente de nitrógeno para la elaboración de abonos orgánicos, de acuerdo a su origen introduce al suelo materiales orgánicos, inóculos microbianos y nutrientes en mayor o menor cantidad, los cuales mejoran las característica biológicas, químicas y físicas del suelo.

1.18.3. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, facilita la aireación del abono, mejora la absorción de humedad, y filtrado de nutrientes, además es fuente de silicio, haciendo al suelo más resistente a plagas y enfermedades, también en pequeñas cantidades ayuda a corregir la acidez del mismo.

1.18.4. Pulidura o salvado o afrecho

Afrecho es el término que se utiliza para denominar en forma genérica al salvado procedente de la molienda de los cereales cuya cáscara es desmenuzada en el mencionado proceso. Aporta a la activación hormonal, nitrógeno además de contener alto porcentaje de nutrientes complejos, al fermentarse sus carbohidratos.

1.18.5. Melaza de caña y/o chancaca:

La chancaca es un alimento cuyo único ingrediente es el jugo de la caña de azúcar que es secado antes de pasar por el proceso de purificación que lo convierte en azúcar morena. Para producir la chancaca, el jugo de caña de azúcar es cocido a altas temperaturas hasta formar una melaza bastante densa, luego se pasa a unos moldes en forma de prisma donde se deja secar hasta que se solidifica.

Es la principal fuente energética para la fermentación en la elaboración de abonos orgánicos, beneficia a la multiplicación de la actividad microbiológica, en su composición cuenta con calcio, fósforo y magnesio.

1.18.6. Levadura, tierra de foresta virgen, manto forestal y/o Bocashi

Constituyen la principal fuente de inoculación microbiológica, permitiendo el inicio de la fermentación.

1.18.7. Tierra común

Su función es dar mayor homogeneidad física al abono y distribuir la humedad, incrementa el desarrollo de actividad microbiológica para lograr una buena fermentación. Dependiendo de su origen incorpora microorganismos inoculadores y minerales importantes para el desarrollo de las plantas.

1.18.8. Carbonato de calcio o cal agrícola

La cal agrícola o carbonato de calcio es un producto que se obtiene de la piedra caliza, que por ser alcalina es un desinfectante de bacterias y virus nocivos para la salud.

Su función principal es regular la acidez que se presenta durante todo el proceso de la fermentación, cuando se está elaborando el abono orgánico, dependiendo de su origen, natural o fabricado, puede contribuir con otros minerales útiles a las plantas.

1.18.9. Agua

Es un elemento fundamental para el desarrollo de la actividad y reproducción microbiológica durante el proceso de fermentación al elaborar abono. El agua utilizada para la elaboración de este abono proviene de fuentes naturales (arroyo, río, represa).

1.19. Diferencia entre abono orgánico Bocashi y Compost

El abono tipo Bocashi tiene como objetivo es activar y aumentar la cantidad de microorganismos benéficos en el suelo como levaduras, bacterias fototróficas y simbióticas, pero también se persigue nutrir el cultivo y suplir alimentos (materia orgánica) para los organismos del suelo. El suministro deliberado de microorganismos benéficos asegura la fermentación rápida y una mayor actividad de estos microorganismos patógenos gracias a una combinación de fermentación alcohólica con una temperatura de 40 – 55° C. (Leblanc, H., 2000).

El objetivo principal del Compost es suministrar los minerales como en la nutrición inorgánica a los cultivos. En la preparación de Compost, los minerales que atrapados en la materia orgánica fresca se vuelven de fácil absorción para las plantas y se eliminan los patógenos que podrían estar en la materia orgánica fresca y causar daño al cultivo. Se recomiendan temperaturas relativamente altas, (50 – 70° C) para asegurar que mueran los microorganismos patogénicos. (Leblanc, H., 2000).

1.20. Materias primas locales

Los materiales presentados en la Tabla I-2, se adapta la elaboración de abono Bocashi con materias primas locales como se detalla a continuación:

1.20.1. Rastrojo Vegetal

El rastrojo se define como un conjunto de restos de vegetales (hojas, tallos, malezas y otros) que son retirados de los cultivos para proceder a sembrar nuevamente. Generalmente el rastrojo es considerado como un residuo sin valor, cuando en realidad es de suma importancia por la proporción de carbono y nitrógeno que posee, además del contenido de ligninas en los tejidos vegetales (Menéndez, J. y Hilbert, J.).

Al no contar en nuestro medio con la cascarilla de arroz se utiliza rastrojo vegetal proveniente de cultivos de frutilla de la comunidad de Coimata.

Es por eso que actualmente en muchos países la práctica más importante asociada con la labranza de conservación, radica en la cantidad de rastrojo que queda en la superficie. En la labranza convencional de los cultivos de frutilla, solo entre 0-10% de los rastrojos quedan sobre la superficie comparando con el 65-80% en sistemas mecanizados de labranza cero, y casi el 100% en sistemas de labranza con pequeños agricultores (Barreto et al., 1988). La cantidad de rastrojo que permanece en el suelo depende del tipo de cultivo que se realice.

De acuerdo a Bolaños, (1988) la presencia de un mantillo vegetal (rastrojo) altera muchas relaciones:

- Reduce la insolación, disminuyendo la temperatura y la evaporación superficial del suelo, lo que mantiene temperaturas más apropiadas para el desarrollo de las plantas, especialmente en sequías ya que ayuda a mantener la humedad en el suelo.
- Aumenta la materia orgánica, nutrimentos y actividad biológica cerca de la superficie.
- Aísla la superficie del suelo, creando un microclima muy distinto debajo del mantillo (húmedo, temperatura bajo, no insolación, no viento)
- Reduce la tasa de escurrimiento y erosión por agua y viento

- Previene la formación de costras superficiales, protegiendo la superficie del suelo del impacto de las lluvias e incrementa la infiltración.

Todas estas características tienen como consecuencia que los la captación, disponibilidad y eficiencia de uso del agua por los cultivos y se constituye en la estrategia más práctica para mejorar el balance hídrico en ambientes secos o de precipitación errática.

Es por estos motivos que el uso de rastrojo en la elaboración de abono orgánico no solo contribuye con mejorar sus propiedades sino también con se convierte en una alternativa en la gestión de los residuos orgánicos generados en los terrenos de los productores.

1.20.2. Estiércol Vacuno

Para elaboración de abono Bocashi se emplea estiércol vacuno proveniente de la lechería de la comunidad de Coimata.

Los estiércoles se han estado usando en la agricultura, desde que el productor combinó su actividad agrícola con la ganadería en el traspatio o solar. Bajo estas condiciones los estiércoles no representan problema en su almacenamiento y manejo por los volúmenes pequeños y la facilidad que se presentan en su transporte hasta la parcela del agricultor (Trinidad, A. 1987).

Cuando se manejan hatos o establos grandes es necesario seguir un procedimiento apropiado en el almacenamiento del estiércol para evitar pérdidas de nutrientes principalmente el nitrógeno. Los grandes volúmenes de estiércoles, si no se manejan apropiadamente, se convierten en focos puntuales de contaminación. (Trinidad, A. 1987).

El estiércol se compone principalmente de excrementos y una pequeña parte de orina y paja (Finck, A. 1985). El manejo inadecuado de los desechos animales causa enormes problemas para el medio ambiente, la producción animal, el hombre, y en última instancia, serios perjuicios sociales y económicos. Los del vacuno tienen efectos negativos sobre el medio ambiente: en el suelo, ocasionan un aporte excesivo

de metales como boro, cobalto, cobre y molibdeno que acidifican del terreno y facilitan la transmisión de enfermedades; sobre las aguas superficiales y subterráneas originan eutrofización a causa del aporte de nitrógeno y fósforo, aumento de toxicidad por el aporte de iones amonio y nitratos, aumentan La Demanda Biológica o Bioquímica de Oxígeno (DBO) y facilitan la transmisión de enfermedades, y sobre la atmósfera, emite olores y gases de efecto invernadero, principalmente el metano y el óxido nitroso (ACPA, 2009).

El uso de estiércol vacuno en la elaboración de abonos Bocashi permite establecer un sistema para gestión de estos residuos orgánicos, ya que se estima que cada cabeza de ganado vacuno produce 10 toneladas por periodo de estabulación es decir 30 kg de estiércol/día (Finck, A. 1985). El estiércol vacuno favorece a la actividad biológica del suelo debido a que en su composición (Ver Tabla I-4) cuenta con un alto contenido de humus nutritivo, representa una importante fuente de energía y alimento.

Tabla I-4

Composición Química del Estiércol Vacuno Utilizado Como Abono

Componente	Valor
Humedad (%)	36.0
pH (relación 1:2)	8.0
Materia orgánica (%)	70
Nitrógeno Total (%)	1,5
Fósforo (%)	0,6
Potasio (%)	2,5
Calcio (%)	3,2

Fuente: Romero, L. (1997).

1.20.3. Ceniza

La ceniza es el producto de la combustión de algún material (madera, carbón, rastrojo vegetal). Se puede utilizar para la elaboración de abono Bocashi en lugar de la cal agrícola ya que este insumo es relativamente fácil de conseguir.

Uno de sus beneficios es proteger del ataque de plagas (gusano) y enfermedades (hongos) a los cultivos, también aporta nutrientes al suelo para que la planta pueda aprovecharlos para su crecimiento y desarrollo. Este producto está recomendado para la agricultura ecológica debido a que es natural y su uso no causa daños en el medio ambiente. La ceniza es alcalina, lo cual neutraliza la acidez de suelo y mejora el funcionamiento de las bacterias que fijan nitrógeno.

1.20.4. Suero de Leche

El suero de leche o lactosuero es un líquido translúcido amarillo obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína (Jelen, P. 2003). Sus características corresponden a un líquido de color amarillo, turbio, de sabor fresco, débilmente dulce, de carácter ácido que contiene un 94% de agua.

Durante muchos años ha sido considerado como un desecho; actualmente es utilizado por sus múltiples nutrientes y propiedades funcionales (Marshall, K. 2004). Este subproducto está compuesto por agua, lactosa, proteínas, minerales (calcio, fósforo, magnesio) y grasa.

La composición nutricional del lactosuero puede variar considerablemente dependiendo de las características de la leche utilizada. Poveda, E. (2013) define dos tipos de lactosuero: dulce y ácido:

El suero dulce se obtiene mediante el uso de enzimas proteolíticas o cuajo, las cuales actúan sobre las caseínas de la leche y las fragmentan, haciendo que estas se desestabilicen y precipiten, todo esto bajo condiciones específicas de temperatura aproximadamente entre 15 - 50 °C, con un pH levemente ácido entre 6 - 6,5.

El suero ácido se genera mediante la precipitación de la caseína, la cual se logra disminuyendo el pH de la leche a un valor de 4,5 o 4,6. A este pH se alcanza el punto

isoeléctrico de la mayoría de las caseínas presentes, la carga eléctrica neta de la proteína es igual a cero, lo cual produce que la caseína se desestabilice y precipite, dejando en solución solamente las proteínas de tipo séricas.

Para la elaboración del abono Bocashi se utiliza el suero de leche dulce, el cual es producido de forma casera por los productores lecheros de la comunidad de Coimata como subproducto de la elaboración de queso, emplean una pastilla de cuajo, para obtener 2 kg. de queso y 18 litros de suero a partir de 20 litros de leche.

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Localización del Experimento

La parte experimental del presente proyecto de investigación aplicada fue desarrollada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, debido a que se cuenta con la infraestructura y seguridad necesaria para el desarrollo del proyecto

2.2. Materiales

Los materiales empleados para la ejecución del trabajo de investigación y el costo de cada uno se muestran en la Tabla II-1 a continuación:

Tabla II-1
Materiales utilizados en la investigación

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Total (Bs.)
1	Chancaca	Kg.	1,5	15	22,5
2	Leche	Litro	5	3	15
3	Afrecho	Kg.	3.5	2	7
4	Carbón	Bolsa	1	5	5
5	Recipientes de plástico	Pza.	9	10	90
6	Malla	Metro	2	40	80
	Plástico	Metro	6	8	48
7	Alambre	Kg.	1	12	12
8	Guantes	Par	1	15	15
9	Juego de Jardinería (dos palas y un rastrillo)	Global	1	35	35
	Total				329,5

Fuente: Elaboración Propia

2.3. Equipos

A continuación se detallan los equipos utilizados durante la investigación:

- pH-metro

Se emplea para las mediciones diarias de pH y temperatura de las diferentes formulaciones del abono Bocashi ya que cuenta con dos bulbos que permiten la realización de las mediciones.

Tabla II-2
Características Técnicas del pH-metro



Figura 2-1 pH-metro

Característica	Detalle
Marca	METTLER TOLEDO
Modelo	SevenEasy
Escala de pH	0 - 14
Escala de temperatura	0 - 80°C

Fuente: Elaboración Propia

- **Balanzas**

- **Balanza Digital**

Se utiliza para pesar las diferentes formulaciones y realizar las determinaciones de humedad y granulometría.

Tabla II-3
Características Técnicas de la Balanza

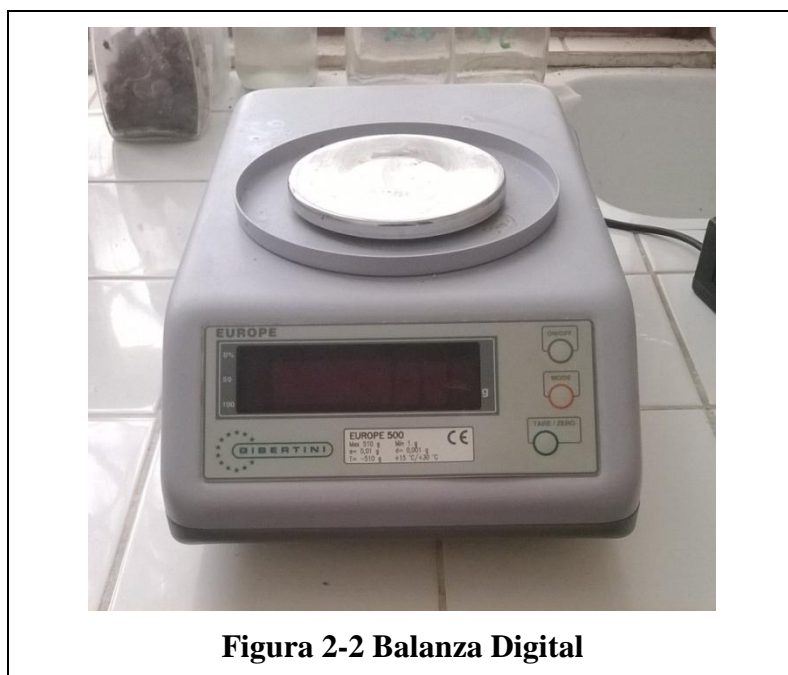


Figura 2-2 Balanza Digital

Característica	Detalle
Marca	GIBERTINI
Modelo	EUROPE 500
Pesaje mínimo	1 g
Pesaje máximo	510 g
Lectura (d)	0.001 g
Error (e)	± 0.01 g

Fuente: Elaboración Propia

- **Balanza de Humedad**

Es empleada para la determinación de humedad de las diferentes muestras de abono.

Tabla II-4

Características Técnicas de la Balanza de Humedad



Figura 2-3 Balanza Humedad

Característica	Detalle
Marca	Sartorius
Modelo	MA 100
Tensión	230 V y 115 V
Frecuencia	48-60 Hz

Fuente: Elaboración Propia

- **Balanza**

Se utiliza para pesar los materiales y sustratos al inicio de la producción del abono Bocashi.

Tabla II-5
Características Técnicas de la Balanza



Figura 2-4 Balanza

Característica	Detalle
Marca	CORONA
Pesaje mínimo	100 g.
Pesaje máximo	10 kg.

Fuente: Elaboración Propia

- **Estufa**

Se emplea para control de humedad de las muestras de abono y el secado del producto final para su posterior almacenamiento.

Tabla II-6
Características Técnicas de Estufa

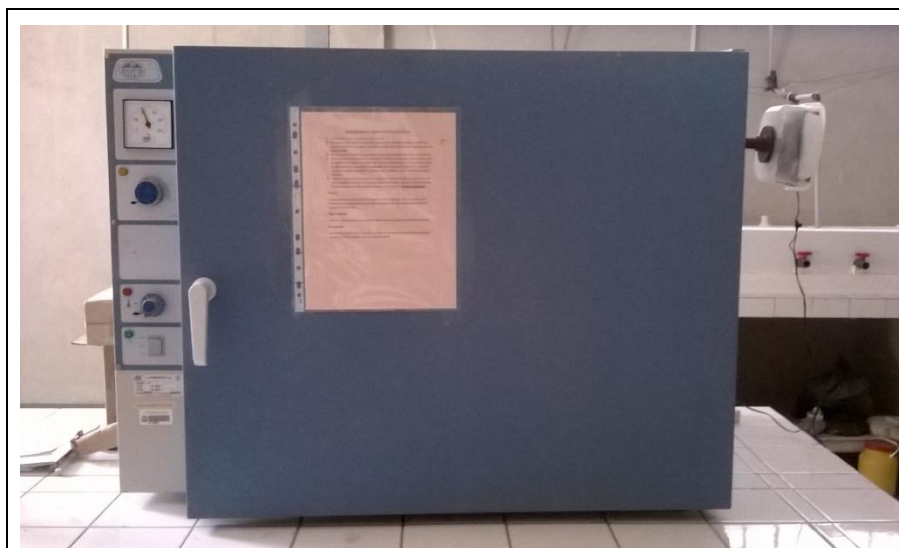


Figura 2-5 Estufa

Característica	Detalle
Marca	Selecta
Modelo	CONTERM
Temperatura mínima	5 °C
Temperatura máxima	250 °C
Precisión	± 0.5 °C
Potencia	2000 W
Tensión	220 V

Fuente: Elaboración Propia

- **Tamizador Vibratorio**

Se utiliza para la determinación de granulometría de las diferentes formulaciones del abono. El tamiz vibratorio cuenta con un juego de siete mallas (0,063; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 5 mm de abertura) y una bandeja de recepción.

Tabla II-7

Características Técnicas del Tamizador Vibratorio



Figura 2-6 Tamizador Vibratorio

Característica	Detalle
Marca	ORTO ALRESA
Modelo	VIBRO
RPM	
Tiempo de Programación	Desde 5 a 60 min.
Potencia	92 W
Tensión	220 V

Fuente: Elaboración Propia

2.4. Diseño Experimental

2.4.1. Diseño de Bloques al Azar

El diseño de bloques al azar reúne las unidades experimentales en bloques, a los cuales se les aplican los tratamientos de manera aleatoria, de modo que los tratamientos participen tan uniformemente como sea posible en cada bloque.

Mediante este diseño se pretende conseguir una mayor homogeneidad entre las unidades experimentales, de tal manera que las diferencias entre unidades sean consecuencia de los tratamientos aplicados, es decir que permite una mejor estimación de los efectos del tratamiento.

2.4.2. Ventajas

Reduce la magnitud del error experimental e incrementa el grado de precisión del experimento.

2.4.3. Desventajas

No es apropiado para un número elevado de tratamientos debido a que dificulta conseguir bloques homogéneos.

2.4.4. Modelo Lineal

El modelo estadístico para un diseño de bloques al azar es:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Dato correspondiente al j-enésimo tratamiento del i-enésimo bloque

μ = Media general

β_i = Efecto del i-enésimo bloque

α_j = Efecto del al j-enésimo tratamiento

ε_{ij} = Error aleatorio

2.4.5. Análisis de Varianza

Las suposiciones básicas para que el Análisis de Varianza (ANOVA) tenga validez son los siguientes:

1. Los efectos de tratamientos y efectos ambientales son aditivos
2. El error experimental constituye un elemento aleatorio, normal e independiente distribuido con media cero y varianza común.
3. Las varianzas dentro de los bloques son iguales.
4. La media y la varianza de los bloques son independientes.

En la Tabla II-8 se presentan las ecuaciones necesarias para el Análisis de Varianza:

Tabla II-8
Análisis de Varianza

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
Bloques	b-1	$\frac{\sum(Y_i.^2)}{t} - FC$	$\frac{SC_{bloque}}{b-1}$	$\frac{CM_{bloque}}{CM_{Error}}$
Tratamientos	t-1	$\frac{\sum(Y_.^2)}{b} - FC$	$\frac{SC_{trat}}{t-1}$	$\frac{CM_{trat}}{CM_{Error}}$
Error	(b-1)(t-1)	$SC_{total} - SC_{bloque} - SC_{trat}$	$\frac{SC_{Error}}{(b-1)(t-1)}$	
Total	bt-1	$\sum Y_{ij}^2 - FC$		

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

$$FC = \frac{\sum(Y_{ij}^2)}{bt}$$

b: Número de bloques

t: Número de tratamientos

SC_{total} = Suma de cuadrados total

SC_{bloque} = Suma de cuadrados de bloques

SC_{trat} = Suma de cuadrados de tratamientos

CM_{trat} = Cuadrado medio de tratamientos

CM_{bloque} = Cuadrado medio de bloques

CM_{Error} = Cuadrado medio del error

2.4.6. Diseño Experimental

El presente proyecto de investigación tiene como objeto de estudio, las mezclas de estiércol vacuno y rastrojo vegetal de cultivos de frutilla, por lo que se decide realizar un diseño de bloques al azar, con tres tratamientos, cada uno con tres repeticiones formando tres bloques, que cuentan con los tres diferentes tratamientos.

Para la elaboración del abono orgánico tipo Bocashi, se aplican los siguientes tratamientos:

- Tratamiento 1: Estiércol vacuno 45% + Rastrojo Vegetal 35% + 20% Resto de componentes (carbón, ceniza, afrecho y melaza) = EV
- Tratamiento 2: Estiércol vacuno 35% + Rastrojo Vegetal 45% + 20% Resto de componentes (carbón, ceniza, afrecho y melaza) = RJ
- Tratamiento 3: Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche + 15% Resto de componentes (carbón, ceniza, afrecho y melaza) = SL

Donde la nomenclatura para los tratamientos es la siguiente:

EV = Mezcla que contiene 45% de estiércol vacuno

RJ = Mezcla que contiene 45% de rastrojo vegetal

SL = Mezcla que contiene 5% de suero de leche

2.5. Técnica de Campo

En la Tabla II-9 se muestra el control de las pilas para la elaboración de 4 Kg. abono tipo Bocashi, tomando en cuenta que entre el 15- 20% restante se distribuye entre los demás componentes necesarios para la producción del abono (carbón, tierra, ceniza y otros):

Tabla II-9
Control de Pilas del Abono

Bloque	Pila	Sustrato	E (Kg)	S (Kg)	R (Kg)	C (Kg)	Total (Kg)
I	F1	EV	1,8		1,4	0.8	4
	F2	RJ	1,4		1,8	0.8	4
	F3	SL	1,6	0,2	1,6	0,6	4
II	F4	RJ	1,4		1,8	0.8	4
	F5	SL	1,6	0,2	1,6	0,6	4
	F6	EV	1,8		1,4	0.8	4
III	F7	SL	1,8		1,4	0.8	4
	F8	EV	1,8		1,4	0.8	4
	F9	RJ	1,4		1,8	0.8	4

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

E= Estiércol vacuno

R= Rastrojo vegetal

S= Suero de leche

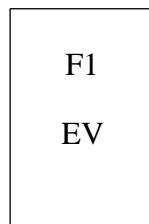
C= Resto de componentes (carbón, ceniza, afrecho y melaza)

2.6. Bloques Aleatorizados

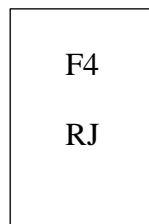
2.6.1. Croquis de Campo

El siguiente croquis presenta la aleatorización de las pilas de abono, este se realiza al azar, tomando en cuenta que no deben existir repeticiones de uno de los tratamientos en el mismo bloque.

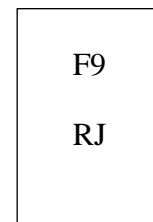
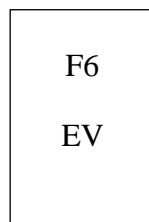
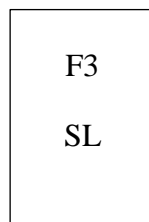
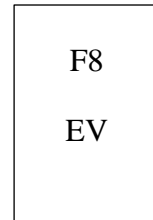
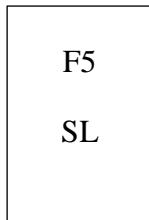
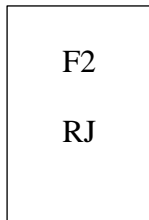
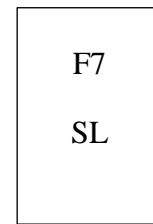
BLOQUE I



BLOQUE II



BLOQUE III



Fuente: Elaboración Propia

2.7. Recolección del Rastrojo Vegetal

La recolección del rastrojo vegetal se realiza en el mes de junio en la comunidad de Coimata ubicada a 12 km. de la ciudad de Tarija, los residuos vegetales provienen de los cultivos de frutilla de los productores de la zona, la Asociación de Productores de Frutilla de Coimata (2015), registra 15 productores en la comunidad con 2 hectáreas cultivadas.

El rastrojo vegetal proveniente de los cultivos de frutilla es cortado aproximadamente en un tamaño de 2 cm. para acelerar su descomposición.

Figura 2-7

Recolección del Rastrojo Vegetal de Cultivos de Frutilla



Fuente: Elaboración Propia

2.8. Recolección del Estiércol Vacuno

El estiércol vacuno es recolectado lechería de la comunidad de Coimata, cuenta con 15 vacas de raza holandesa argentina, con una generación estimada de estiércol por vaca de 30 kg/día como indica Finck, A. (1985).

A partir de los registros de la Asociación de Lecheros de Coimata (2015), existen 11 productores lecheros con un promedio de 5 vacas lecheras, dando como resultado 55 vacas en la comunidad.

Figura 2-8

Recolección del Estiércol Vacuno



Fuente: Elaboración Propia

2.9. Caracterización de los Componentes del Abono Bocashi

La caracterización fisicoquímica de los diferentes materiales se realiza de acuerdo al aporte que proporcionan al producto final.

2.9.1. Caracterización del Rastrojo Vegetal

La determinación de humedad, nitrógeno y ceniza se realiza en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de manera personal y bajo las normas bolivianas correspondientes, los resultados se presentan en la Tabla II-10:

Tabla II-10
Composición Fisicoquímica del Rastrojo Vegetal

Parámetro	Norma Técnica	Resultado en (%)
Humedad	NB 074: 2000	65,10
Nitrógeno	NB 076: 2000	1.19
Ceniza	NB 075: 2000	4,8

Fuente: Elaboración Propia

2.9.2. Caracterización del Estiércol Vacuno

Las muestras de estiércol vacuno recolectadas de la lechería de la comunidad de Coimata son analizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), los resultados obtenidos se presentan en las Tabla II-11:

Tabla II-11
Composición Fisicoquímica del Estiércol Vacuno

Parámetro	Contenido
pH	8.01
Calcio Intercambiable	11.50 mEq/100 g
Potasio Intercambiable	2.64 mEq/100 g
Materia Orgánica	80.34 %
Nitrógeno Total	4.852 %
Fósforo Disponible	291.61 ppm

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio

Departamental Agropecuario (SEDAG)

2.9.3. Caracterización del Afrecho y Suero de Leche

Los análisis fisicoquímicos se realizan en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de manera personal, los resultados tanto para el afrecho como para el suero de leche se presentan en las Tabla II-11 y Tabla II-12 respectivamente:

Tabla II-11

Composición Fisicoquímica del Afrecho

Parámetro	Norma Técnica	Resultado en (%)
Humedad	NB 074: 2000	10.39
Nitrógeno	NB 076: 2000	2.93
Ceniza	NB 075: 2000	4.76

Fuente: Elaboración Propia

Tabla II-12

Composición Fisicoquímica del Suero de Leche

Parámetro	Norma Técnica	Resultado en %
Nitrógeno	NB/ISO 8968-1:2008	0.49
Acidez Titulable como Ácido Láctico	NB 229:1998	4.76

Fuente: Elaboración Propia

2.10. Metodología de la Investigación

La presente investigación se realiza en pilas de compostaje.

2.10.1. Pilas de Compostaje

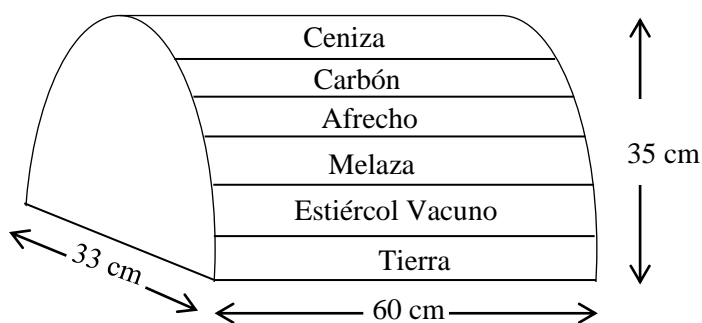
Las pilas de compostaje se encuentran en recipientes de plástico con las siguientes dimensiones 60 cm de largo, 35 cm de ancho y 27 cm de alto, los cuales son revestidos con una malla para poder recibir los lixiviados en el fondo del recipiente.

Para prevenir el ataque de insectos se cubre cada pila con plástico, de esta manera también se puede conservar el contenido de humedad y la temperatura necesaria para el proceso de descomposición del abono.

Cada pila tiene un peso inicial de 4 kg, las dimensiones de las mismas es 60 cm de largo, 33 cm de ancho y 35 cm de alto, la cantidad de cada componente depende del tratamiento, cada ingrediente se coloca en capas en el siguiente orden: tierra, estiércol vacuno, melaza, rastrojo vegetal, afrecho, carbón y ceniza (Figura 2-9 y Figura 2-10). Se agrega cierta cantidad de agua entre capas y suero de leche solo se añade en los tratamientos que lo requieren y se lo hace al momento de agregar la melaza.

Figura 2-9

Orden de los Componentes para la Elaboración del Abono Bocashi



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2-10**Pila de Abono Bocashi Día 1**

Fuente: Elaboración Propia

2.10.2. Instalación de las Pilas de Compostaje

El presente proyecto de investigación se realiza en el Aula 3L del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ya que se tiene el espacio, seguridad y condiciones necesarias, además de ofrecer un fácil acceso.

En la instalación de las pilas se deja un espacio para facilitar el tránsito al momento de realizar las mediciones de pH, temperatura y humedad. Cada formulación y bloque son identificados como se muestra en la Figura 2-11:

Figura 2-11
Distribución de las Formulaciones de Abono



Fuente: Elaboración Propia

El rastrojo vegetal de cultivos, carbón, ceniza, rastrojo y estiércol son revisados para retirar cualquier objeto no deseado que puedan encontrarse como ser piedras, clavos o plásticos. Una vez seleccionado el rastrojo vegetal es cortado e un tamaño aproximado de dos centímetros, ya que permite que la descomposición sea más rápida.

El control de pH, humedad y temperatura se efectúa dos veces por día los primeros cuatro días debido a la alta actividad microbiana que produce la descomposición de los componentes del abono. A partir del día cinco los controles son diarios, se tiene un registro de todas las mediciones realizadas (Véase en Anexo 1),

De esta manera se mantiene a los parámetros dentro de las condiciones óptimas para el proceso de elaboración del abono.

2.10.3. Descomposición de los Residuos

La descomposición de los residuos vegetales como hojas y tallos provenientes de los cultivos de frutilla y del estiércol vacuno se produce en los recipientes preparados, cada componente utilizado es colocado en el orden previamente indicado, durante los cuatro primeros días del proceso de fermentación aeróbica se realiza el control de pH, temperatura cada doce horas donde también se procede a los volteos de la pila para la aireación necesaria.

A partir del quinto día los controles de pH, temperatura y humedad son diarios, se observa la presencia de lixiviados que son recibidos en los recipientes de plástico ya que se encuentran recubiertos por un sedazo, el cual permite su filtración y recepción. Se evidencia que la generación de lixiviados reduce a partir del día 15 debido a que la cantidad de humedad presente en los componentes del abono reduce gradualmente.

Durante el periodo de fermentación que dura ocho días se registra una elevación de la temperatura, mientras la variación en el pH no es mucha, los datos se observan en el Anexo 1.

Cabe mencionar que durante el proceso de fermentación no se genera malos olores, tampoco se evidencio el ataque de insectos, el lugar destinado para realizar la parte experimental se mantiene limpio y ordenado.

El día 25 se observa que el abono tiene un color marrón oscuro, los componentes han concluido el proceso de descomposición ya que se tiene un producto uniforme, sin malos olores, con una variación de temperatura, pH y humedad mínima, se procede a

realizar el cuarteo de las formulaciones elegidas para ser analizadas por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG).

2.11. Control de las Variables

Las variables a ser controladas son temperatura, pH y humedad, permiten dar las condiciones adecuadas para la descomposición de los materiales empleados en la obtención del abono tipo Bocashi.

En la Tabla II-13 se describe las condiciones ideales para el compostaje, las variables deben encontrarse dentro de estos rangos:

Tabla II-13
Condiciones ideales para el compostaje

Condición	Rango aceptable	Condición óptima
Humedad	40 – 65%	50 –60 %
pH	5.5 – 9.0	6.5 –8.0
Temperatura en °C	55 – 75	40 –50

Fuente: Rynk, 1992.

2.11.1. Control de la Temperatura

El control de la temperatura se realiza dos veces por día, durante los cuatros primeros días debido a la elevada actividad microbiana como consecuencia de la descomposición de materia orgánica y los otros componentes (afrecho, ceniza, carbón).

Para evitar un descenso de temperatura por debajo del rango óptimo las pilas se cubren con un plástico negro, se realizan tres mediciones de temperatura en diferentes partes de la pila con un termómetro de 0 a 100 °C y se toma nota de cada una de las

mediciones en el registro diario de temperatura, después de cada medición se realiza el volteo de la pila.

Los volteos La pila de abono es colocada en el suelo sobre el plástico negro, lo cual facilita los volteos que se realizan dividiendo la pila en cuatro, mezclando las partes opuestas y seguidamente se coloca la pila dentro del recipiente de plástico.

Durante los cuatros primeros días se registra un incremento de la temperatura brusco en los tratamientos, por lo que de acuerdo a la bibliografía se realizan dos volteos cada doce horas, los que permiten una mezcla homogénea de todos los componentes del abono y permiten un oxigenación adecuada para la descomposición de la materia orgánica.

En la Tabla II-14 se presentan los valores que alcanzaron los tres tratamientos durante los cuatro primero días del proceso experimental:

Tabla II-14

Temperatura Inicial y Máxima Alcanzada en Cada Tratamiento

Tratamiento	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Máxima (°C)
EV	19,39	37,83
RJ	20,11	41,11
SL	21,11	37,67

Fuente: Elaboración Propia

Es necesario realizar los volteos cada doce horas, de esta manera se evita que la temperatura siga elevándose e inhiba la actividad microbiana y se mantenga dentro del rango óptimo de temperatura (40 – 50 °C). El tratamiento RJ alcanzó una temperatura de 41 °C mayor a las de los otros tratamientos ya que es el que cuenta con mayor materia orgánica proveniente del rastrojo de los cultivos de frutilla manteniéndose además dentro el rango óptimo para la elaboración de abono Bocashi,

por otra parte los tratamientos EV y SL se encuentran por ligeramente debajo del límite, de acuerdo a estos datos se puede observar que todas las pilas experimentan un alta actividad microbiana durante los primeros días del proceso.

2.11.2. Control del pH

El pH al igual que la temperatura es controlado dos veces al día durante los cuatro primeros días del proceso experimental debido a que se observa una mayor actividad microbiana en la descomposición de los materiales del abono.

El método seleccionado para la determinación de pH utiliza una relación abono-agua de 1:5. El procedimiento para la determinación de pH en cada una de las pilas de abono es el siguiente:

1. Se realiza el cuarteo en la pila.
2. Se toma una muestra representativa y se pesa 10 gramos del abono en un vaso de precipitación.
3. Se añade 50 ml de agua destilada y se agita por intervalos de hasta formar una 5 minutos durante media hora y se deja reposar 10 minutos.
4. Pasado el tiempo indicado se procede a medir el valor del pH con el potenciómetro calibrado previamente.

En los tres tratamientos se observa una elevación del pH durante los quince primeros días del proceso debido a la descomposición de la materia orgánica, a partir del día quince se observa un descenso gradual del pH, hasta que exista una mínima variación entre las mediciones diarias en los últimos días del proceso. En el Capítulo III que corresponde a Resultados y Discusión se muestran las gráficas de las curvas de pH vs. tiempo construidas con los datos de las mediciones diarias.

El control diario de este parámetro permite mantener que el pH de las pilas se encuentre dentro rango óptimo de pH para el proceso de elaboración de abono Bocashi, el cual se encuentra entre 6.5 – 8.0, si los valores registrados se encuentran por debajo de 6.5 se procede agregar ceniza la cantidad de esta depende de que tan

bajo se encuentre el pH, caso contrario si el pH sobrepasa los 8 se procede agregar una cantidad determinada de estiércol.

En las mediciones diarias tomadas a las pilas se observa que el pH de los tres tratamientos se encuentra dentro de los siguientes valores presentados en la Tabla II – 15:

Tabla II-15
Rango de pH en Cada Tratamiento

Tratamiento	pH
EV	7,15 – 8,73
RJ	7,20 – 8,97
SL	7,48 – 9,04

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla anterior en el tratamiento SL sobrepasa ligeramente el rango aceptable de pH, esto se debe a que el tratamiento contiene 5% de suero de leche mientras los tratamientos EV y RJ se encuentran dentro del rango aceptable, la razón es porque estos no contienen suero de leche.

2.11.3. Control de la Humedad

El procedimiento para determinar el contenido de humedad en las pilas de abono, se realiza sometiendo la muestra a una temperatura de 105°C durante un tiempo determinado y a partir de la diferencia de peso se calcula el porcentaje de humedad y el porcentaje de materia seca.

Durante los primeros siete días la determinación de la humedad diaria se realiza en la balanza de humedad, se decide aplicar el método de desecación en la estufa a 105°C ya que permite que las nueve muestras de abono sean analizadas en un tiempo más corto que empleando la balanza de humedad.

El procedimiento para la determinación diaria de la humedad se describe a continuación:

1. Tarar la cápsula durante 1 hora en la estufa a una temperatura de 105°C.
2. Enfriar durante 55 minutos en un desecador, pesar la cápsula vacía.
3. Pesar 5 gramos de muestra en el la capsula previamente tarada y llevar a la estufa a 105°C durante 1 hora.
4. Llevar a un desecador y dejar enfriar durante 55 minutos.
5. Pesar la cápsula con la muestra seca.
6. Repetir el procedimiento hasta que el peso sea constante.

A lo largo del proceso experimental se debe mantener los tratamientos dentro del rango óptimo de humedad (50 – 60 %), por lo tanto se realiza el control de humedad diaria, si la humedad es mayor al 60% se agrega una cantidad determinada de carbón, afrecho y tierra, caso contrario si la humedad se encuentra por debajo del 40% se procede agregar agua de manera uniforme en toda la pila.

Para determinar la cantidad de carbón, afrecho y tierra necesaria para reducir el porcentaje de humedad en el caso de sobrepasar el 60%, se agrega 100 gramos de cada componente lo que representa 7,5% de la masa total del abono, se realiza los volteos correspondientes para mezclar todos los materiales, se mide la humedad alcanzada, en el caso de encontrarse por debajo del 60%, esa será la cantidad a colocarse en cualquiera de los tratamientos si sobrepasa el límite. Caso contrario se aumentará gradualmente 50 gramos de cada componente y se medirá la humedad nuevamente, hasta que el valor se encuentre dentro de los parámetros correspondientes.

Tabla II-16

Rango de Humedad en Cada Tratamiento

Tratamiento	Humedad (%)
EV	45,26 – 56,89
RJ	43,22 – 56,6
SL	44,89 – 56,96

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la Tabla II-16 se determina que los tres tratamientos se encuentran dentro del rango aceptable de humedad (40 – 65%), además de presentar una diferencia entre los tres tratamientos menor al 3 %, a lo largo de la parte experimental se observa también una diferencia de aproximadamente 10 % de humedad entre las mediciones diarias de los tres tratamientos, por lo que se puede concluir que este parámetro por lo que se puede concluir que el porcentaje de humedad no se encuentra en función a la cantidad de rastrojo vegetal o de estiércol vacuno. Las gráficas de humedad vs. tiempo se encuentran en el Capítulo III correspondiente a Resultados y Discusión y los registros de las mediciones diarias en el Anexo 1.

2.12. Determinación de la Cinética de Fermentación a partir de la Producción de Ácido Láctico

Los resultados de los análisis realizados en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) son evaluados para determinar el tratamiento que alcanza el mejor contenido de macronutrientes, el cual es utilizado para realizar los ensayos requeridos para determinar la cinética de fermentación del abono.

Un modelo que describe el proceso de fermentación del abono Bocashi es la generación de ácido láctico, asumiendo que la producción de este ácido está asociada con el crecimiento microbiano. Por lo que en esta investigación aplicada estudiar la producción de ácido láctico en cada uno de los tratamientos para establecer el modelo cinético de la fermentación.

Para la realización de estos ensayos se determina el contenido de ácido láctico titulando el lixiviado de cada pila con NaOH de concentración 0,1 N y un factor de 0,95999, el procedimiento es el siguiente:

1. Extraer el lixiviado por la perforación del recipiente de plástico y medir 10 ml del en una probeta.
2. Transferir la muestra a un vaso de precipitación y agitar la muestra.
3. Calibrar y lavar el pHmetro, colocar en el soporte correspondiente.

4. Titular con NaOH 0.1 N hasta alcanzar un pH de 8.3 (punto de equilibrio del indicador Fenolftaleína) y tomar nota del volumen gastado.

El procedimiento descrito se realiza en los tres tratamientos durante un periodo de ocho días, en las Tablas II-17, II-18 y II-19 se presentan los datos obtenidos de volumen de lixiviado utilizado y el pH del mismo que se mide antes de realizar la prueba, la cuarta columna corresponde al volumen de NaOH gastado en la titulación, a partir de este dato se procede a realizar el cálculo de los °Dornic y el contenido de ácido láctico en gramos/litro, aplicando la siguiente relación:

- Los mililitros gastados de NaOH en cada titulación se multiplican por 9 y se dividen entre 10, dicho cociente expresa la acidez titulable del abono en grados Dornic:

$$^{\circ}Dornic = \frac{9 \times ml \text{ de NaOH}}{10}$$

- La relación entre °Dornic y el contenido de ácido láctico es la siguiente:

$$^{\circ}Dornic = 0,1 \text{ g/litro} = 0,01 \% \text{ de Ácido Láctico}$$

Tabla II-17

Datos de pH, Volumen de NaOH Gastado y °Dornic para Tratamiento EV

Tiempo (Días)	V _{Lixiviado} (ml)	pH	V _{NaOH} (ml)	°Dornic	Ácido Láctico (g/litro)
1	10	7,91	0,43	0,39	0,039
2	10	7,83	0,58	0,53	0,053
3	10	7,69	0,73	0,66	0,066
4	10	7,52	1,05	0,95	0,095
5	10	7,46	1,25	1,13	0,113
6	10	7,33	1,42	1,28	0,128
7	10	7,2	1,63	1,47	0,147
8	10	7,13	1,77	1,59	0,159

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla II-18

Datos de pH y Volumen de NaOH Gastado y °Dornic para Tratamiento RJ

Tiempo (Días)	V _{Lixiviado} (ml)	pH	V _{NaOH} (ml)	°Dornic	Ácido Láctico (g/litro)
1	10	7,75	0,58	0,52	0,052
2	10	7,59	0,68	0,62	0,062
3	10	7,53	1,05	0,95	0,095
4	10	7,43	1,22	1,1	0,110
5	10	7,27	1,43	1,29	0,129
6	10	7,19	2,12	1,91	0,191
7	10	7,10	2,18	1,96	0,196
8	10	7,06	2,25	2,02	0,202

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla II-19

Datos de pH y Volumen de NaOH Gastado y °Dornic para Tratamiento SL

Tiempo (Días)	V _{Lixiviado} (ml)	pH	V _{NaOH} (ml)	°Dornic	Ácido Láctico (g/litro)
1	10	8,06	0,25	0,23	0,023
2	10	7,93	0,35	0,32	0,032
3	10	7,83	0,43	0,39	0,039
4	10	7,75	0,63	0,57	0,057
5	10	7,60	0,83	0,75	0,075
6	10	7,45	0,97	0,87	0,087
7	10	7,10	1,28	1,16	0,116
8	10	7,35	1,40	1,26	0,126

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los datos presentados en las anteriores tablas en el Capítulo III correspondiente a Resultados y Discusión, se realizan la gráfica comparativa de las tres de las cinéticas de producción de ácido láctico vs. tiempo, ya que como se

mencionó la producción de ácido láctico se encuentra asociada al crecimiento microbiano proporcionando un modelo para el proceso de fermentación.

2.13. Pruebas de Granulometría y Humedad Final

Como se explica en el punto 2.10.3., el proceso experimental concluye el día 25 y se realiza los ensayos de granulometría a cada pila de abono para así determinar la distribución de tamaño de las partículas del abono Bocashi, el procedimiento se describe a continuación:

1. Efectuar el cuarteo de las pilas de abono, el cual consiste en separar en cuatro partes iguales la pila uniendo las partes opuestas y repetir la operación.
2. Pesar una muestra representativa de 500 gramos de abono.
3. Transferir la muestra al tamiz vibratorio que cuenta con siete tamices de diferentes aberturas ordenados de tal manera que las aberturas vayan disminuyendo a medida que la muestra de abono descienda por estos.
4. Programar el tamizado a 200 rpm y durante un tiempo de 10 minutos.
5. Pesar cada tamiz por separado para poder determinar la cantidad de abono retenido y tamizado en cada malla.

En el Capítulo III que corresponde a Resultados y Discusión, se muestra los resultados obtenidos y la graficas correspondientes al porcentaje retenido vs. abertura del tamiz para cada una de las nueve pilas de abono Bocashi.

Una vez finalizado el proceso experimental de elaboración del abono Bocashi, se esperó veinte días para realizar la determinación de humedad final, residuo seco y pérdida de masa en la balanza de humedad SARTORIUS MA 100, ya que transcurrido este tiempo se puede definir si existen variaciones importantes en la humedad al final del proceso experimental y la humedad al ser aplicada en el suelo de cultivo. El procedimiento para determinar humedad final, residuo seco y pérdida de masa es el siguiente:

1. Pesar 5 gramos de abono en la balanza de humedad.
2. Programar el equipo a una temperatura de 105 °C.

3. Iniciar el proceso, registrando la variación de la humedad con el tiempo hasta llegar a un peso constante.

Finalizado el tiempo de secado el cual varía de acuerdo a la muestra de abono, con los datos registrados se realiza las curvas de porcentaje de humedad vs. tiempo, las que se encuentran en el Capítulo III que corresponde a Resultados y Discusión.

2.14. Control de los Lixiviados

Durante el proceso de producción de abono tipo Bocashi se observa la presencia de lixiviados líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas, a partir del 3 día, para realizar las mediciones de la cantidad de lixiviados generados en cada pila se procede a perforar la base del recipiente de plástico y colocar un tapón.

Al finalizar el proceso de elaboración del abono Bocashi se obtiene una cantidad final de lixiviados generados por cada pila de abono (Tabla II-20):

Tabla II-20
Cantidad Total de Lixiviados por Pila

Tratamiento	Pila	Volumen de Lixiviado Generado (Litro)
EV	F1	0.36
	F6	0.39
	F8	0.42
RJ	F2	0.40
	F4	0.39
	F9	0.35
SL	F3	0.45
	F5	0.41
	F7	0.43

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla II-17, la cantidad generada de lixiviados no es significativa para los tratamientos ya que cada pila contenía 4 kg de materiales para la producción del abono Bocashi, además que el control diario de humedad permite que esta se encuentre dentro del rango óptimo para la descomposición de los materiales.

En el caso de realizar una producción de abono a mayor escala, se debe impermeabilizar la superficie con una geomembrana y realizar un control en la generación de los lixiviados empleando un canales entre las pilas para cuantificar el volumen de los mismos y con destino final a un reservorio de lixiviados donde serán analizados y tratados para su reincorporación.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Rendimiento del Abono Orgánico Tipo Bocashi

En el Capítulo II punto 2.4.6. Diseño Experimental, se plantea un diseño de bloques al azar, de tres bloques, cada uno cuenta con los tres diferentes tratamientos de las mezclas de estiércol vacuno y rastrojo vegetal de cultivos de frutilla.

- Tratamiento EV: Estiércol vacuno 45% + Rastrojo Vegetal 35% + 20% Resto de componentes (carbón, ceniza, afrecho y melaza).
- Tratamiento RJ: Estiércol vacuno 35% + Rastrojo Vegetal 45% + 20% Resto de componentes (carbón, ceniza, afrecho y melaza).
- Tratamiento SL: Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche + 15% Resto de componentes (carbón, ceniza, afrecho y melaza).

La distribución aleatoria de los bloques y tratamientos realizada durante la parte experimental del proyecto, se presenta en el punto 2.6.1. Croquis del Campo.

A partir del diseño experimental planteado se determina la influencia de las mezclas de estiércol vacuno y rastrojo vegetal presentes en los tratamientos con respecto a la variable respuesta rendimiento.

El proceso experimental para la producción de abono orgánico tipo Bocashi fue concluido el día 25, de manera que se procede a determinar el rendimiento de cada una de las formulaciones, los resultados alcanzados en concordancia con el diseño de bloques aleatorios se muestran en la Tabla III-1 que se detalla a continuación:

Los resultados alcanzados en concordancia con el diseño de bloques aleatorios se muestran en la Tabla III-1 que se detalla a continuación:

Tabla III-1

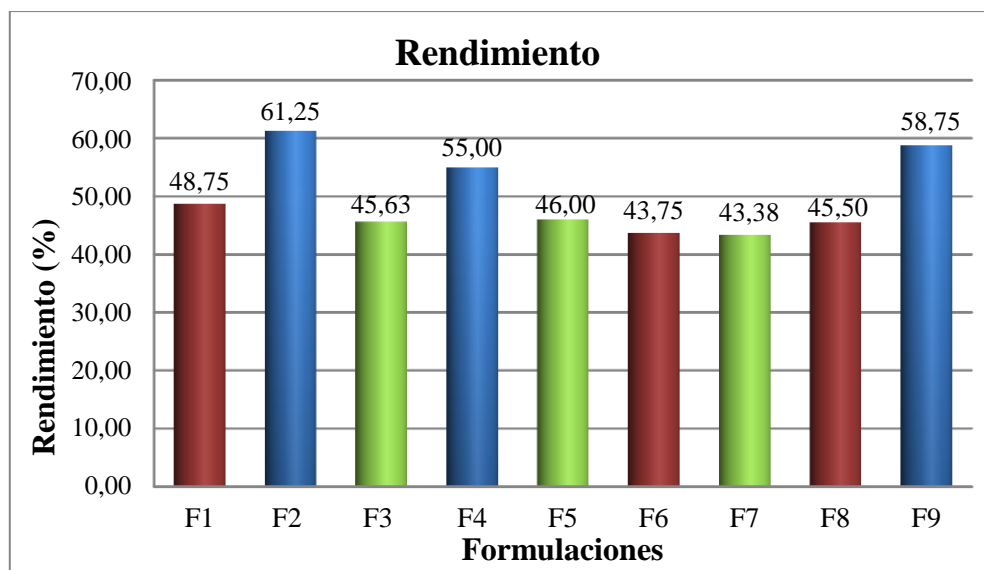
Rendimiento de las Formulaciones del Abono Orgánico Tipo Bocashi

Bloque Aleatorio Pila	Tratamiento	Producción (Kg.)	Rendimiento (%)
F1	EV	1,95	48,75
F2	RJ	2,45	61,25
F3	SL	1,825	45,63
F4	RJ	2,20	55,00
F5	SL	1,84	46,00
F6	EV	1,75	43,75
F7	SL	1,735	43,38
F8	EV	1,82	45,50
F9	RJ	2,35	58,75

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los datos de la Tabla III-1, se puede apreciar que las formulaciones con mejor rendimiento es las mezclas RJ (F2, F4 y F9) que se encuentran dentro del 55 al 61,25 % , las cuales contienen rastrojo vegetal 45% + estiércol vacuno 35% y 20% resto de componentes. Mientras las formulaciones EV y SL que contienen menor proporción de rastrojo vegetal y suero de leche alcanzan rendimientos dentro del 43,38 al 48,75 %. Esto nos demuestra el potencial del rastrojo vegetal en alcanzar mejores rendimientos. La representación gráfica se encuentra representada en la Figura 3-1:

Figura 3-1
Rendimiento del Abono Orgánico Tipo Bocashi



Fuente: Elaboración Propia

A partir de lo establecido en el diseño experimental, se procede a sistematizar la información generada en cada uno de los tratamientos, a través de la interpretación y los análisis estadísticos correspondientes para el diseño experimental de bloques al azar.

En la Tabla III-2, se observa que la formulación que alcanza mayor rendimiento es la RJ que contiene un mayor porcentaje de rastrojo vegetal, alcanzando en conjunto de los tres bloques una producción de 7,00 kg. de abono Bocashi.

Tabla III-2
Rendimiento de Abono Bocashi por Formulación

Tratamiento	Bloques			Σ Tratamientos (Kg.)
	I (Kg.)	II (Kg.)	III (Kg.)	
EV	1,950	1,750	1,820	5,52
RJ	2,450	2,200	2,350	7,00
SL	1,825	1,840	1,735	5,40
Σ Bloques	6,225	5,790	5,905	

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Análisis Estadístico

El análisis estadístico del diseño experimental de bloques al azar propuesto se realiza a partir de los datos obtenidos de los diferentes tratamientos, el cálculo se realiza utilizando las formulas estadísticas mencionadas en el Capítulo II, punto 2.4.5. Análisis de Varianza.

En la Tabla III-3 se detalla el análisis de la varianza aplicado entre los bloques y entre los tratamientos, para probar la significancia estadística sobre la variable de rendimiento.

Tabla III-3
Análisis de la Varianza

	GL	SC	CM	F calculada	F_(t5%)
Bloques	2	0,034	0,017	2,727	6,944*
Tratamiento	2	0,529	0,265	42,619	6,944 **
Error	4	0,025	0,006	-	-
Total	8	0,588	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

* = Diferencia no significativa

** = Diferencia significativa

El valor de $F_{(t5\%)}$ se determina en las Tablas de Distribución de F con el 0,05 % de significancia, para ello los grados de libertad de los bloques o de los tratamientos serán los grados de libertad del numerador y los grados de libertad del error serán los del denominador. Los valores de las F tabulada se encuentran en el Anexo 3.

Al contar con tres tratamientos y tres bloques los grados de libertad para ambos son 2 y los grados de libertad del error son 4, por lo que el valor de $F_{(t5\%)}$ es 6,944 para ambos.

Se puede deducir que existen diferencias significativas entre los tratamientos del abono Bocashi, esto se debe a que $F_{calculada}$ es igual a 42,619 valor mayor al de $F_{(t5\%)}$, para una confianza de 95% y un 5% de probabilidad de error. En la Tabla III-3 se

observa también que $F_{\text{calculada}}$ para los bloques es igual 2,727 menor a $F_{(15\%)}$, por lo tanto no son significativos en el proceso de elaboración del abono.

3.3. Prueba de Tukey

Al existir diferencias significativas entre los tratamientos se procede a utilizar la prueba de Tukey, que nos permite determinar que tratamiento tiene el mejor rendimiento.

$$T = q \times \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

Donde:

T = Tukey

q = es el valor que se obtiene de la Tabla de Tukey. Horizontalmente se coloca los grados de libertad de los tratamientos y verticalmente los grados de libertad del error.

CME = Cuadrado medio del error

r = número de repeticiones

Empleando la Tabla de los Valores Críticos para la Prueba de Tukey (Anexo 4), se determina que el valor de $q = 3,93$, el Cuadrado Medio del Error (CME) = 0,006 y valor de $r = 3$, ya que se toma en cuenta el número de repeticiones por tratamiento.

$$T = 3,93 \times \sqrt{\frac{0,006}{3}}$$

$$T = 0,176$$

En la Tabla III – 4, se calcula el promedio del rendimiento alcanzado en cada uno de los tres tratamientos

Tabla III – 4
Promedio de los Tratamientos

Tratamientos	Bloques			Promedio Tratamientos (Kg.)
	I (Kg.)	II (Kg.)	III (Kg.)	
EV	1,950	1,750	1,820	1,840
RJ	2,450	2,200	2,350	2,333
SL	1,825	1,840	1,735	1,800

Fuente: Elaboración Propia.

Con el valor de T calculado previamente y los promedios de cada tratamiento, se procede a realizar las comparaciones entre los tratamientos (Tabla III-5).

Tabla III-5
Tabla de Tukey

Tratamiento	SL	EV	RJ
RJ	**0,533	**0,493	0,000
EV	*0,040	0,000	
SL	0,000		

Fuente: Elaboración Propia.

* = Diferencia no significativa

** = Diferencia significativa

La Tabla de Tukey se elabora a partir de la diferencia entre los promedios de los tratamientos, por ejemplo la diferencia entre los tratamientos RJ y SL = 2,333 - 1,800 = 0,533(*), como $0,533 > 0,176$ que representa el valor calculado de T, existe una diferencia significativa entre estos tratamientos, la diferencia entre RJ y EV es mayor al valor de T por lo que también significativa.

Entre los tratamientos EV y SL la diferencia es menor a T por lo que no es significativa. De acuerdo a la Tabla III-5 se concluye que el tratamiento con mejor rendimiento es RJ: Rastrojo Vegetal 45% y 35% Estiércol vacuno.

3.4. Análisis de las Mediciones Experimentales del Abono Orgánico Tipo Bocashi

La parte experimental de la elaboración de abono orgánico tipo Bocashi, se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, de acuerdo al diseño experimental de bloques al azar, en donde los tratamientos se han distribuido aleatoriamente dentro de cada bloque, durante el proceso de elaboración del abono orgánico tipo Bocashi se realizan las mediciones experimentales de pH, temperatura y humedad, a cada uno de los tratamientos y a sus respectivas repeticiones.

El tiempo estimado de elaboración de abono Bocashi de acuerdo a la bibliografía esta entre 20 a 25 días esto se define cuando las variaciones de los parámetros son mínimas, es por eso que el proceso experimental del presente trabajo tuvo una duración de 25 días, ya que a partir del día 22, se observó que las mediciones diarias de los parámetros pH, humedad y temperatura no registran variaciones significativas, las mismas que oscilan entre 3 a 1 °C de temperatura, en caso de los valores diarios del pH se tiene una diferencia de 0,20 a 0,25 y las variaciones en la humedad diaria son entre 3 y 5%, se puede apreciar las mismas en el Anexo1 y en las gráficas de dichos parámetros correspondientes en cada tratamiento .

Además de lo anteriormente señalado, los indicadores que determinan que el abono Bocashi ya puede ser utilizado, son los siguientes:

- Olor característico: tierra húmeda o suelo de bosque, con la ausencia de malos olores.
- El abono presenta un color marrón oscuro.
- Se observa el cambio en el tamaño de las partículas, debido a que la composición del abono es uniforme.

Estos indicadores serán evaluados al final del proceso y para cada tratamiento, de manera que se realice el control de calidad en cuanto a sus características organolépticas, fisicoquímicos y rendimiento.

3.4.1. Tratamientos EV: Estiércol vacuno 45% y Rastrojo Vegetal 35%

El tratamiento EV tiene 3 repeticiones (F1, F6, F8), a cada una se realiza las mediciones de los tres parámetros más importantes para la producción del abono tipo Bocashi. A continuación se indica brevemente como se realiza cada medición:

Para la determinación de pH se emplea un pH-metro de marca METTLER TOLEDO previamente calibrado en el laboratorio, se toma una muestra significativa de abono para ello se procede a realizar el cuarteo de la pila y tomar tres mediciones de pH para calcular el promedio.

La medición de la temperatura se realiza utilizando un termómetro de 0 a 100 °C, tomando tres mediciones en tres puntos diferentes de la pila de abono.

La determinar la humedad diaria se realiza por el método gravímetro en la estufa a 105 °C durante una hora, se decide emplear la estufa en lugar de la balanza de humedad ya que acorta el de análisis de las nueve pilas. Para la determinación de humedad final se realiza veinte días de finalizar el proceso de elaboración empleando la balanza de humedad de marca Sartorius.

3.4.1.1. pH

A partir de las mediciones diarias del pH se realiza una gráfica comparativa de pH vs. tiempo para las tres formulaciones del tratamiento EV, en la Figura 3-2 se observa que durante los primeros del proceso de descomposición de la materia orgánica, el pH de la pila F6 tenía un valor de 7,02 y en el caso de F1 y F8 con un pH inicial de 7,16 y 7,28 respectivamente.

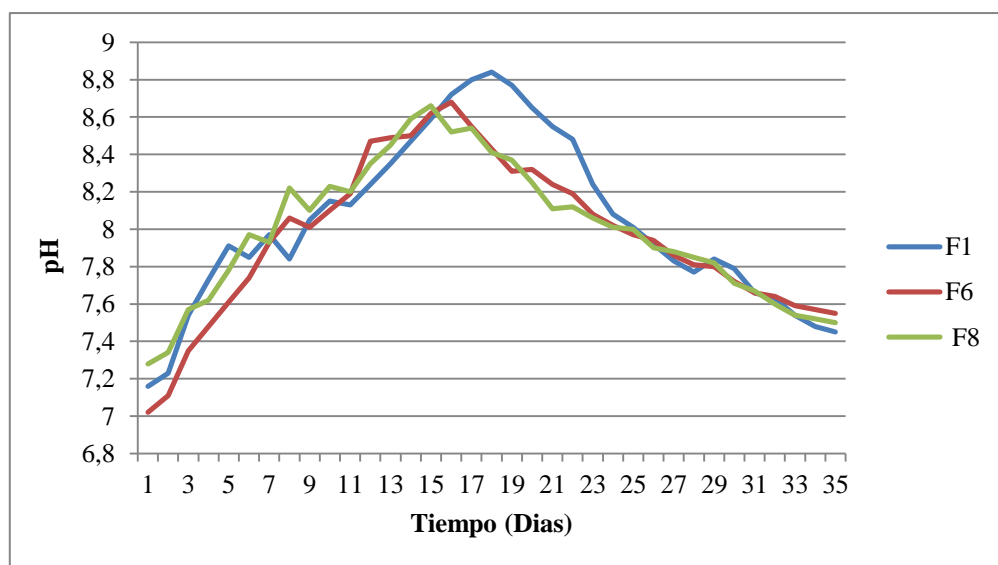
Durante el proceso las tres pilas siguieron incrementando su pH hasta alcanzar valores alcalinos, esto se debe a la descomposición de la materia orgánica este incremento se mantiene hasta el día 15 en las pilas F6 y F8, además presentan una

mínima variación entre los valores de las tres pilas se observa que la pila F1 tiene un descenso de pH a partir del día 18, esto se debe al momento de realizar los volteos no se logró una mezcla uniforme entre el estiércol vacuno con los materiales del abono.

En últimos días del proceso experimental de elaboración del abono el pH continua descendiendo hasta aproximadamente de 7,5 en las tres formulaciones, además se observa leves variaciones entre los valores de las mismas, todos los datos se presentan tabulados en el Anexo1.

Como se menciona en el punto 2.11.2. Control del pH, el tratamiento EV se encuentra dentro de los parámetros aceptables para la elaboración de abono Bocashi, oscilando entre 7,20 – 8.97.

Figura 3-2
Datos de pH Tratamiento EV



Fuente: Elaboración Propia.

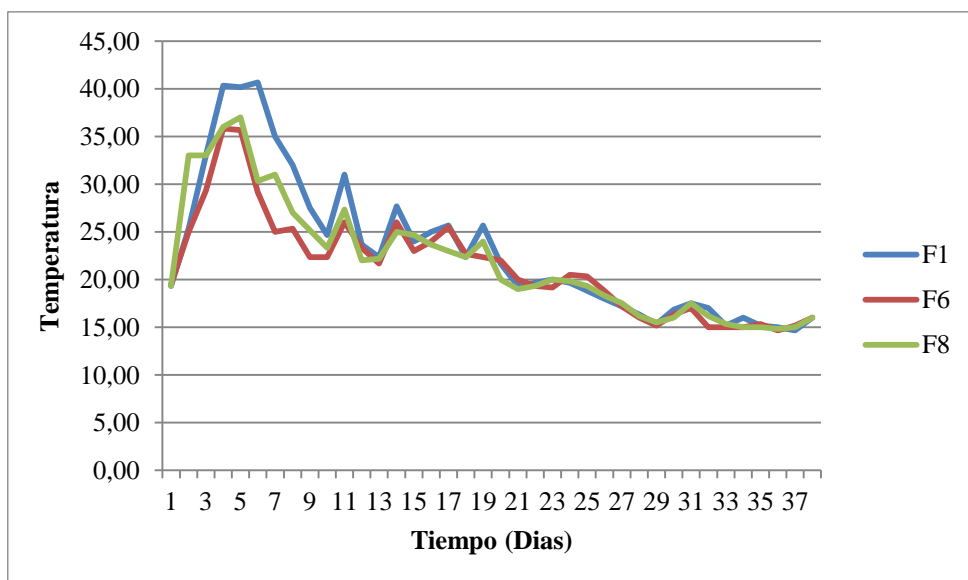
3.4.1.2. Temperatura

Durante los días que se realizó la parte experimental hubo se registraron bajas temperaturas, por lo que las pilas con un plástico permitió alcanzar y mantener la temperatura adecuada para la descomposición de la materia orgánica.

La temperatura de las tres pilas durante los cuatro primeros días del proceso experimental estuvo en un rango de 19°C y 40,5°C, esto se produce por un incremento en la actividad microbiana debido a la fermentación de la materia orgánica, por lo que la bibliografía recomienda realizar el control de la temperatura cada doce horas y seguidamente los volteos correspondientes.

A partir del día 9 se observa la disminución de la temperatura, lo que refleja un descenso en la actividad microbiana, esto ocurre hasta tener una diferencia de menos de 4°C con la temperatura ambiente lo cual es un indicador de que se tiene un abono de buena calidad. El rango de temperaturas registrado en cada pila se encuentra en el rango óptimo para la obtención del abono Bocashi. (Ver Anexo 1).

Figura 3-3
Datos de Temperatura Tratamiento EV



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.3. Humedad

La humedad en las pilas F1, F6, F8 correspondientes al tratamiento EV se mantiene entre 43,43 y 56, 74%, estos valores se aproximan al rango óptimo de humedad para la elaboración del abono Bocashi que esta entre 45-55%. El registro de datos de humedad se encuentra en el Anexo 1.

La determinación de humedad es diaria, los primeros siete días se realiza en la balanza de humedad, para lo cual se procede a realizar el cuarteo de cada pilas y se toma una muestra representativa, se pesa 5 gramos de cada muestra y la determinación de la humedad se realiza a 105°C.

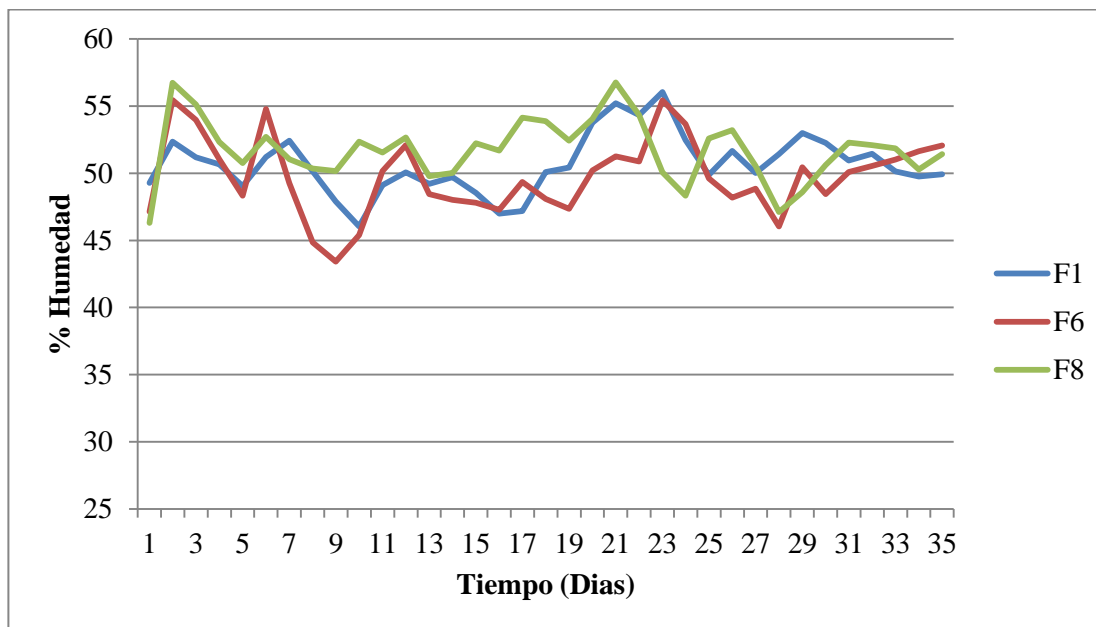
Para reducir el tiempo de la determinación de humedad a partir del día 8 se procede a emplear el método gravimétrico de secado en la estufa a 105°C, se pesa 5 gramos de cada muestra en una capsula de porcelana y se llevan las muestras a la estufa por una hora, se pesa las capsulas con la muestra seca, se calcula el contenido de humedad a partir de la diferencia de pesos.

En la Figura 3-4 se presentan los datos registrados la humedad diaria de cada pila perteneciente al tratamiento EV, se observa que durante los primeros días existe un incremento en el contenido de humedad ya que al elevarse la temperatura se agrega agua en toda la pila para evitar que la temperatura se eleve hasta valores que inhiban la actividad microbiana en el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Se registran oscilaciones en contenido de humedad en las tres pilas lo cual se debe a que durante los volteos no se llegó mezclar de manera uniforme los componentes.

Figura 3-4

Datos de Humedad Tratamiento EV



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.4. Granulometría

La granulometría es el método usado para determinar a distribución de tamaño de las partículas del abono Bocashi para realizar este ensayo

Para realizar este ensayo se realiza el cuarteo de la pila de abono y se pesa una muestra significativa de la pila de 500 gramos, el tamizado dura 10 minutos a 200 rpm, en la Tabla III-6 presenta los datos obtenidos en los ensayos de cada pila del tratamiento EV:

Tabla III-6

Resultados Determinación Granulometría Tratamiento EV

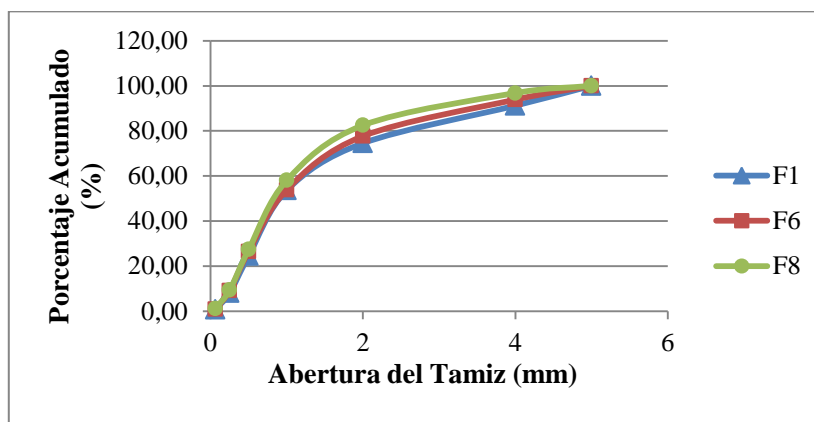
Abertura Tamiz (mm)	F1		F6		F8	
	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulad o (%)	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)
0,063	4,08	0,82	4,76	0,95	5,81	1,16
0,25	36,53	8,13	40,71	9,10	41,20	9,40
0,5	82,29	24,59	86,89	26,48	90,06	27,42
1	115,42	47,69	117,09	49,91	133,20	54,07
2	134,22	74,55	138,95	77,70	141,13	82,30
4	83,27	91,21	80,81	93,87	71,43	96,59
5	43,92	100,00	30,64	100,00	17,05	100,00
Total	499,72		499,86		499,88	

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de la Tabla III-6 permiten concluir que el tamaño de partículas del abono tipo Bocashi de las pilas F6 y F8 se encuentra entre partículas mayores 1 milímetro y menores a 2 milímetros, y para la pila F1 se encuentra entre partículas mayores a 2 milímetros y menores a 3 mm, como se puede apreciar en la Figura 3-5 a continuación:

Figura 3-5

Granulometría Tratamiento EV



Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó un análisis sensorial de las tres pilas de abono en el que a simple vista se aprecia que el tamaño de las partículas de los abonos son similares pero al realizar las pruebas de granulometría se concluye que el 80% las partículas de las pilas F6 y F8 del tratamiento EV son menores a 2 mm y en la pila F1 son menor a 2,5 mm.

3.4.1.5. Humedad Final, Residuo Seco y Masa Final

El proceso de elaboración de abono Bocashi termina el día 25, se espera veinte días para determinar la humedad final del abono, el residuo seco y la pérdida de masa, de esta manera se puede definir como varía la humedad con respecto del tiempo, además de proporcionar datos que permitan definir el tipo de almacenamiento para el abono antes de ser aplicado en los suelos de cultivo.

Estas pruebas se realizan en la balanza de humedad a una temperatura de 105°C, tomando una muestra representativa de 5 gramos de cada pila.

3.4.1.5.1. Pila F1 EV: Estiércol vacuno 45% y Rastrojo Vegetal 35%

El porcentaje de humedad final alcanzada se obtiene por la pérdida de masa de la muestra respecto al tiempo a una temperatura de 105 °C, de tal manera que el contenido de residuo seco expresa la cantidad real de abono se obtuvo en cada pila.

La pila F1 EV tiene una humedad final de 38,23%, un residuo seco de 61,77% y una masa final de 3.09 g, datos que se encuentran a continuación en la Tabla III-7:

Tabla III-7

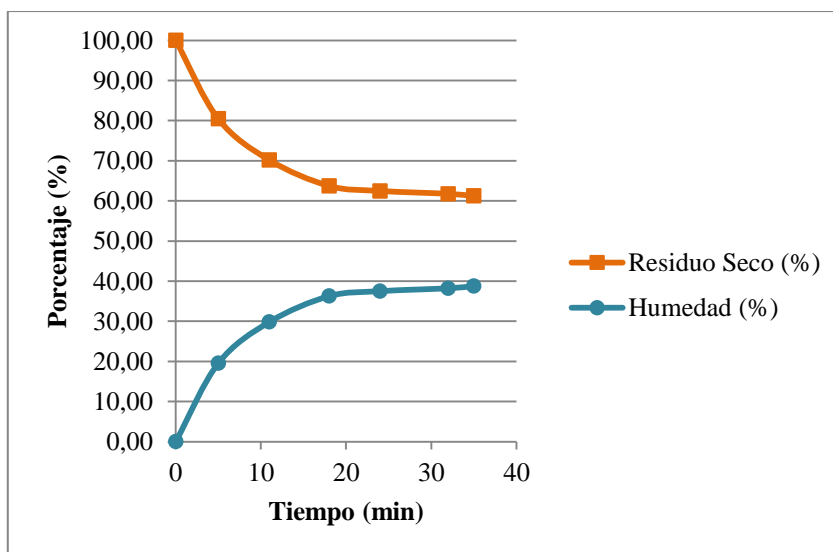
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F1

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,01
5	80,45	19,55	4,03
11	72,16	27,84	3,61
17	63,74	36,26	3,19
24	61,89	38,11	3,10
27	61,77	38,23	3,09

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-6 se presentan las gráficas tanto del porcentaje de humedad como del residuo seco vs. tiempo, realizadas con los datos obtenidos de la tabla anterior, la determinación tuvo una duración de 35 minutos en la que se aprecia una disminución del contenido de humedad y un incremento en el contenido final de residuo seco, esto se debe a que estos dos parámetros son inversamente proporcionales.

Figura 3-6
Residuo Seco y Humedad Pila F1



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.5.2. Pila F6 EV: Estiércol vacuno 45% y Rastrojo Vegetal 35%

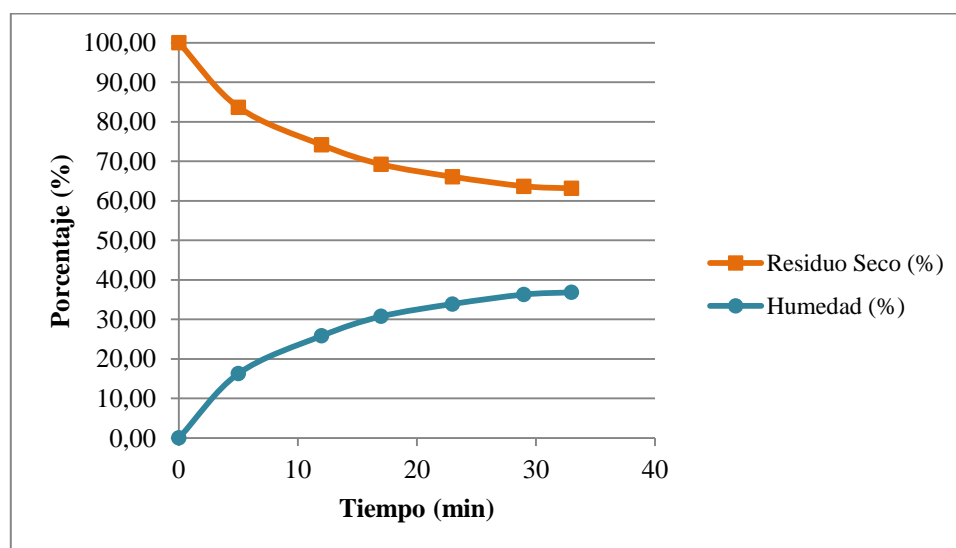
La muestra de la pila F6 EV analizada en la balanza de humedad obtuvo los siguientes resultados: humedad final de 36,85%, un residuo seco de 63,15% y una masa final de 3,16 g, los datos de la variación de ambos respecto al tiempo se encuentran tabulados a continuación:

Tabla III-8
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F6

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
5	83,70	16,30	4,19
12	74,15	25,85	3,71
17	69,24	30,76	3,46
23	66,09	33,91	3,31
29	63,70	36,3	3,19
33	63,15	36,85	3,16

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3-7
Residuo Seco y Humedad Pila F6



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-7 se realiza la representación gráfica del porcentaje de humedad y residuo seco vs. tiempo, con los datos de la Tabla III-8, determinación de humedad final en la pila F6 duro 33 minutos, realizando una comparación entre los datos de la pila F1 expuestos en la Tabla III-7, se define que no existe una variación significativa entre las dos pilas.

3.4.1.5.3. Pila F8 EV: Estiércol vacuno 45% y Rastrojo Vegetal 35%

La determinación de humedad final y residuo seco en la pila F8 EV realizada en la balanza de humedad, tuvo una duración de 30 minutos, en la Tabla III-9 se presentan los resultados obtenidos: humedad final de 35,34%, residuo seco de 64,66% y masa final de 2,90g, la representación gráfica de los datos registrados se realiza en la Figura 3-8, la cual presenta el comportamiento de la humedad y del residuo seco respecto al tiempo.

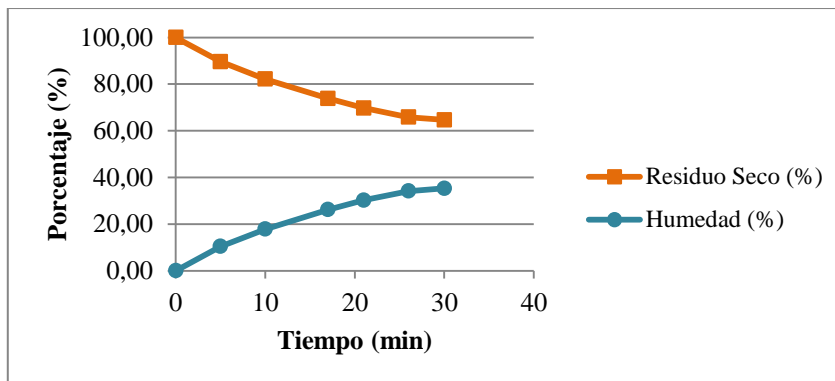
Al tener los datos de las tres pilas correspondientes al tratamiento EV, se concluye que la variación entre ellas es mínima ya que es menor al 4 %, en ambos parámetros.

Tabla III-9
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F8

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
5	89,61	10,39	4,48
10	82,16	17,84	4,11
17	73,84	26,16	3,69
21	69,73	30,27	3,49
26	65,85	34,15	3,29
30	64,66	35,34	2,90

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3-8
Residuo Seco y Humedad Pila F8



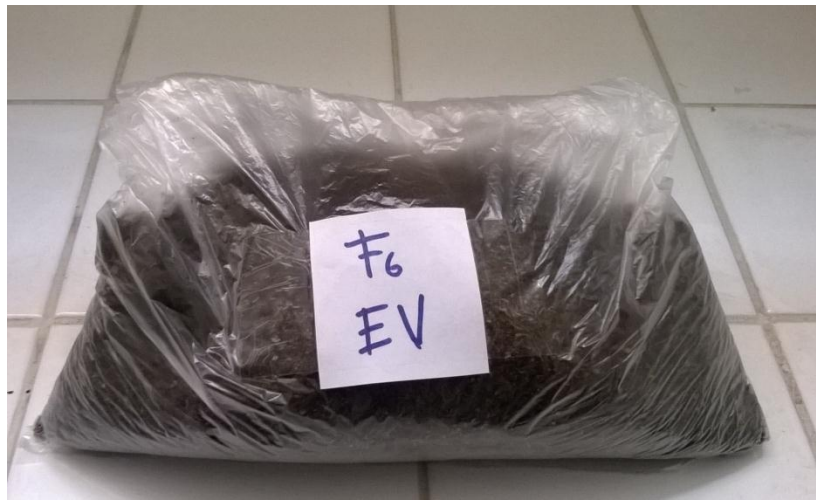
Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.6. Resultados de los Análisis de Laboratorio del Tratamiento EV

El día 25 se observa que el abono tiene un color marrón oscuro, los componentes han concluido el proceso de descomposición ya que se tiene un producto uniforme, sin malos olores, con una variación de temperatura, pH y humedad mínima, se procede a realizar el cuarteo de las formulaciones elegidas para ser analizadas por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), los resultados se presentan en la Tabla III-8:

Figura 3-9

Muestra de Abono Bocashi Pila F6



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III-10
Resultados de Análisis Físicoquímicos Pila F6

Parámetro	Contenido
pH	7.97
Calcio	13.00 meq/100 g
Potasio	1.13 meq/100 g
Relación C/N	10.50
Materia Orgánica	76.03 %
Fósforo	5.125 %
Nitrógeno Total	203.49 ppm

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio
Departamental Agropecuario SEDAG, 2015.

En Bolivia se cuenta con la Ley N° 3525 “Regulación y Promoción de la Producción Agropecuaria y Forestal no Maderable Ecológica”, la que dispone la creación del Consejo Nacional de Producción Ecológica (CNPE) cuya función es promover y consolidar el desarrollo de la Producción Ecológica en nuestro país, además de que los artículos 380, 405 y 407 de la Constitución Política impulsan, promueven y apoyan a la producción orgánica, a pesar de esto Bolivia no cuenta con una norma oficial sobre abono orgánicos.

Por su parte el Consejo Nacional de Producción Ecológica y la Asociación de Organizaciones de Productores Ecológicos de Bolivia (AOPEB), publicaron manuales y guías para la elaboración de abonos orgánicos a partir de experiencias de productores en sus propias comunidades, pero estos no cuentan con un reglamento o una norma con la que se pueda comparar los parámetros del abono Bocashi obtenido en la parte experimental del proyecto.

Es por esta razón que los resultados obtenidos en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), serán comparados con los

definidos por la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, en el punto 3.5. Comparación de los Resultados.

3.4.2. Tratamientos RJ: Rastrojo Vegetal 45% + Estiércol vacuno 35%

El tratamiento RJ tiene 3 repeticiones (F2, F2, F9), a cada una se realiza las mediciones de los tres parámetros más importantes para la producción del abono tipo Bocashi. A continuación se indica como se realiza cada medición.

Para la determinación de pH se emplea un pH-metro previamente calibrado en el laboratorio, se toma una muestra significativa de abono para ello se procede a realizar el cuarteo de la pila y tomar tres mediciones de pH para calcular el promedio.

La medición de la temperatura se realiza utilizando un termómetro de 0 a 100 °C, tomando tres mediciones en tres puntos diferentes de la pila de abono.

La determinar la humedad diaria se realiza por el método gravímetro en la estufa a 105 °C durante una hora. Para la determinación de humedad final se realiza veinte días de finalizar el proceso de elaboración empleando la balanza de humedad.

3.4.2.1. pH

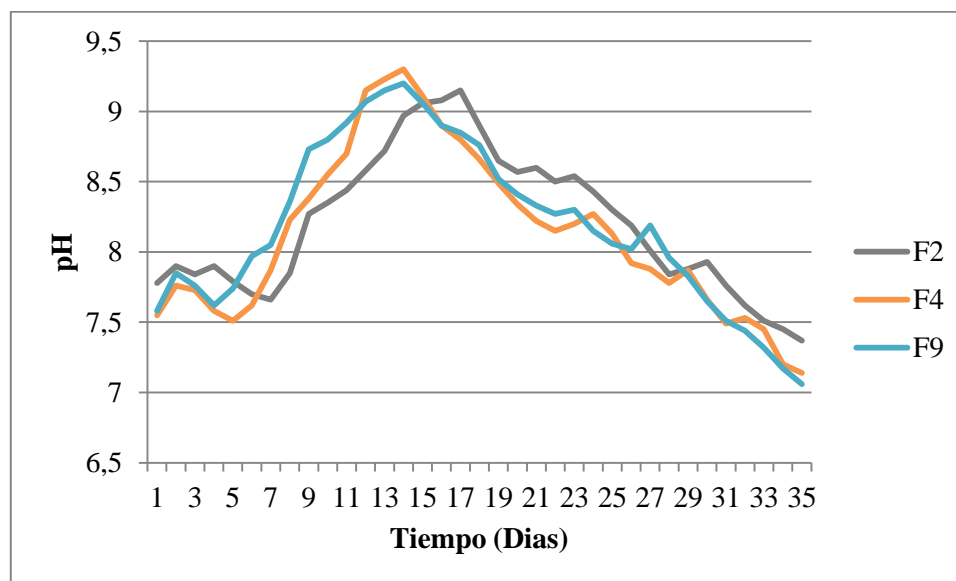
Los datos del pH en estas tres pilas muestran que al inicio del proceso de descomposición de la materia orgánica, se encontraban relativamente básico con valores de 7,78, 7,55 y 7,58 para las pilas F2, F4 y F9 respectivamente.

A lo largo del proceso el pH de las tres pilas sigue incrementándose hasta aproximadamente un valor de 9,3, a partir del día 13 se registra un descenso gradual para este tratamiento hasta alcanzar un pH relativamente neutro de 7,06, durante los últimos días de la producción del abono se aprecia que las variaciones entre las mediciones diarias de las tres pilas son mínimas, ya que a diferencia del tratamiento EV, durante los volteos se logró una mezcla homogénea entre todos los componentes del abono.

En el punto 2.11.2. Control del pH, se expone que el tratamiento RJ también se encuentra dentro de los parámetros aceptables para la elaboración de abono Bocashi,

oscilando entre 7,20 – 8.97. El registro diario de las mediciones de pH en el Anexo 1 proporciona los datos de las tres pilas para realizar la gráfica comparativa de pH vs. tiempo (Figura 3-10).

Figura 3-10
Datos de pH Tratamiento RJ



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.2. Temperatura

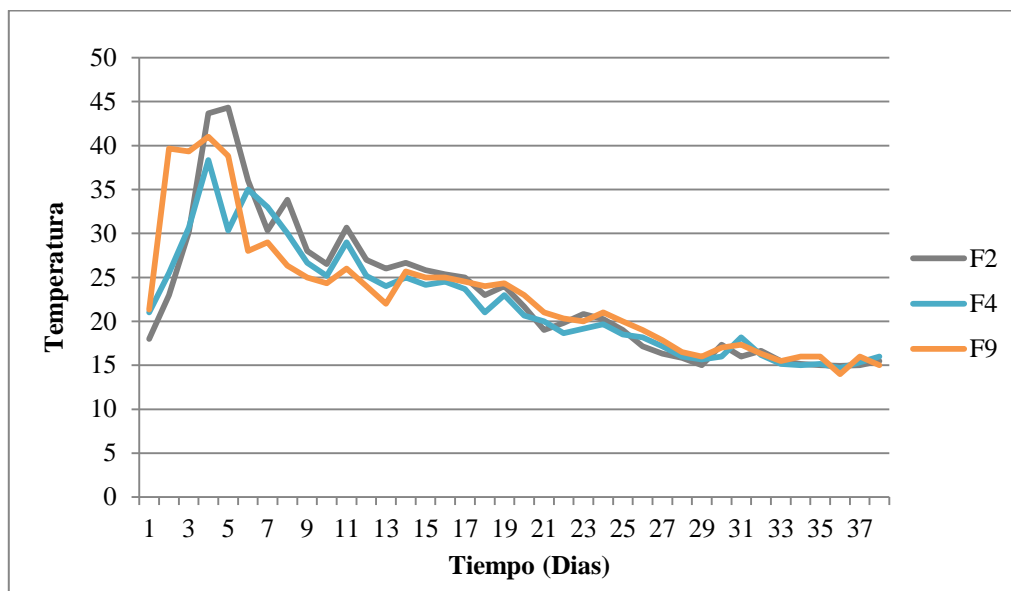
La temperatura de las tres pilas durante los primeros días del proceso experimental estuvo en un incremento brusco desde 20,11 °C hasta 41,11 °C en promedio, esto se produce por la actividad microbiana debido a la fermentación de la materia orgánica (Ver Anexo 1).

A partir del día 8 se observa un descenso en la temperatura hasta tener una diferencia de 4°C con la temperatura ambiente lo cual es un indicador de que se tiene un abono de buena calidad.

A pesar de registrar bajas temperaturas durante los días en los que se realizó la parte experimental del proyecto de acuerdo al análisis realizado en el punto 2.11.1. Control

de la Temperatura, el rango de temperaturas registrado en cada pila del tratamiento RJ se encuentra dentro del rango óptimo para la obtención del abono Bocashi.

Figura 3-11
Datos de Temperatura Tratamiento RJ



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.3. Humedad

En las tres pilas correspondientes al tratamiento RJ (F2, F4 y F9) la humedad se mantiene entre 41,62 y 56,74%, estos valores se encuentran dentro del rango óptimo de humedad para la elaboración del abono Bocashi. Los datos diarios de humedad se encuentran en el Anexo 1.

La determinación de humedad es diaria, los primeros siete días se realiza en la balanza de humedad, para lo cual se procede a realizar el cuarteo de cada pilas y se toma una muestra representativa, se pesa 5 gramos de cada muestra y la determinación de la humedad se realiza a 105°C.

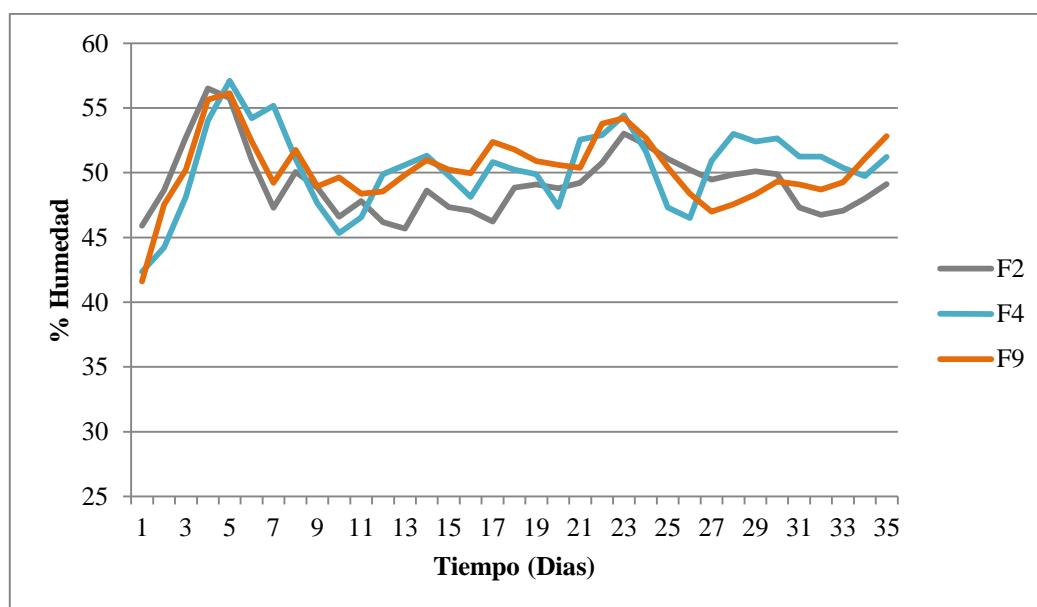
Para reducir el tiempo de la determinación de humedad a partir del día 8 se procede a emplear el método gravimétrico de secado en la estufa a 105°C, se pesa 5 gramos de cada muestra en una capsula de porcelana y se llevan las muestras a la estufa por una

hora, se pesa las capsulas con la muestra seca, se calcula el contenido de humedad a partir de la diferencia de pesos.

Con los datos registrados de humedad diaria en cada pila se realiza la representación gráfica del comportamiento del contenido de humedad a lo largo del proceso experimental, al igual que en el tratamiento EV durante los 4 primeros días se agrega agua de manera uniforme en todas las pilas para que la temperatura no alcance valores muy altos e inhiban la actividad microbiana, por lo que en la Figura 3-12 se observa un incremento en la humedad de las tres pilas, además de observar que las mediciones realizadas a las pilas de este tratamiento no varían demasiado entre sí.

Figura 3-12

Datos de Humedad Tratamiento RJ



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.4. Granulometría

El ensayo de granulometría se realiza el día 25 de esta manera se determina la distribución de tamaño de las partículas una vez concluido el proceso experimental,

el cuarteo de la pila de abono y se pesa 500 gramos de una muestra significativa de la pila y el tamizado dura 10 minutos a 200 rpm, en la Tabla III-11 presenta los datos obtenidos en los ensayos de cada pila del tratamiento RJ:

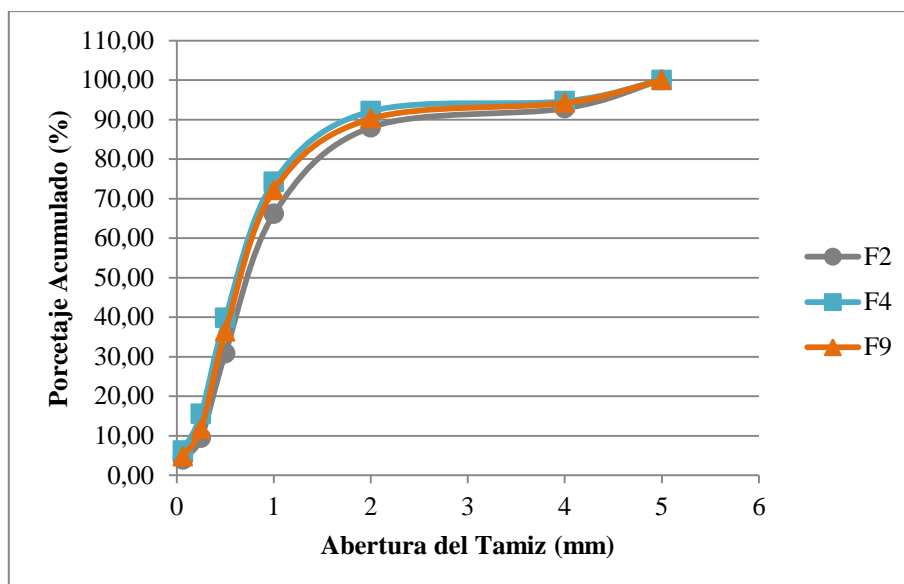
Tabla III-11
Resultados Determinación Granulometría Tratamiento RJ

Abertura Tamiz (mm)	F2		F4		F9	
	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)
0,063	19,66	3,93	31,01	6,20	23,97	4,79
0,25	27,46	9,43	46,68	15,54	34,58	11,71
0,5	107,17	30,86	121,38	39,82	123,19	36,35
1	176,22	66,11	171,94	74,21	178,98	72,15
2	109,61	88,03	89,44	92,10	90,40	90,23
4	24,05	92,84	12,70	94,64	19,98	94,22
5	35,81	100,00	26,81	100,00	28,89	100,00
Total	499,98		499,97		499,98	

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de la Tabla III-11 permiten concluir que el tamaño de partículas del abono tipo Bocashi de las pilas del tratamiento RJ se encuentra entre partículas menores a 2 milímetros y mayores a 1 milímetro, en la Figura 3-13 se grafica el porcentaje acumulado de abono vs. abertura del tamiz, con los datos de la tabla anterior:

Figura 3-13
Granulometría Tratamiento EV



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-12 se observa que el 80% las partículas de las pilas F2, F4 y F9 del tratamiento RJ son menores a 2 mm y mayores a mm, es decir que este tratamiento cuenta con un tamaño uniforme de partículas en sus tres pilas.

3.4.2.5. Humedad Final, Residuo Seco y Masa Final

El proceso de elaboración de abono Bocashi termina el día 25, se espera veinte días para determinar la humedad final del abono, el residuo seco y la pérdida de masa, de esta manera se puede definir como varia la humedad con respecto del tiempo, además de proporcionar datos que permitan definir el tipo de almacenamiento para el abono antes de ser aplicado en los suelos de cultivo.

Estas pruebas se realizan en la balanza de humedad a una temperatura de 105°C, tomando una muestra representativa de 5 gramos de cada pila.

3.4.2.5.1. Pila F2 RJ: Rastrojo Vegetal 45% y 35% Estiércol vacuno

El porcentaje de humedad final alcanzada se obtiene por la pérdida de masa de la muestra respecto al tiempo a una temperatura de 105 °C, de tal manera que el contenido de residuo seco expresa la cantidad real de abono se obtuvo en cada pila.

La pila F2 RJ tiene una humedad final de 31,77%, un residuo seco de 68,23% y una masa final de 2,89 g, datos que se encuentran a continuación en la Tabla III-12:

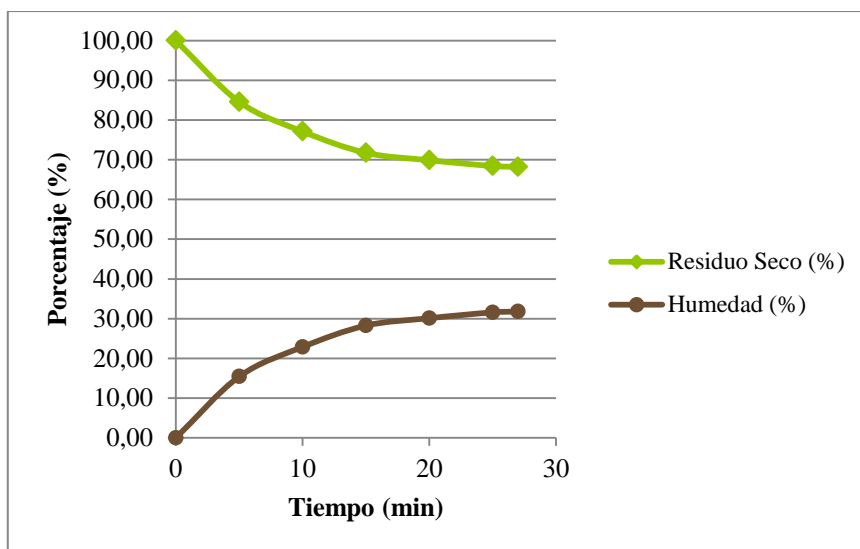
Tabla III-12
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F2

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
5	84,57	15,43	4,23
10	77,12	22,88	3,86
15	71,74	28,26	3,59
20	69,88	30,12	3,50
25	68,41	31,59	3,42
27	68,23	31,77	2,89

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-14 se presentan las gráficas tanto del porcentaje de humedad como del residuo seco vs. tiempo, realizadas con los datos obtenidos de la tabla anterior, la determinación tuvo una duración de 27 minutos en la que se aprecia una disminución del contenido de humedad y un incremento en el contenido final de residuo seco, esto se debe a que estos dos parámetros son inversamente proporcionales.

Figura 3-14
Residuo Seco y Humedad Pila F1



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.5.2. Pila F4 RJ: Rastrojo Vegetal 45% y Estiércol vacuno 35%

La muestra de la pila F4 RJ analizada en la balanza de humedad obtuvo los siguientes resultados: humedad final de 28,19%, residuo seco de 71,81% y masa final de 3,59 g, los datos de la variación de ambos respecto al tiempo se encuentran tabulados a continuación en la Tabla III-13:

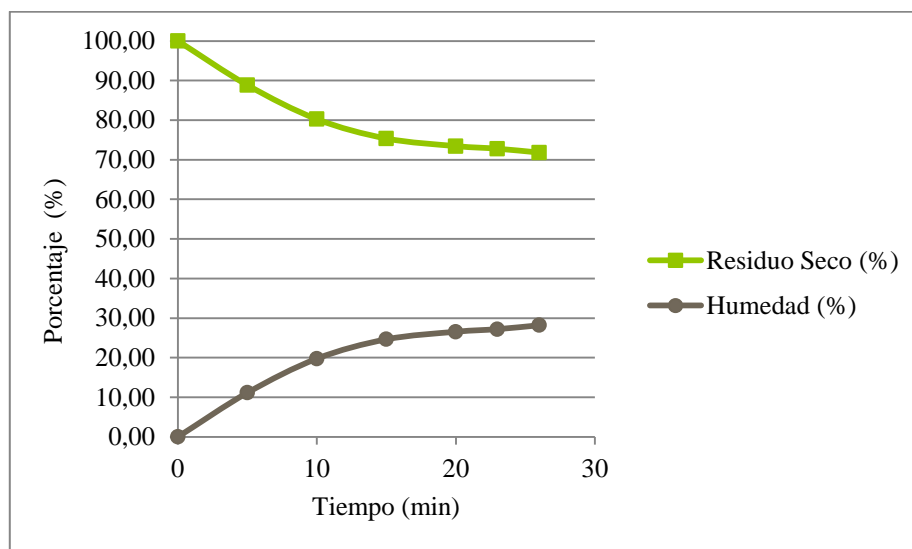
Tabla III-13
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F4

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
5	88,86	11,14	4,45
10	80,25	19,75	4,01
15	75,37	24,63	3,77
20	73,45	26,55	3,67
23	72,79	27,21	3,64
26	71,81	28,19	3,59

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-15 se realiza la representación gráfica del porcentaje de humedad y residuo seco vs. tiempo, con los datos de la Tabla III-13, determinación de humedad final en la pila F6 duro 26 minutos.

Figura 3-15
Residuo Seco y Humedad Pila F6



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.5.3. Pila F9 RJ: Rastrojo Vegetal 45% y Estiércol vacuno 35%

La determinación de humedad final y residuo seco en la pila F9 RJ realizada en la balanza de humedad, tuvo una duración de 22 minutos, en la Tabla III-14 se presenta los resultados obtenidos: humedad final de 28,74%, residuo seco de 71,26 % y masa final de 3,57 g, la representación gráfica de los datos registrados se realiza en la Figura 3-16, la cual presenta el comportamiento de la humedad y del residuo seco respecto al tiempo.

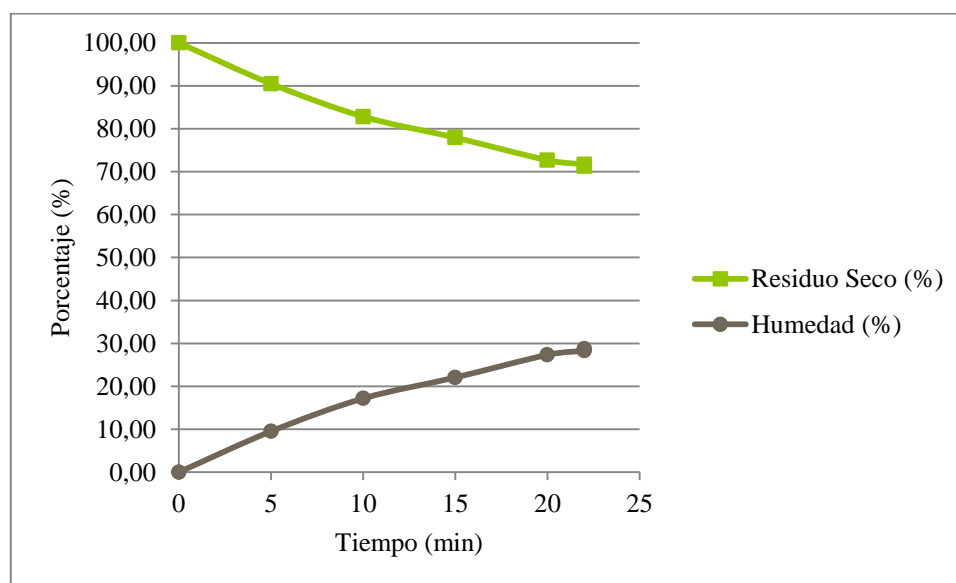
Tabla III-14
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F9

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
5	90,49	9,51	4,53
10	82,83	17,17	4,14
15	77,94	22,06	3,90
20	72,67	27,33	3,64
22	71,72	28,28	3,59
22	71,26	28,74	3,57

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-16 se presenta la gráfica de los datos de la Tabla III-14:

Figura 3-16
Residuo Seco y Humedad Pila F9



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.6. Resultados de los Análisis de Laboratorio del Tratamiento RJ

El día 25 se observa que el abono tiene un color marrón oscuro, los componentes han concluido el proceso de descomposición ya que se tiene un producto uniforme, sin malos olores, con una variación de temperatura, pH y humedad mínima, se procede a realizar el cuarteo de las formulaciones elegidas para ser analizadas por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), los resultados se presentan en la Tabla III-15:

Figura 3-17

Muestra de Abono Bocashi Pila F9



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III-15

Resultados de Análisis Físicoquímicos Pila F9

Parámetro	Contenido
pH	7.89
Calcio	16.00 meq/100g
Potasio	1.10 meq/100g
Relación C/N	10.50
Materia Orgánica	92.01 %
Fósforo	6.141 %
Nitrógeno Total	164.97 ppm

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario SEDAG, 2015.

Al no contar con una norma oficial boliviana que defina los parámetros de control de calidad de un abono orgánico, los resultados obtenidos en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), serán comparados con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.

3.5.1. Tratamientos SL: Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche

Las tres repeticiones correspondientes al tratamiento SL son las pilas F3, F5 y F7, a cada una se realiza las mediciones de los tres parámetros más importantes para la producción del abono tipo Bocashi. A continuación se indica como se realiza cada medición.

Para la determinación de pH se emplea un pH-metro de marca METTLER TOLEDO previamente calibrado en el laboratorio, se toma una muestra significativa de abono para ello se procede a realizar el cuarteo de la pila y tomar tres mediciones de pH para calcular el promedio.

La medición de la temperatura se realiza utilizando un termómetro de 0 a 100 °C, tomando tres mediciones en tres puntos diferentes de la pila de abono.

La determinar la humedad diaria se realiza por el método gravímetro en la estufa a 105 °C durante una hora. Para la determinación de humedad final se realiza veinte días de finalizar el proceso de elaboración empleando la balanza de humedad de marca Sartorius.

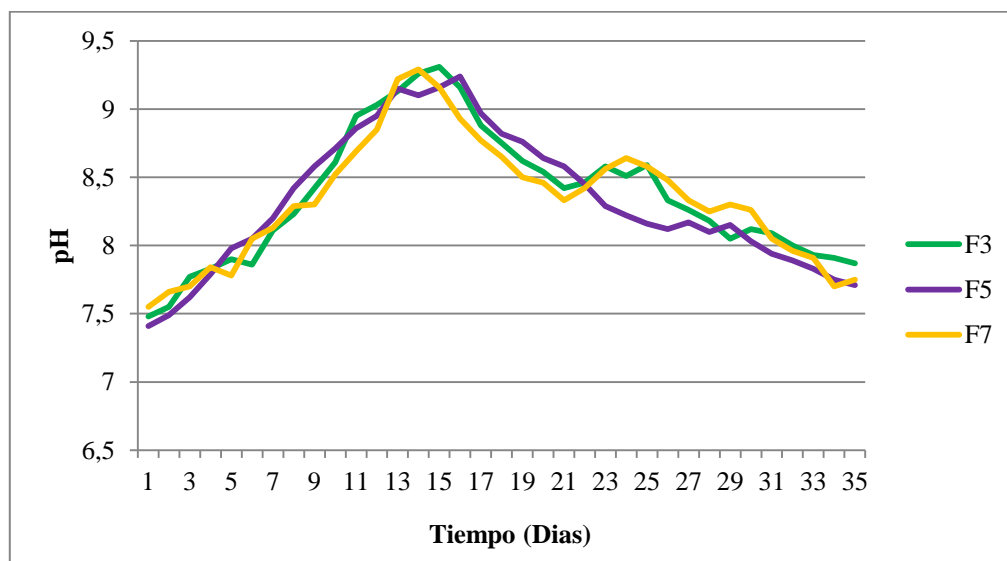
3.5.1.1. pH

Las mediciones diarias de pH registran que durante los primeros días del proceso de descomposición de la materia orgánica, se produce una elevación en los valores del pH desde un pH inicial promedio del tratamiento de 7,48 hasta 9,04. Como se observa en la representación gráfica de la variación del pH respecto del tiempo (Figura 3-18) el pH en las tres pilas es alcalino produciéndose un descenso gradual

desde el día 15, esta disminución es ocasionada por la disminución de la actividad microbiana. Durante los últimos días del proceso experimental se puede evidenciar que los valores entre las mediciones de las tres pilas son similares (Ver Anexo 1).

Como se menciona en el punto 2.11.2. Control del pH, el tratamiento SL sobrepasa ligeramente el rango aceptable de pH, esto puede ser ocasionado porque es el único tratamiento que contiene 5% de suero de leche encuentra dentro de los parámetros aceptables para la elaboración de abono Bocashi, oscilando entre 7,48 – 9,04.

Figura 3-18
Datos de pH Tratamiento SL



Fuente: Elaboración Propia.

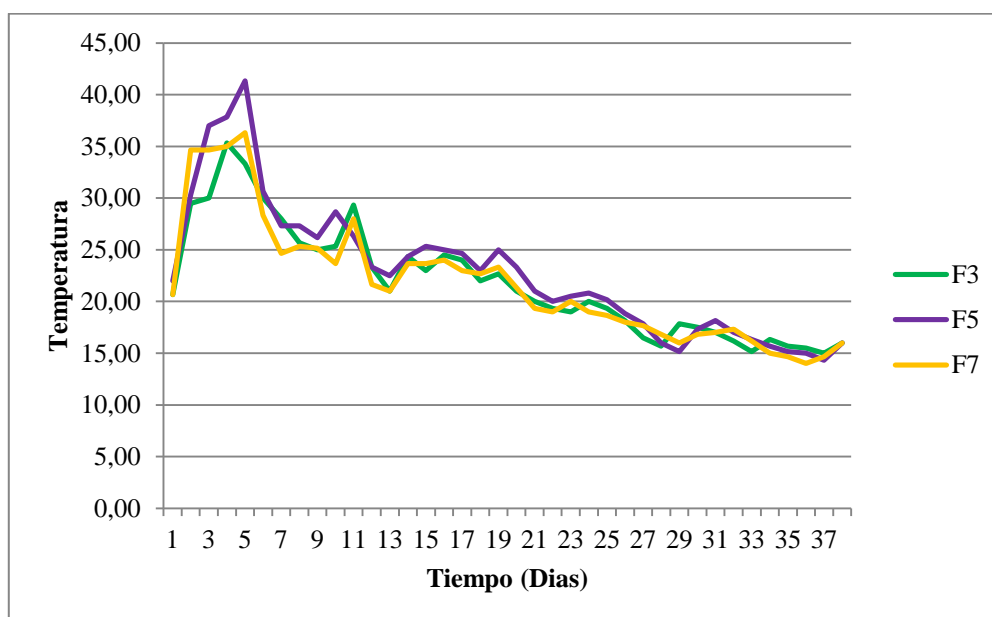
3.4.1.2. Temperatura

La temperatura de las tres pilas durante los cuatro primeros días del proceso experimental estuvo en un rango de 21,11°C y 37°C, esto se produce por un incremento en la actividad microbiana debido a la fermentación de la materia orgánica, por lo que la bibliografía recomienda realizar el control de la temperatura

cada doce horas y seguidamente los volteos correspondientes, de la misma manera que en los otros dos tratamientos.

A partir del día 9 se observa un descenso en la temperatura de las tres pilas hasta tener una diferencia de 4°C con la temperatura ambiente lo cual es un indicador de que se tiene un abono de buena calidad (Ver Anexo 1).. El rango de temperaturas registrado en cada pila se encuentra 2 °C por debajo del rango aceptable para la obtención del abono Bocashi un factor es que tanto el tratamiento SL como el RJ cuentan con menor cantidad de materia orgánica en su formulación a diferencia del tratamiento RJ el cual si se encuentra dentro del rango aceptable de temperatura.

Figura 3-19
Datos de Temperatura Tratamiento SL



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.3. Humedad

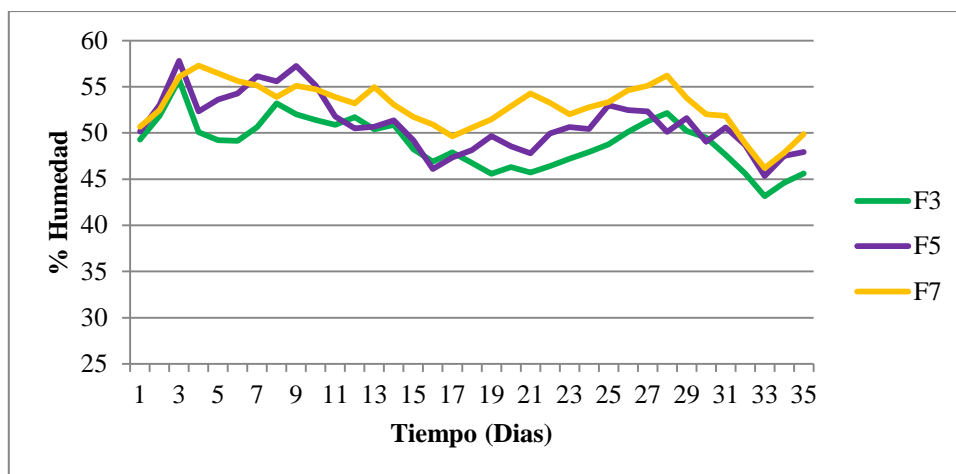
La humedad en las pilas F3, F5, F7 correspondientes al tratamiento SL se mantiene entre 43,15 y 57,82%, estos valores se encuentran dentro del rango óptimo de humedad para la elaboración del abono Bocashi que esta entre 45-60%. El registro de datos de humedad se encuentra en el Anexo 1.

La determinación de humedad es diaria, los primeros siete días se realiza en la balanza de humedad, para lo cual se procede a realizar el cuarteo de cada pilas y se toma una muestra representativa, se pesa 5 gramos de cada muestra y la determinación de la humedad se realiza a 105°C.

Para reducir el tiempo de la determinación de humedad a partir del día 8 se procede a emplear el método gravimétrico de secado en la estufa a 105°C, se pesa 5 gramos de cada muestra en una capsula de porcelana y se llevan las muestras a la estufa por una hora, se pesa las capsulas con la muestra seca, se calcula el contenido de humedad a partir de la diferencia de pesos.

En la Figura 3-20 se presentan los datos registrados la humedad diaria de cada pila perteneciente al tratamiento SL, al tener en su composición 5 % de suero de leche el porcentaje de humedad será mayor respecto a los otros tratamientos. Durante el proceso experimental se observa también oscilaciones del contenido de humedad pero dichos valores se encuentran dentro del rango aceptable como se explica en el punto 2.11.3. Control de la Humedad.

Figura 3-20
Datos de Humedad Diaria Tratamiento SL



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.4. Granulometría

La granulometría es el método usado para determinar la distribución de tamaño de las partículas del abono Bocashi. Para realizar este ensayo se realiza el cuarteo de la pila de abono y se pesa 500 gramos de una muestra significativa de la pila y el tamizado dura 10 minutos a 200 rpm, en la Tabla III-16 presenta los datos obtenidos en los ensayos de cada pila del tratamiento SL:

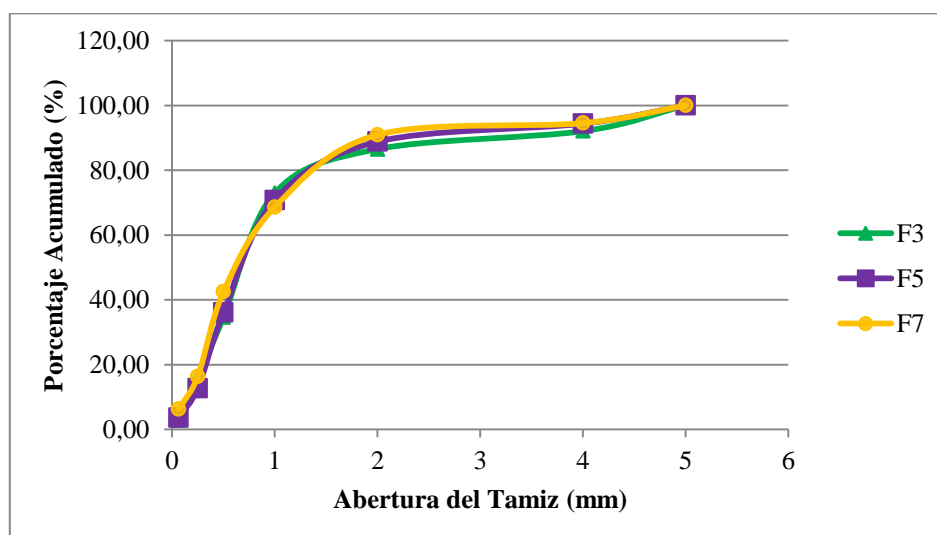
Tabla III-16
Resultados Determinación Granulometría Tratamiento SL

Abertura Tamiz (mm)	F3		F5		F7	
	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)	Masa Rechazada (g)	Porcentaje Acumulado (%)
0,063	14,21	2,84	18,19	3,64	31,22	6,24
0,25	66,04	16,05	45,30	12,70	50,66	16,38
0,5	92,76	34,61	117,05	36,11	130,73	42,53
1	191,89	73,00	173,48	70,81	130,68	68,67
2	67,77	86,55	90,14	88,84	111,35	90,95
4	27,70	92,09	27,77	94,39	18,09	94,56
5	39,52	100,00	28,03	100,00	27,18	100,00
Total	499,90		499,95		499,91	

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de la Tabla III-16, permiten concluir que el tamaño de partículas del abono tipo Bocashi de las pilas F3, F5 y F7 se encuentra entre partículas mayores 1 milímetro y menores a 2 milímetros, como se puede apreciar en la Figura 3-21 a continuación:

Figura 3-21
Granulometría Tratamiento SL



Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó un análisis sensorial de las tres pilas de abono en el que a simple vista se aprecia que el tamaño de las partículas de los abonos son similares lo que se comprobó al realizar las pruebas de granulometría donde se concluye que el 80% las partículas de las pilas F3, F5 y F7 del tratamiento SL son menores a 2 mm.

3.4.1.5. Humedad Final, Residuo Seco y Masa Final

El proceso de elaboración de abono Bocashi termina el día 25, se espera veinte días para determinar la humedad final del abono, el residuo seco y la pérdida de masa, de esta manera se puede definir como varía la humedad con respecto del tiempo, además de proporcionar datos que permitan definir el tipo de almacenamiento para el abono antes de ser aplicado en los suelos de cultivo.

Estas pruebas se realizan en la balanza de humedad a una temperatura de 105°C, tomando una muestra representativa de 5 gramos de cada pila.

3.4.1.5.1. Pila F3 SL: Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche

El porcentaje de humedad final alcanzada se obtiene por la pérdida de masa de la muestra respecto al tiempo a una temperatura de 105 °C, de tal manera que el contenido de residuo seco expresa la cantidad real de abono se obtuvo en cada pila.

La pila F3 SL tiene una humedad final de 45,7%, un residuo seco de 54,3% y una masa final de 2,72 g, datos que se encuentran a continuación en la Tabla III-17:

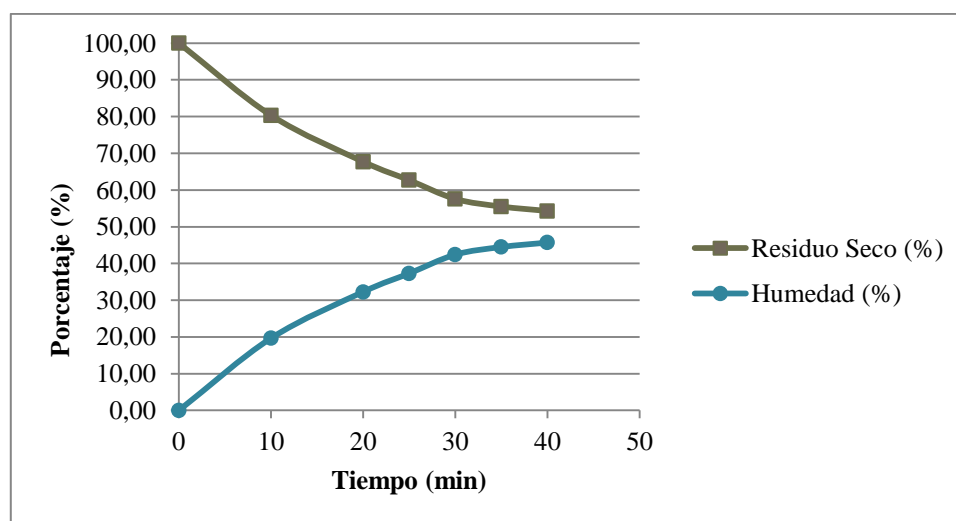
Tabla III-17
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F3

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
10	80,34	19,66	4,02
20	67,73	32,27	3,39
25	62,69	37,31	3,13
30	57,58	42,42	2,88
35	55,51	44,49	2,78
40	54,3	45,7	2,72

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-22 se presentan las gráficas tanto del porcentaje de humedad como del residuo seco vs. tiempo, realizadas con los datos obtenidos de la tabla anterior, la determinación tuvo una duración de 40 minutos en la que se aprecia una disminución del contenido de humedad y un incremento en el contenido final de residuo seco, esto se debe a que estos dos parámetros son inversamente proporcionales.

Figura 3-22
Residuo Seco y Humedad Pila F3



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.5.2. Pila F5 SL: Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche

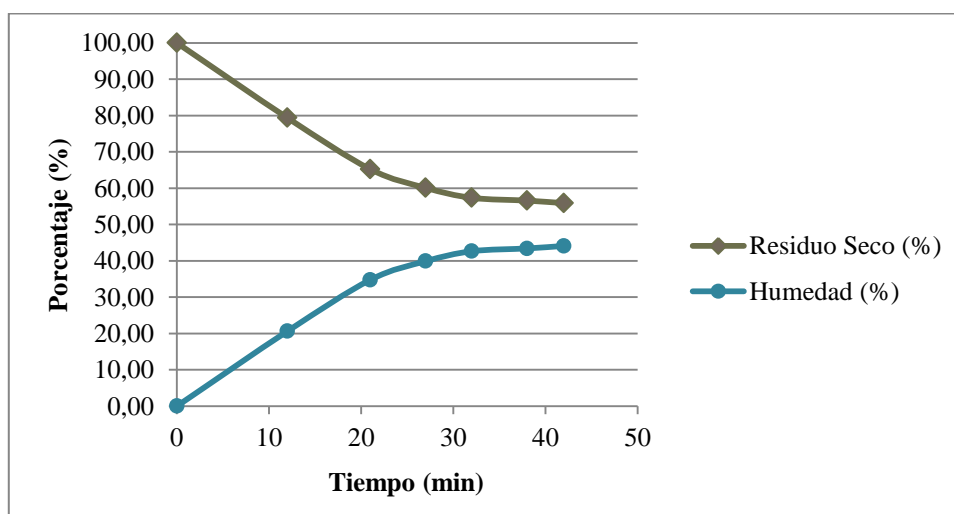
La muestra de la pila F5 SL analizada en la balanza de humedad obtuvo los siguientes resultados: humedad final de 44,11%, residuo seco de 55,89% y masa final de 2,79 g, datos que se encuentran a continuación en la Tabla III-18:

Tabla III-18
Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F5

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
12	79,36	20,64	3,97
21	65,22	34,78	3,26
27	60,1	39,9	3,01
32	57,35	42,65	2,87
38	56,58	43,42	2,83
42	55,89	44,11	2,79

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3-23
Residuo Seco y Humedad Pila F5



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 3-23 se realiza la representación gráfica del porcentaje de humedad y residuo seco vs. tiempo, con los datos de la Tabla III-8, determinación de humedad final en la pila F5 duro 42 minutos, realizando una comparación entre los datos de la pila F1 expuestos en la Tabla III-7, se define que no existe una variación significativa entre las dos pilas.

3.4.1.5.3. Pila F7 SL: Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche

La determinación de humedad final y residuo seco en la pila F8 F7 SL realizada en la balanza de humedad, tuvo una duración de 42 minutos, en la Tabla III-19 se presentan los resultados obtenidos: humedad final de 48,16%, residuo seco de 51,84% y masa final de 2,59 g, la representación gráfica de los datos registrados se realiza en la Figura 3-24, la cual presenta el comportamiento de la humedad y del residuo seco respecto al tiempo.

Al tener los datos de las tres pilas correspondientes al tratamiento EV, se concluye que la variación entre ellas es mínima ya que es menor al 5 %, en ambos parámetros.

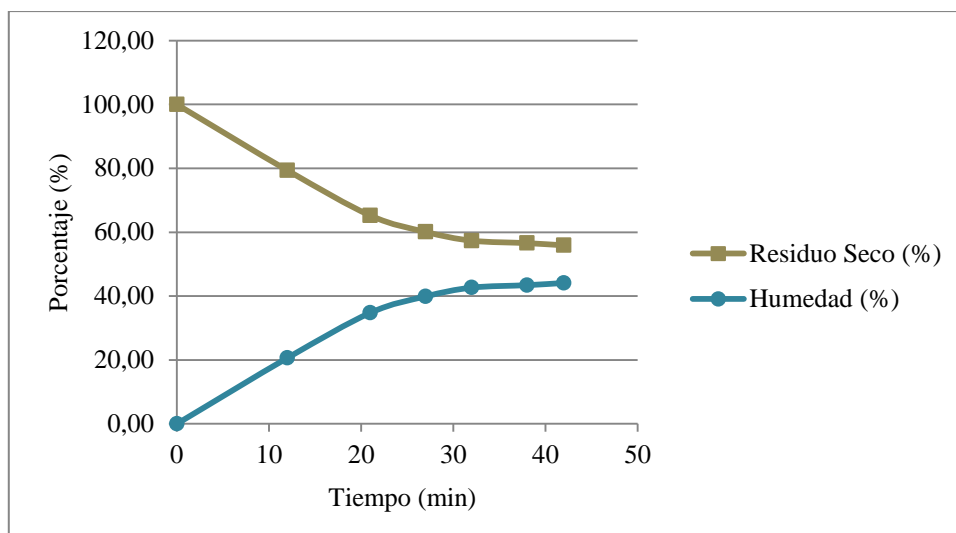
Tabla III-19

Residuo Seco, Humedad y Pérdida de Masa Pila F7

Tiempo (minutos)	Residuo Seco (%)	Humedad (%)	Pérdida de Masa (gramos)
0	100,00	0,00	5,00
12	79,95	20,05	4,00
21	68,04	31,96	3,40
27	59,23	40,77	2,96
32	54,78	45,22	2,74
38	52,07	47,93	2,60
42	51,84	48,16	2,59

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3-24
Residuo Seco y Humedad Pila F7



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.6. Resultados de los Análisis de Laboratorio del Tratamiento SL

El día 25 se observa que el abono tiene un color marrón oscuro, los componentes han concluido el proceso de descomposición ya que se tiene un producto uniforme, sin malos olores, con una variación de temperatura, pH y humedad mínima, se procede a realizar el cuarteo de las formulaciones elegidas para ser analizadas por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), los resultados se presentan en la Tabla III-20:

Figura 3-25
Muestra de Abono Bocashi Pila F7



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III-20
Resultados de Análisis Fisicoquímicos Pila F7

Parámetro	Contenido
pH	8.17
Calcio	17.25 meq/100 g
Potasio	1.24 meq/100 g
Relación C/N	10.00
Materia Orgánica	71.08 %
Fósforo	4.895 %
Nitrógeno Total	189.45 ppm

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio
 Departamental Agropecuario SEDAG, 2015.

Al no contar con una norma oficial boliviana que defina los parámetros de control de calidad de un abono orgánico, los resultados obtenidos en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), serán comparados con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.

3.5. Comparación de los Resultados

3.5.1. Características Organolépticas

En la siguiente tabla se compara los resultados obtenidos para los tres tratamientos de abono Bocashi con los datos de bibliografía sobre color y olor que se encuentran definidos en la Tabla I-2.

Tabla III-21

Características Organolépticas de los Tratamientos de Abono Bocashi

Característica	Abono del Tratamiento EV	Abono del Tratamiento RJ	Abono del Tratamiento SL	Paul, E. y Clark, F. (1996).
Color	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Negro a marrón oscuro
Olor	A tierra húmeda	A tierra húmeda	A tierra húmeda	Tierra

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla se observa que los resultados de color y olor de los tres tratamientos de abono Bocashi son iguales entre sí como también a lo determinado en la bibliografía por Paul, E. y Clark, F. (1996). Esto demuestra que los tres tratamientos se encuentran dentro de los parámetros esperados.

3.5.2. Características Fisicoquímicas

Los resultados de los análisis realizados a los tratamientos de abono Bocashi en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), se presentan en la siguiente tabla.

Tabla-22
Resultados de los Tratamientos del Abono Bocashi

Parámetro	Tratamiento EV Pila F6	Tratamiento RJ Pila F9	Tratamiento SL Pila F7
pH	7.97	7.89	8.17
Calcio	13.00 meq/100 g	16.00 meq/100g	17.25 meq/100 g
Potasio	1.13 meq/100 g	1.10 meq/100g	1.24 meq/100 g
Fósforo	5.125 %	6.141 %	4.895 %
Nitrógeno Total	203.49 ppm	164.97 ppm	189.45 ppm
Relación C/N	10.50	10.50	10.00
Materia Orgánica	76.03 %	92.01 %	71.08 %

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), 2015.

Realizando el análisis de los resultados, se determina que el tratamiento con mejores características fisicoquímicas es el RJ: Rastrojo Vegetal 45% + Estiércol vacuno 35%, lo que nos permite concluir que al ser la formulación con mayor contenido de rastrojo vegetal no solo tiene el potencial de alcanzar altos rendimientos de masa en el producto sino también es la formulación que aporta mayor contenido de macronutrientes y de materia orgánica.

En la Tabla III-23, los resultados de los análisis realizados en cada tratamiento son comparados con los valores de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de Lombriz (Lombricomposta) - Especificaciones y Métodos de Prueba (ver Anexo 7):

Tabla III-23
Comparación de los Resultados Obtenidos y Valor Normalizado

Parámetro	Valor Normalizado	Tratamiento EV Pila F6	Tratamiento RJ Pila F9	Tratamiento SL Pila F7
pH	5,5 – 8,5	7.97	7.89	8.17
Potasio	0.86 %	0.44	0.43	0.48
Relación C/N	≤ 20	10.50	10.50	10.00
Materia Orgánica	20 – 50 %	76.03 %	92.01 %	71.08 %
Fósforo	5,7 %	5.13 %	6.14 %	4.90 %
Nitrógeno Total	1 – 4 %	2,8 %	2,3 %	3,7 %

Fuente: Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 y SEDAG, 2015.

Como se observa en la Tabla–22, los parámetros analizados en tres tratamientos se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana, a excepción de Fósforo para el Tratamiento RJ, debido a que el abono tipo Bocashi tiene mayor contenido de macronutrientes que el Humus de Lombriz, lo mismo ocurre con la Materia Orgánica los valores son superiores a los especificados en la norma porque durante el proceso experimental las pilas superaron los 40 °C, lo que permitió la descomposición de la materia orgánica de los componentes del abono.

Un alto contenido de materia orgánica es una de las características del abono Bocashi ya que esta ayuda a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo donde será utilizado.

3.6. Cinética de Fermentación a partir de la Producción de Ácido Láctico

Como se planteó en el punto 2.12. Determinación de la Cinética de Fermentación a partir de la Producción de Ácido Láctico, el proceso de fermentación del abono Bocashi está mejor descrito por el modelo de generación de ácido láctico, debido a que su producción está asociada al crecimiento microbiano.

Se realiza la determinación del contenido de ácido láctico titulando un volumen de 10 ml del lixiviado con NaOH de concentración 0,1 N y un factor de 0,95999 cada recipiente de plástico cuenta con una perforación por donde se extrae un volumen de lixiviado.

Con los datos obtenidos en las Tablas II-17, II-18 y II-19, se realiza la representación gráfica de producción de ácido láctico (°D) vs. tiempo (Figura 3-26), según los datos experimentales obtenidos, se puede concluir que la producción de este ácido provoca una disminución en pH del abono y la actividad microbiana.

Se realiza el ajuste de las curvas de los datos experimentales correspondientes a cada tratamiento empleando un método diferencial para las pendientes en este caso el método aplicado es el método de los tres puntos.

- Método de los Tres Puntos

Para los cálculos correspondientes al método de los tres puntos aplican las siguientes ecuaciones:

$$Y'_0 = \frac{-3 Y_0 + 4Y_1 - Y_2}{2h}$$

$$Y'_1 = \frac{-Y_0 + Y_2}{2h}$$

$$Y'_2 = \frac{Y_0 - 4Y_1 + 3Y_2}{2h}$$

Para aplicar estas ecuaciones los datos experimentales de la producción de ácido láctico deben formar grupos de tres, de manera que el primero corresponde a Y_0' , el segundo Y_1' y el tercero a Y_2' , el mismo procedimiento se realiza a cada grupo de datos.

Una vez que se obtiene resultados del método de los tres puntos se calcula la Cinética de Fermentación a partir de la Producción de Ácido Láctico que nos indica la velocidad de descomposición de la materia orgánica, aplicando las siguientes ecuaciones:

La velocidad de fermentación llamada γ_D se encuentra en función de la concentración de ácido láctico expresado en °Dornic: $\gamma_D = f(^{\circ}D)$

La concentración de ácido láctico varía con el tiempo por lo tanto la ecuación de velocidad correspondiente a este sistema está dada por:

$$\frac{dD}{dt} = \gamma_D \quad \text{Ec. 1}$$

Se aplican las propiedades de los logaritmos naturales para realizar la linealización de la Ecuación 1, se tiene:

$$\ln(\gamma_D) = \ln k + n \ln C_D \quad \text{Ec. 2}$$

La Ecuación 2, aplica la siguiente función lineal:

$$y = A + BX \quad \text{Ec. 3}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$\ln k = A \quad \text{Ec. 4} \quad \text{y} \quad B = n \quad \text{Ec. 5}$$

Despejando la constante k de la ecuación 4 se tiene:

$$k = e^A$$

Combinando las ecuaciones 4 y 5, se determina que la velocidad de fermentación está dada por:

$$\gamma_D = k C_D^n = \frac{dD}{dt} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

C_D = concentración de ácido láctico expresado en °Dornic.

k = constante de la velocidad de fermentación calculada a partir del valor de A.

n = valor de B, se obtiene al realizar la linealización de la Ecuación 2.

Tabla III-24

Resultados del Ajuste de los Datos Experimentales de la Producción de Ácido Láctico en el Tratamiento EV

Datos Experimentales		Datos Ajustados									
Tiempo (Días)	°Dornic	°Dornic	Y' ₁	Y' ₂	Y' ₃	Y' ₄	Y' ₅	Y' ₆	dD/dt	ln γ	ln °D
1	0,39	0,27	0,26	----					0,26	-1,345	-1,309
2	0,53	0,52	0,25	0,245	----				0,248	-1,394	-0,654
3	0,66	0,75	0,22	0,215	0,21	----			0,215	-1,537	-0,288
4	0,95	0,95		0,185	0,19	0,18	----		0,185	-1,687	-0,051
5	1,13	1,13			0,17	0,18	0,195	----	0,182	-1,704	0,122
6	1,28	1,31				0,18	0,65	0,17	0,172	-1,76	0,27
7	1,47	1,46					0,135	0,13	0,133	-2,017	0,378
8	1,59	1,57						0,09	0,09	-2,408	0,451

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III-24

Resultados del Ajuste de los Datos Experimentales de la Producción de Ácido Láctico en el Tratamiento RJ

Datos Experimentales		Datos Ajustados									
Tiempo (Días)	°Dornic	°Dornic	Y' ₁	Y' ₂	Y' ₃	Y' ₄	Y' ₅	Y' ₆	dD/dt	ln γ	ln °D
1	0,52	0,46	0,285	----					0,285	-1,255	-0,777
2	0,62	0,73	0,255	0,25	----				0,253	-1,374	-0,315
3	0,95	0,97	0,225	0,23	0,23	----			0,228	-1,478	-0,03
4	1,1	1,19		0,21	0,21	0,21	----		0,21	-1,561	0,174
5	1,29	1,39			0,19	0,17	0,19	----	0,19	-1,661	0,329
6	1,91	1,57				0,15	0,17	0,18	0,173	-1,754	0,451
7	1,96	1,73					0,15	0,14	0,145	-1,931	0,548
8	2,02	1,85						0,1	0,1	-2,303	0,615

Fuente: Elaboración Propia

Tabla III-25

Resultados del Ajuste de los Datos Experimentales de la Producción de Ácido Láctico en el Tratamiento SL

Datos Experimentales		Datos Ajustados									
Tiempo (Días)	°Dornic	°Dornic	Y' ₁	Y' ₂	Y' ₃	Y' ₄	Y' ₅	Y' ₆	dD/dt	ln γ	ln °D
1	0,23	0,02	0,255	----					0,255	-0,136	-3,912
2	0,32	0,26	0,225	0,215	----				0,22	-1,514	-1,347
3	0,39	0,47	0,225	0,205	0,215	----			0,21	-1,561	-0,755
4	0,57	0,67		0,195	0,185	0,175	----		0,19	-1,661	-0,4
5	0,75	0,84			0,155	0,165	0,175	----	0,17	1,772	-0,174
6	0,87	1,00				0,155	0,145	0,13	0,173	-1,897	0
7	1,16	1,13					0,115	0,13	0,15	-2,12	0,122
8	1,26	1,26						0,13	0,12	-2,04	0,231

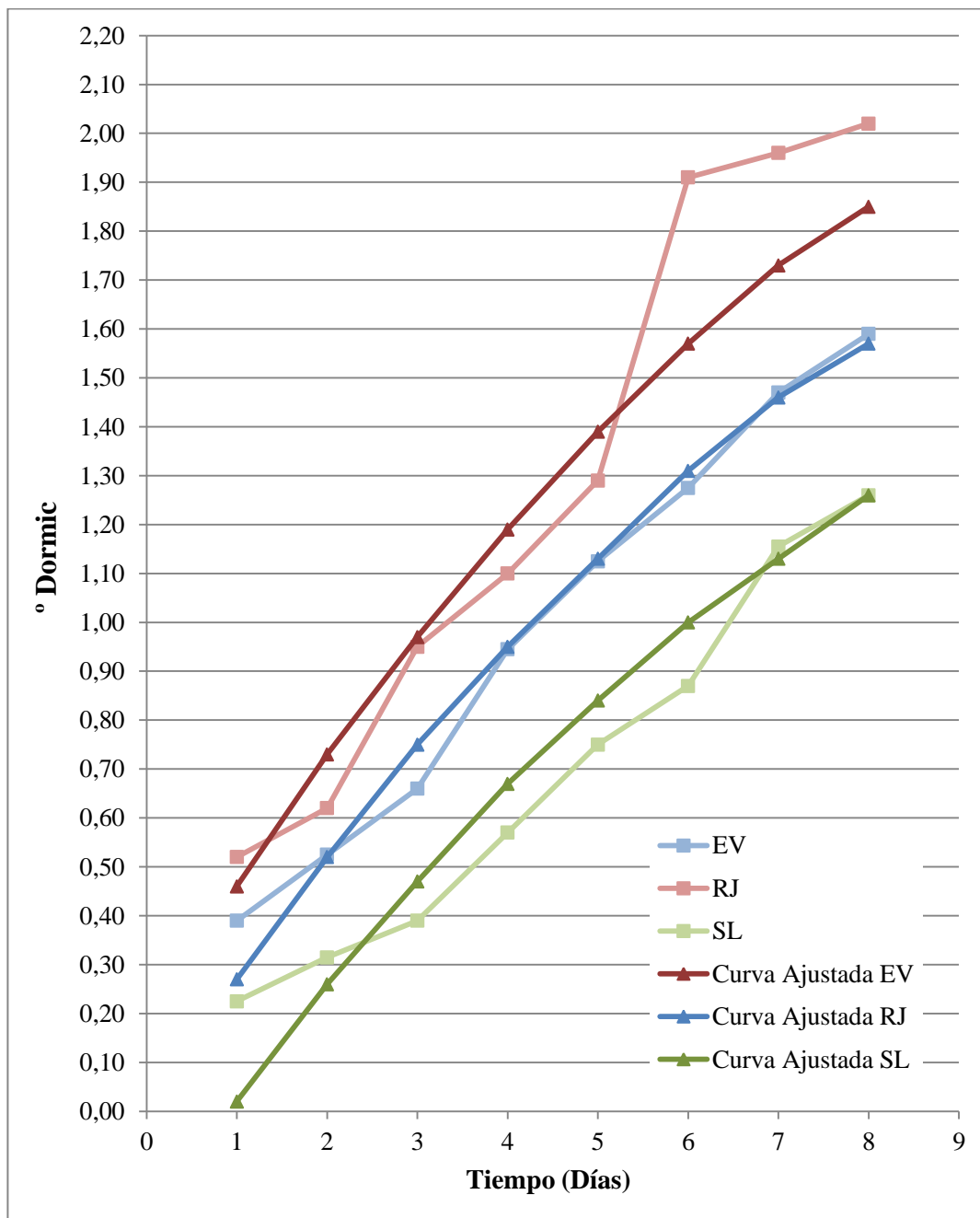
Fuente: Elaboración Propia.

Con los datos obtenidos en el 2.12. Determinación de la Cinética de Fermentación a partir de la Producción de Ácido Láctico y los datos ajustados en las Tablas II-24, II-25 y II-26, se realiza la representación gráfica de producción de ácido láctico (°D) vs. tiempo (Figura 3-26), según los datos experimentales obtenidos, se puede concluir que la producción de este ácido provoca una disminución en pH del abono y la actividad microbiana.

La velocidad de producción este ácido depende de la cantidad de nutrientes presentes en el abono es por eso que el tratamiento RJ es el que mayor cantidad de este ácido género ya que de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla III-2, la formulación posee el mayor rendimiento másico y el más alto contenido de macronutrientes.

En la Figura 3-26 también se observa que partir del día seis los tres tratamientos producen valores cercanos de ácido láctico lo que indica el inicio de una fase estacionaria en su generación por lo que el análisis tuvo una duración de ocho días.

Figura 3-26
Curvas de Producción de Ácido Láctico vs. Tiempo



Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los datos de la figura 3-26 y las tablas anteriores se realizan los cálculos para el ajuste de los datos experimentales de producción de ácido láctico, los resultados de la linealización de dichos valores de A y B se presenta a continuación:

Tabla III-27

Resultados de la Linealización de los Datos de Producción de Ácido Láctico

Tratamiento	A	$k = e^A$	B = n
EV	-0.661	0,516	1,315
RJ	-0,540	0,583	0,806
SL	-0,836	0,433	0,987

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de la Tabla III-27 permiten calcular la cinética de fermentación a partir de la producción de ácido láctico la que se encuentra definida por: $\gamma_D = k C_D^n$

Tabla III-28

Cinética de Fermentación a partir de la Producción de Ácido Láctico

Tratamiento	Cinética de fermentación [γ_D]
EV	$\gamma_D = 0,516 C_D^{1,315}$
RJ	$\gamma_D = 0,583 C_D^{0,806}$
SL	$\gamma_D = 0,433 C_D^{0,987}$

Fuente: Elaboración Propia.

Realizando el análisis correspondiente a la Tabla III-28 se demuestra que el tratamiento RJ el que obtuvo mejor rendimiento másico y mayor contenido de nutrientes, por lo tanto la descomposición de la materia orgánica ocurre en menor tiempo que en los tratamientos EV y SL. Además que se puede concluir que el uso de suero de leche no tuvo ningún efecto en la cinética de fermentación sino que fue el tratamiento que menor producción de ácido láctico tuvo, uno de los factores puede ser

el origen y preparación del suero de leche, la presencia de este también provocó que el pH tratamiento SL sea más elevado que los de RJ y EV lo que también puede ocasionar una inhibición en la actividad microbiana y por lo tanto en la producción de ácido láctico.

3.7. Balance de Materia

El balance de materia de los tratamientos se realiza empleando los datos de la Tabla II-6 y Tabla III-1, obtenidos en la parte experimental de proyecto de investigación.

Para realizar los balances se toma como modelo de cálculo la pila sometida a los análisis realizados en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG).

3.7.1. Pila 6: Tratamientos EV (Estiércol vacuno 45% y Rastrojo Vegetal 35%)

Datos

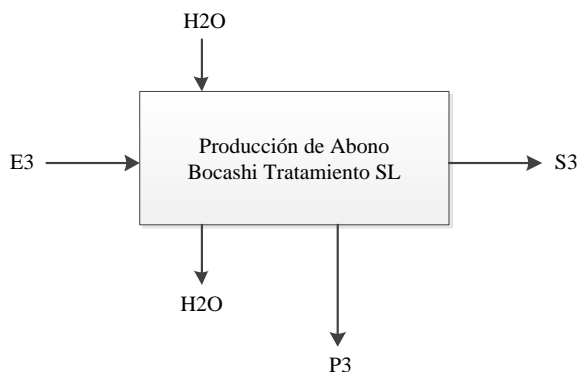
$V_1 = 1,8$ kg de estiércol vacuno

$R_1 = 1,4$ kg de rastrojo vegetal

$M_1 = 0,8$ kg de otros componentes

$$E_1 = V_1 + R_1 + M_1 = 1,8 + 1,4 + 0,8$$

$$E_1 = 4 \text{ kg}$$



Humedad Inicial = 47,15 %

Humedad Final = 36,85 %

Rendimiento = 43,75 %

Perdida en la producción de abono = 56,25 %

$$P_1 = E_1 \times Z = 4 \times 0,5625$$

$$\boxed{P_1 = 2,25 \text{ kg}}$$

Balance de Materia en la Producción de Abono:

$$E_1 = S_1 + P_1$$

$$S_1 = E_1 - P_1 = 4 - 2,25$$

$$\boxed{S_1 = 1,75 \text{ kg}}$$

Producción de Abono en Base Seca:

$$f_1 = \frac{100 - \% H_f}{100} = \frac{100 - 36,85}{100} = 0,6315$$

$$S_{1(B.S.)} = S_1 \times f_1 = 1,75 \times 0,6315$$

$$\boxed{S_{1(B.S.)} = 1,105 \text{ kg}}$$

Donde:

V_1 = Entrada de Estiércol Vacuno

R_1 = Entrada de Rastrojo Vegetal

M_1 = Entrada de Otros Componentes (Carbón, Ceniza, Afrecho y Melaza)

P_1 = Perdida en la producción de abono

E_1 = Entrada de los Residuos Orgánicos

S_1 = Salida del Producto Abono Bocashi (Tratamiento EV)

3.7.2. Pila F9 RJ: Rastrojo Vegetal 45% y Estiércol vacuno 35%

Datos

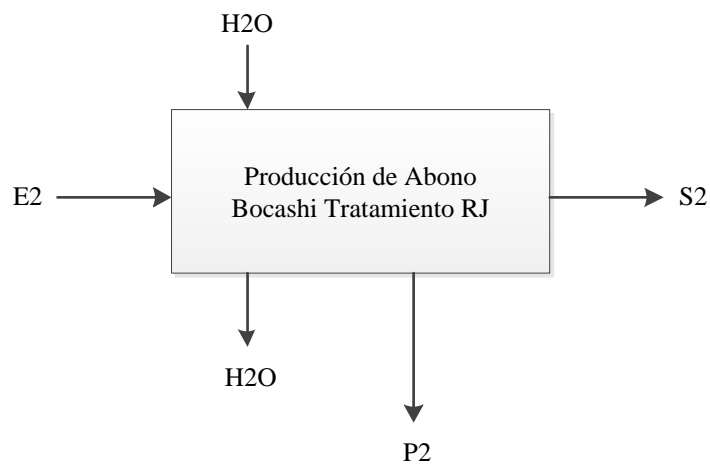
$V_2 = 1,4$ kg de estiércol vacuno

$R_2 = 1,8$ kg de rastrojo vegetal

$M_2 = 0,8$ kg de otros componentes

$$E_2 = 1,4 + 1,8 + 0,8$$

$$E_1 = 4 \text{ kg}$$



Humedad Inicial = 41,62 %

Humedad Final = 28,74 %

Rendimiento = 58,75 %

Perdida en la producción de abono = 41,25 %

$$P_2 = 4 \times 0,4125$$

$$P_1 = 1,65 \text{ kg}$$

Balance de Materia en la Producción de Abono:

$$E_2 = S_2 + P_2$$

$$S_2 = E_2 - P_2 = 4 - 1,65$$

$$\boxed{S_2 = 2,35 \text{ kg}}$$

Producción de Abono en Base Seca:

$$f_2 = \frac{100 - \% H_f}{100} = \frac{100 - 28,74}{100} = 0,7126$$

$$S_{2 \text{ (B.S.)}} = S_2 \times f_2 = 2,35 \times 0,7126$$

$$\boxed{S_{2 \text{ (B.S.)}} = 1,675 \text{ kg}}$$

Donde:

V_2 = Entrada de Estiércol Vacuno

R_2 = Entrada de Rastrojo Vegetal

M_2 = Entrada de Otros Componentes (Carbón, Ceniza, Afrecho y Melaza)

P_2 = Perdida en la producción de abono

E_2 = Entrada de los Residuos Orgánicos

S_2 = Salida del Producto Abono Bocashi (Tratamiento RJ)

3.7.3. Pila F7 SL: Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche

Datos

$V_3 = 1,6$ kg de estiércol vacuno

$R_3 = 1,6$ kg de rastrojo vegetal

$M_3 = 0,6$ kg de otros componentes

$L_3 = 0,2$ kg de suero de leche

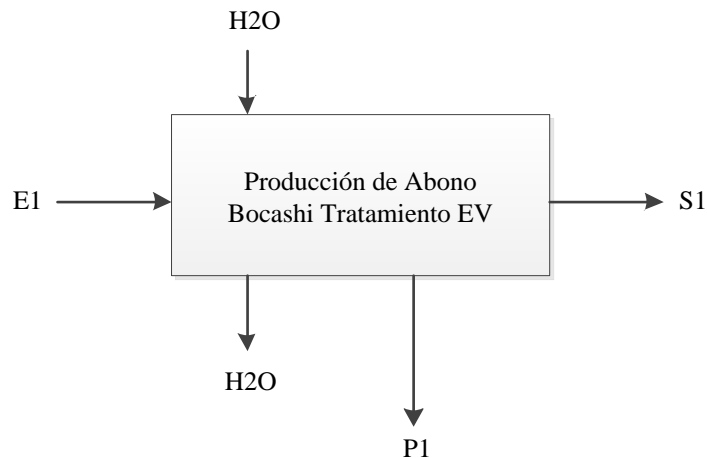
$$E_3 = 1,6 + 1,6 + 0,8 + 0,2$$

$$E_1 = 4 \text{ kg}$$

Humedad Inicial = 50,68 %

Humedad Final = 44,11 %

Rendimiento = 43,38 %



Perdida en la producción de abono = 56,62 %

$$P_3 = 4 \times 0,566$$

$$P_3 = 2,26 \text{ kg}$$

Balance de Materia en la Producción de Abono:

$$E_2 = S_2 + P_2$$

$$S_2 = E_2 - P_2 = 4 - 2,26$$

$$S_1 = 1,735 \text{ kg}$$

Producción de Abono en Base Seca:

$$f_2 = \frac{100 - \% H_f}{100} = \frac{100 - 44,11}{100} = 0,5589$$

$$S_{2(B.S.)} = S_2 \times f_2 = 1,735 \times 0,5589$$

$$S_{1(B.S.)} = 0,97 \text{ kg}$$

Donde:

V_3 = Entrada de Estiércol Vacuno

R_3 = Entrada de Rastrojo Vegetal

M_3 = Entrada de Otros Componentes (Carbón, Ceniza, Afrecho y Melaza)

L_3 = Entrada de Suero de Leche

P_3 = Perdida en la producción de abono

E_3 = Entrada de los Residuos Orgánicos

S_3 = Salida del Producto Abono Bocashi (Tratamiento SL)

3.7.4. Resultados del Balance de Materia

En la Tabla III-29, se presentan los resultados obtenidos en los balances de materia:

Tabla III-29

Resultados Obtenidos del Balance de Materia en los Tratamientos

	Tratamiento EV Pila F6 (kg)	Tratamiento RJ Pila F9 (kg)	Tratamiento SL Pila F7 (kg)
Entrada de Estiércol Vacuno	1,8	1,4	1,6
Entrada de Rastrojo Vegetal	1,4	1,8	1,6
Entrada de Otros Componentes	0,8	0,8	0,6
Entrada de Suero de Leche	-	-	0,2
Salida Producto	1,75	2,35	1,735
Masa Producto en Base Seca	1,105	1,675	0,97
Perdida	2,25	1,65	2,26

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos obtenidos que se muestran en la Tabla III-24, permiten determinar que el Tratamiento RJ (Rastrojo Vegetal 45% y Estiércol vacuno 35%), tiene una producción de abono tipo Bocashi de 2,35 kg y 1,675 kg de producto en base seca.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

De acuerdo al análisis e interpretación de los resultados de la parte experimental del presente proyecto de investigación se concluye lo siguiente:

- Los resultados de la caracterización de la materia local seleccionada para la elaboración experimental del abono Bocashi, se realizan en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) y en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), los resultados son comparados con datos planteados en la bibliografía, determinándose que el estiércol vacuno, el suero de leche y el rastrojo vegetal de cultivos de frutilla de la comunidad de Coimata, como así también el afrecho de los mercados locales, son aptos para ser utilizados en la elaboración de abono Bocashi ya que cuentan con un alto contenido de nutrientes y materia orgánica.
- El proceso experimental de la elaboración del abono Bocashi tuvo una duración de 25 días, durante los cuales se realizaron los controles de los parámetros de pH, temperatura y humedad. La finalización del proceso en el día indicado se debe a que en los tres tratamientos se observa un descenso gradual de estos parámetros a partir del día 15, esto refleja una disminución en la actividad microbiana, lo que es un indicador que concluyó con la descomposición de la materia orgánica.
- Las variables de temperatura, pH y humedad para los tratamientos EV (Estiércol vacuno 45% + Rastrojo Vegetal 35% + 20% Resto de componentes) y SL (Estiércol vacuno 40% + Rastrojo Vegetal 40% + 5% Suero de leche + 15% Resto de componentes) se encuentran dentro del rango aceptable para la elaboración del abono.
- El tratamiento RJ (Estiércol vacuno 35% + Rastrojo Vegetal 45% + 20% Resto de componentes) está dentro del rango óptimo de temperatura, pH y humedad planteado por la bibliografía.

- La variable respuesta planteada en el diseño experimental de bloques al azar para este proyecto de investigación, es el rendimiento y de acuerdo al análisis estadístico realizado a los tres tratamientos, el tratamiento RJ alcanza los mejores rendimientos que se encuentran dentro del 55 al 61 %, lo que muestra que el contenido del rastrojo vegetal influye directamente en el rendimiento del abono.
- Para realizar la comparación de las características fisicoquímicas entre los tratamientos, se envió una muestra significativa de cada tratamiento al Laboratorio de Aguas y Suelos del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG), a partir de los resultados se concluye que el Tratamiento RJ (Estiércol vacuno 35% + Rastrojo Vegetal 45% + 20% Resto de componentes) cuenta con el mejor contenido de macronutrientes y materia orgánica, de acuerdo a la Tabla-19.
- El tratamiento RJ obtuvo los más altos rendimientos además del mayor contenido de nutrientes y materia orgánica, esto establece las variables óptimas para la elaboración de abono Bocashi con materiales locales, los mismos que deben encontrarse dentro de los siguientes rangos:

Parámetro	Rango Óptimo
Temperatura	< a 41,11°C
pH	7,20 – 8.97
Humedad	43,22 – 56,6%.

Además de proporcionar las cantidades que se aplicarán para la producción de abono Bocashi en mayor escala: rastrojo vegetal 45%, estiércol vacuno 35%, 5% ceniza, 5% carbón, 5% melaza y 5% afrecho.

- La cinética de la fermentación del abono Bocashi se realiza a partir de la producción de ácido láctico debido a que describe un modelo adecuado ya que la generación del mismo se encuentra asociada al crecimiento microbiano.

- La velocidad de producción de este ácido depende de la cantidad de nutrientes presentes en el abono, es por eso que el tratamiento RJ es el que mayor cantidad de este ácido generó ya que de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla III-2, la formulación posee el mayor rendimiento másico y el más alto contenido de macronutrientes.
- Se puede concluir también que el uso de suero de leche no tuvo ningún efecto en la cinética de fermentación sino que fue el tratamiento que menor producción de ácido láctico tuvo, uno de los factores puede ser el origen y preparación del suero de leche, además de poseer mayor contenido de humedad, valores de pH más elevados que los otros tratamientos, factores que ocasionan una inhibición en la actividad microbiana y por lo tanto en la producción de ácido láctico.
- La comparación de las características fisicoquímicas de los tres tratamientos se realiza con lo establecido por Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de Lombriz (Lombricomposta) - Especificaciones y Métodos de Prueba, ya que Bolivia no cuenta con una norma oficial que establezca los parámetros para un abono orgánico de buena calidad.
- Los tres tratamientos se encuentran dentro de los parámetros establecidos de pH, relación C/N, nitrógeno total y potasio, los tres obtuvieron altos contenidos de materia orgánica, esto se debe a que durante el proceso experimental las pilas superaron los 40 °C, lo que permitió la descomposición de los componentes del abono.
- El alto contenido de materia orgánica es una de las características del abono Bocashi ya que ésta ayuda a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo donde será utilizado.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con trabajos de investigación sobre la elaboración de abono tipo Bocashi, utilizando diferentes proporciones de rastrojo y tipos de estiércol (gallinaza, porcino y otros), de manera que se establezca la influencia que puedan llegar a tener en el rendimiento del producto final.
- Es importante ampliar la investigación sobre la generación de los lixiviados durante la elaboración del abono, realizando el análisis de los parámetros que permitan determinar si pueden ser reincorporados en el proceso.
- Realizar el control estricto de la temperatura, pH y humedad durante los primeros días del proceso para evitar que sobrepasen los valores que puedan inhibir la actividad microbiana.
- En futuras experiencias realizar la parte experimental durante los meses de septiembre a diciembre, ya que se registran temperaturas más favorables para la actividad microbiana, reduciendo el tiempo de elaboración del abono Bocashi de acuerdo a la bibliografía.