

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de abonos orgánicos, como fertilizante esencial, promueve la eliminación de productos derivados de la industria química y contribuye, a la reducción de la contaminación de los suelos y evita la destrucción de los ecosistemas.

Una de las preocupaciones en el aprovechamiento racional de los bosques, es el uso integral de todos los productos del bosque es decir, elementos como ramas y follaje que pueden también ser utilizados. Una tecnología que contribuye a ésto, es la biotransformación de productos vegetales con el fin de obtener subproductos y reducir el uso de agroquímicos en la producción agrícola y forestal.

En algunos países, la eliminación de los residuos de la industria forestal, en especial follaje y residuos madereros, constituye un serio problema. Estos materiales, no obstante, podrían ser utilizados en una forma ecológica y económica en la producción de energía y de innumerables productos de alta demanda social (Alvarez, *et al.*, sf.).

La biotransformación implica la utilización de bacterias y hongos que aceleran los procesos naturales de descomposición, ya que éstos tienen un objetivo específico en la cadena de descomposición e incorporación de la materia orgánica en el suelo. La utilización de bacterias y hongos para la descomposición acelerada de biomasa foliar, contribuye al aprovechamiento integral del material vegetal proveniente de las podas, raleos, y los productos del bosque, en el cual las ramas y su material foliar son desperdiciadas, lo que plantea como alternativa la producción de abono a partir de estos elementos. Esta técnica propicia el uso integral de cada árbol de *Gmelina arborea*, optimizando el aprovechamiento de todo el material producido en las labores silviculturales de las plantaciones de esta especie.

Debido a que el árbol es un organismo más complejo en su constitución física y anatómica que especies herbáceas, su descomposición en el bosque es muy lenta, por lo que se propone hacer una descomposición acelerada del material foliar producto de la poda y el raleo de plantaciones de *Gmelina arborea* de 3 años de edad, haciendo uso de microorganismos tales como: *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*.

A. OBJETIVOS

1. General:

- Producir abono orgánico a partir de biomasa foliar de *Gmelina arborea* mediante el uso de hongos y bacterias.

2. Específicos:

- Determinar la cantidad de abono orgánico producido en cada uno de los tratamientos estudiados.
- Determinar los niveles de N, P, K, Ca y Mg, en cada uno de los tratamientos utilizados.
- Determinar la eficiencia del briotransformador Bacton por tratamiento.

B. HIPÓTESIS

- No existe diferencia entre los tratamientos en los niveles de: N, P, K, Ca y Mg.
- Al menos uno de los tratamientos es más eficiente en el proceso de biotransformación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

A. *Gmelina arborea* (Melina)

La *Gmelina arborea* (Melina) es una especie de rápido crecimiento, oportunista en los bosques húmedos y se clasifica como una pionera de vida larga. Su capacidad de rebrote es excelente, presentando un crecimiento rápido y vigoroso. Esta especie es caducifolia, en las zonas secas, pudiendo llegar a medir 30 m de altura y presentar más de 80 cm de diámetro. Crece usualmente con un fuste limpio de 6 hasta 9 m de longitud y con una copa cónica (Rojas *et al.*, 2004).

1. Distribución natural

La distribución natural de la Melina se desarrolla en hábitats que varían desde lugares húmedos hasta secos. Se encuentra en forma natural principalmente en las selvas mixtas de Birmania, asociado con *Tectona grandis*, *Terminalia tormentosa*, varias especies latifoliadas y bambúes. Su máximo desarrollo lo alcanza en los bosques más húmedos de Birmania, sobre todo en valles húmedos y fértiles. Es nativa de India, Bangladesh, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, sur de China, Laos, Camboya y Sumatra en Indonesia y es una importante fuente de madera en las regiones tropicales y subtropicales de Asia. Naturalmente se desarrolla entre las latitudes 5° N -30° N, desde el sudeste asiático, incluyendo Pakistán hasta Camboya y China meridional (Rojas *et al.*, 2004).

En África tropical, Centro y Sur América, ha sido introducida con éxito en países como Costa Rica, Colombia, Brasil, Venezuela, Trinidad, Cuba y Belice; en donde recibe los nombres de gmelina, gemelina, melina, yemane, gumhar, gamar o teca blanca. En Europa es conocida como kashmir tree, malay beechwood o snapdragon y como white teak en Inglaterra, mai saw o yemani en Birmania y le peuplier d'Áfrique en Francia. Crece de manera natural desde el nivel del mar hasta los 900 msnm, creciendo favorablemente en zonas de bosque seco tropical, bosque húmedo tropical o bosque muy húmedo tropical, generalmente entre los 24 y 35 grados y a partir de los 900 metros hasta los 1.500 metros en donde crece en suelos livianos o

pesados, de reacción ácida a alcalina, ricos en nutrientes y con buenas condiciones de drenaje y luz (Rojas *et al.*, 2004).

La madera de Melina, se caracteriza por ser moderadamente liviana, de lustre alto y apariencia suave y sedosa. No presenta olor ni sabor distintivos. Entre la albura y el duramen no existe diferencia, su grano es recto a entrecruzado y su textura es gruesa. Su color varía de crema a pardo amarillento, tornándose pardo rojizo con la edad (Obregón, sf.).

2. Hojas

Sus hojas son grandes de 10 a 25 cm de largo, simples, opuestas, enteras, dentadas, usualmente más o menos acorazonadas y 5 a 18 cm. de ancho, decoloradas. El haz es verde, el envés verde pálido y aterciopelado, nervadura reticulada, con nervios secundarios entre 3 y 6 pares y estípulas ausentes (Rojas *et al.*, 2004).

3. Flores

Las flores son numerosas de color amarillo anaranjados, en racimos, monoicas perfectas, cuya inflorescencia es un racimo o panícula cimosa terminal. Su cáliz es tubular, corola con 4 a 5 sépalos soldados a la base del ovario, de color amarillo brillante, cáliz de 2.5 cm de largo y 4 estambres. La floración ocurre justo cuando las hojas han caído o cuando las nuevas hojas comienzan a desarrollarse. En su área de distribución natural la Melina florece los meses de febrero a abril. Inicia su época de floración y fructificación entre los 6 a 8 años, sin embargo, en algunas plantaciones en Costa Rica florece a partir del tercer año (Rojas *et al.*, 2004).

4. Frutos

Sus frutos son carnosos tipo drupa, de forma ovoide u oblonga, carnosos, suculentos, con pericarpo coriáceo y endocarpo óseo, de color verde lustroso, tornándose amarillo brillante al madurar, momento en el que caen al suelo, lo que facilita su recolección.

Entre los frutos caídos naturalmente del árbol, los más indicados de recolectar son los de color verde amarillento, debido a que tienen el mayor porcentaje de germinación (Rojas *et al.*, 2004).

5. Semillas

Las semillas de esta especie se encuentran formando parte del endocarpo del fruto, son de forma elipsoidal, comprimidas, de 7 a 9 mm de largo; testa de color café, lisa, opaca, membranosa, muy delgada; el embrión es recto, comprimido, de color amarillo cremoso y ocupa toda la cavidad de la semilla. Los cotiledones son dos, grandes, planos, carnosos y elipsoidales; la radícula es inferior y corta. Hay de 1 a 4 semillas por fruto, con promedio de 2.2 semillas por fruto, aunque se ha demostrado que esto varía dependiendo del origen de la fuente semillera.

La semilla de Melina se considera ortodoxa, lo que representa una ventaja desde el punto de vista del almacenamiento y para ello se recomienda empacarla en bolsas plásticas selladas dentro de recipientes herméticos, ya que a temperatura ambiente la viabilidad se reduce rápidamente. Se debe reducir su contenido de humedad hasta un 6 y 10% (base húmeda) y almacenarla en un cuarto frío entre 3 y 5 °C para conservarla adecuadamente hasta por dos años. La semilla de Melina puede perder hasta 23% de su capacidad germinativa en 24 horas y reducirse prácticamente a 0% al cabo de una semana, si las condiciones de transporte, manejo y acondicionamiento no son adecuadas (Rojas *et al.*, 2004).

6. Tratamientos pregerminativos

Es común poner la semilla en agua por tres días y luego extenderla al sol, regándola todos los días hasta que inicie el proceso germinativo. Una práctica recomendada consiste en dejar la semilla en agua durante la noche y ponerla al sol durante el día durante cinco días, luego de ese periodo, cuando las semillas muestren síntomas de pregerminación se procede a su siembra. Las semillas que floten en el agua deben ser descartadas del proceso. El período de remojo no afecta de manera significativa el porcentaje, ni la velocidad de germinación de las semillas, sin embargo, las semillas grandes tienen un mayor porcentaje y velocidad de germinación que las

semillas medianas y pequeñas, por lo que es recomendable sembrarlas separadas para reducir la variabilidad en el lote de plantas.

También se ha practicado sumergir la semilla en agua a temperatura ambiente durante 24 horas y una vez fuera del agua se recubren con una capa de hojas secas de plátano o sacos de tela, previamente humedecidos y luego se debe remojar diariamente el lote hasta que la semilla muestre signos de germinación, la cual ocurrirá entre 1 a 3 semanas.

La melina presenta una germinación epigea, primero emerge la radícula, luego surgen los cotiledones. El porcentaje de germinación de la semilla fresca es elevado; sin embargo, después de estar almacenada por un año pierde un alto porcentaje de su viabilidad original. En la India se observó que el porcentaje de germinación de la semilla fresca fue de 90%, pero después de un año descendió hasta un 30%. Para producir 1 kg de semilla de Melina se necesitan aproximadamente 14 kg de frutos (Rojas *et al.*, 2004).

7. Corteza

La corteza es lisa o escamosa, de marrón pálida a grisácea; en árboles de 6-8 años de edad se exfolia en la parte engrosada de la base del tronco y aparece una nueva corteza, de color más pálido y lisa. Tiene un fuste marcadamente cónico, por lo regular de 50-80 cm de diámetro, en ocasiones hasta de 143 cm, sin contrafuertes pero en ocasiones engrosado en la base (Rojas *et al.*, 2004).

8. Raíz

Presenta un sistema radical profundo, aunque puede ser superficial en suelos con capas endurecidas u otros limitantes de profundidad (Rojas *et al.*, 2004).

En el Cuadro 1, se presentan los requerimientos ambientales de la Melina

Cuadro 1. Requerimientos Ambientales de la Melina.

Parámetro Ambiental	Ámbito
Distribución	0 - 900 msnm (óptimo 0 - 600 msnm)
Precipitación	1000 - 4000 (óptimo 2000 - 2500 mm)
Temperatura	18 - 38°C (óptimo 24 - 29°C)
Régimen de lluvia	8 - 9 meses de lluvia con 3 - 4 meses secos
Temperamento	Heliófila
Zonas de vida	Bosque seco Tropical, bosque húmedo y muy húmedo Tropical
Textura de suelos	Franco y franco arcilloso, no crece bien en suelos arcillosos
pH de los suelos	5 - 6
Topografía del terreno	Terrenos planos a ondulados
Pendientes	No superiores a 30%
Profundidad efectiva de suelos (cm)	Mínima de 60, óptima de más de 100
Pedregosidad	Preferiblemente en terrenos sin pedregosidad
Fertilidad	Preferible suelos fértiles
Resistencia a vientos	Es intolerante a fuertes vientos
Humedad del suelo	No soporta suelos inundados, ni siquiera en forma temporal

Fuente: (Rojas F. *et al.*, 2004).

9. Usos

Es una madera de fácil trabajabilidad, que ofrece como principal ventaja, paneles y entrepaños, partes laterales y posteriores de gavetas, armarios, muebles de cocina, archivadores y molduras, pisos livianos, tarimas, instrumentos musicales de resonancia, artesanías, moldes, juguetes, embalajes, fósforos, mangos para herramientas, canoas. Adicionalmente, de la madera de segunda mano se extrae su fibra que mezclada con otras de mayor longitud, se produce papel de alta calidad. En algunas regiones de África y Asia, la especie se cultiva para la obtención de leña y carbón de buena calidad. Como producto doméstico, sus hojas se emplean como forraje, sus frutos y corteza sirven como alimento para el ganado, su fibra es usada como medicina contra fiebres biliosas, de sus flores se extrae miel de excelente

calidad y es una especie recomendada para el cultivo del gusano de seda (Obregón, sf.).

Por su virtud de rápido crecimiento, es una especie de uso múltiple que presenta gran potencial agroforestal, puede emplearse como cerca viva, cortina rompevientos y linderos maderables. Por su ritmo de crecimiento tan acelerado no permite asociados con cultivos, a no ser que estos sean establecidos bajo la modalidad taungya, esto es que se siembren junto a la especie y por única vez, entre ellos destacan el maíz y el frijol. Su leña es buena, quema sin humo pero deja muchas cenizas, su carbón es de calidad aceptable y es uno de los mejores árboles para pulpa y papel. Sus hojas dan un forraje apreciado por el ganado, la corteza, raíces y frutos presentan propiedades medicinales, es una excelente especie melífera, y se puede plantar como ornamental (Rojas *et al.*, 2004).

Según Obregon (sf.), las propiedades físicas mecánicas del la *G. arborea* son las siguientes:

Cuadro 2. Propiedades físico mecánicas de la Melina.

Densidad básica	0,40 - 0,58
Durabilidad natural	Muy baja / moderada
Contenido de humedad	15%
Compresión paralela al grano	28 - 39 N/mm ²
Compresión perpendicular al grano	2,5 - 3 N/mm ²
Módulo de ruptura	61 - 75 (82) N/mm ²
Módulo de elasticidad	8900 - 9600 N/mm ²
Cizalladura	7,5 - 9 N/mm ²
Clavado radial	49 N/mm ²
Clavado tangencial	53 N/mm ²
Impregnación	Moderadamente fácil

10. Sitios óptimos de desarrollo

Los mejores sitios para Melina se ubican en las partes bajas de los terrenos, donde por lo general tienen mayor disponibilidad de agua y nutrientes y los sitios con buenos contenidos de calcio y magnesio y los ubicados en áreas donde el uso anterior era cultivos agrícolas.

Las plantaciones de melina no prosperan en suelos muy erosionados o compactados, de topografía quebrada y muy superficiales, en esos sitios los árboles muestran características indeseables como fustes torcidos, poca altura, muy ramificados y aspecto arbustivo, por esta razón, se sugiere plantar esta especie en suelos profundos, húmedos pero bien drenados y sin obstáculos de desarrollo radical. (Rojas *et al.*, 2004)

B. NUTRICIÓN MINERAL EN LAS PLANTAS

Las plantas requieren de elementos esenciales inorgánicos, la mayoría de los cuales los obtienen a partir del suelo tales como: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl; los necesarios para algunas plantas son N, Ni, Co, Si. Estos elementos esenciales se llaman así porque sin ellos la planta no puede completar su ciclo biológico y estos elementos no pueden ser sustituidos por ningún otro. Estos elementos son requeridos en diferentes concentraciones, dividiéndose en macroelementos y microelementos. Esto no significa que en las plantas los micronutrientes estén en baja concentración, pudiéndose encontrar niveles elevados de micronutrientes como el Cl⁻, ya que el suelo tiene mucho y las raíces lo absorben. Sí hay una selección de los elementos pero si hay un exceso de algún elemento se ve reflejado en la planta, ésta refleja la composición del suelo aunque hay otros elementos que la planta almacena en mayor concentración que la del suelo (Anónimo, 2005).

C. LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

La Materia Orgánica del Suelo (SOM) es la fracción que se origina a partir de organismos vivos. En un momento determinado, SOM consiste en los organismos vivos del suelo y en fracciones no vivas derivadas de residuos de plantas o animales en varios estados de degradación. SOM no es un componente estático del suelo; por el contrario, es una parte del flujo debido a la continua acción de los organismos descomponedores del suelo y son éstos los encargados de obtener del suelo los residuos orgánicos, la energía y nutrientes necesarios para su desarrollo. Los residuos orgánicos son una mezcla compleja de moléculas aptas para ser

descompuestas y otras resistentes a la descomposición, hechas principalmente de Carbono (50-55 %) y Nitrógeno (7-8 %). Es útil considerar la SOM como una serie de depósitos que difieren en su tasa de descomposición. La accesibilidad de esas diferentes fracciones de SOM a la descomposición determina su presencia en el suelo (Silva, sf.).

D. DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Las bacterias y hongos heterótrofos utilizan la materia orgánica para construir su propia sustancia celular y para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales. Para ello transforman la materia orgánica, en determinadas condiciones, en sustancias minerales siendo esta remineralización de los compuestos orgánicos la principal función de bacterias y hongos en el equilibrio de la materia en el agua. Así es como los nutrientes de las plantas, presentes por sí mismos en cantidades mínimas, se incorporan de forma constante al ciclo material permitiendo su desarrollo ininterrumpido (Anónimo, sf.).

La remineralización completa tiene lugar generalmente en presencia de oxígeno, es decir en aguas aerobias ya que en ambientes anaerobios los ciclos de degradación suelen quedar incompletos. Las sustancias fácilmente susceptibles (azúcares, proteínas) suelen descomponerse rápidamente por oxidación mientras que las más resistentes como grasas, celulosa experimentan una acumulación y contribuyen a formar el llamado humus marino. La velocidad con que se degrada la materia orgánica depende de muchas variables y a esto se llama período de recambio o ciclo metabólico que es el tiempo que tardarían los microorganismos heterótrofos en descomponer una cantidad determinada de materia orgánica presente en el agua.

Parece ser que esta disgregación se produce con mayor rapidez en zonas cercanas a la superficie que en las profundidades. Normalmente se descomponen en primer lugar los azúcares y proteínas, luego almidón y grasas y por último los compuestos de más alto peso molecular, como la quitina y celulosa. En el agua del mar hay gran cantidad de bacterias proteolíticas, es decir que utilizan las proteínas como alimento. Aparecen especies representantes de las pseudomonadíneas y otras eubacterias. También algunos hongos tienen capacidad para realizar proteolisis.

Los microorganismos hidrolizan en primer lugar las proteínas mediante exoenzimas proteolíticas. Posteriormente, las peptidasas descomponen los polipéptidos y oligopéptidos y los convierten en aminoácidos. Éstos se utilizan directamente para la síntesis de proteínas celulares del propio microorganismo o bien sufren una desaminación en cuyo caso liberan amoníaco. Este proceso se denomina amonificación. En medio anaerobio puede producirse una descarboxilación de los aminoácidos, lo que produciría aminas primarias y CO₂. A través de los excrementos animales o humanos llega al agua la urea que es convertida por un gran número de bacterias, por medio de la ureasa, en amoníaco y CO₂, y esto sería un proceso de desaminación hidrolítica.

Si las bacterias descomponedoras de la urea son muy abundantes, los propios iones amonio inhiben la producción de ureasa para que la producción de amoníaco se reduzca a la cantidad necesaria para la síntesis de proteínas. El ácido úrico lo descomponen bacterias poseedoras de la enzima Uricasa. Los azúcares sencillos pueden ser desdoblados por muchas eubacterias y por actinomicetos y hongos. Otro tanto se podría decir de sustancias como el manitol, almidón, celulosa (Anónimo, sf.).

La transformación de la materia orgánica en humus es lenta, pero la velocidad de transformación no es uniforme; los primeros cambios son más rápidos: los glúcidos (hidratos de carbono) se descomponen con facilidad y los fosfatos se hidrolizan rápidamente; además va separándose el nitrógeno de los aminoácidos provenientes de la degradación de las proteínas. Todo esto hace que aumente el porcentaje de Carbono y la relación entre los elementos Carbono, Nitrógeno y Fósforo va evolucionando. Este proceso, no siempre se verifica, sobre todo si se trata de zonas muy húmedas y lluviosas, ya que el Nitrógeno y el Fósforo pueden ser lavados y arrastrados a zonas profundas. Además, en el caso específico del Fósforo, si el terreno no tiene la cantidad suficiente de Calcio se agrava el problema, por el hecho de que lo ideal es que el Fósforo se fije como fosfatos o superfosfatos que son muy poco solubles en agua (Gilliavod, sf.).

E. FORMACIÓN DEL HUMUS

En general, humus (del Latín humus = tierra, suelo) se refiere a la parte orgánica del suelo y de sedimentos subacuáticos, y también correspondería a la categoría de materia orgánica disuelta en el agua y muy estable.

Otro compuesto al que hay que mencionar es la arcilla, cuya fórmula más generalizada se podría escribir: $x \text{ Al}_2\text{O}_3$, $y \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $z \text{ SiO}_2$, que ampliando el concepto se podría decir que está formada por hidróxidos de hierro, óxido de aluminio, sílice coloidal, más minerales típicos de la misma como son la caolinita $(\text{Si}_2\text{O}_5)\text{Al}_2(\text{OH})_4$, la montmorillonita $\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Al}_2(\text{OH})_2 + n \text{ H}_2\text{O}$, diversas micas, etc. Estos materiales, están tan extremadamente subdivididos, que determinan una enorme superficie de contacto (las partículas de un gramo de arcilla tienen una superficie total de 25 a 900 m^2). Esto tiene una enorme importancia en todos los fenómenos de superficie, como la adsorción y los fenómenos electrostáticos. Sus cualidades adsorbentes le proporcionan una gran capacidad de retener agua, la que a su vez permite la infinidad de reacciones químicas que se verifican en el humus. Su propiedad electrostática negativa, hace que el humus quede fijado a ella y tenga un elevado nivel reactivo. Si ésta última acción no se verificara, el humus solo tendría una acción muy débil y de corta duración.

1. Formación de las arcillas

Las rocas volcánicas primitivas, por acción física y química del agua y de los gases atmosféricos a temperaturas mucho más elevadas que la actual, se fueron degradando en tamaño y composición, dando lugar a las rocas sedimentarias, las que a su vez por los mismos mecanismos antes citados, dieron lugar a las arcillas. Millones de años después aparecieron los compuestos orgánicos y los primeros esbozos de vida; los productos de excreción y de degradación de estos seres y de los posteriores descendientes evolutivos, dieron origen a los “humus primitivos”, que se fijaron a las arcillas dando lugar a las “tierras primitivas” del planeta. La riqueza en elementos nutritivos de las mismas se fue dando concomitantemente con la

evolución y diversificación de los seres vivos. La descomposición total, ya la sufren dentro de la tierra, también por bacterias y hongos. No necesitan aditivos artificiales. Este humus, constituye la mayor reserva de carbono orgánico del planeta.

Los bosques tropicales aportan 150.000 Kg/ha/año, los bosques de clima templado 25.000, las pasturas 2.300 y las bacterias y hongos 4.500. A este humus vegetal, habría que añadir el que resulta de la descomposición de origen animal (deyecciones y animales muertos). El dióxido de carbono total resultante de esta descomposición natural representaría menos del 20% de la descomposición animal y más de un 80% al producido por las bacterias y hongos del suelo resultante del metabolismo de los detritus aportados.

Los ácidos húmicos, como componentes fundamentales del humus se clasifican, por sus propiedades químicas en humina, ácido fúlvico, ácido hematmelánico y ácidos húmicos I y II. Todos estos a su vez, derivan de la descomposición de: hidratos de carbono como glúcidos, celulosa, hemicelulosas y almidones, perteneciendo estos tres últimos a la categoría de macromoléculas; descomposición de proteínas degradables; descomposición de la lignina.

Los compuestos antes mencionados, intervienen en la composición del humus: sustancias orgánicas en diversos estados de descomposición, aminos, productos orgánicos de degradación de hongos y bacterias más productos de secreción y excreción de las mismas; proteínas y sus productos de degradación, péptidos y aminoácidos; taninos y sus productos de degradación, polifenoles y fenoles; ácidos orgánicos diversos; enzimas; fitohormonas; clorofila, carotenos y derivados.

Las sales minerales, provenientes también de los detritus superficiales y dejadas libres por los hongos y bacterias, se ionizan en aniones y cationes, que se fijan muy especialmente a los ácidos húmicos y algo a las arcillas. Las bacterias y hongos (actino y basidiomicetos) coexisten en los espacios dejados por todos los compuestos antes citados. Todos los seres vivos, nacen, crecen, se reproducen y mueren. De la muerte parcial (hojas, material rameal de recambio, flores, frutos),

como de plantas que han llegado a su período final de vida, se origina el humus natural por descomposición de las mismas por bacterias, hongos e insectos en la superficie de la tierra. Especialmente los árboles, se autoalimentan de esta forma, sobre todo si pertenecen a ecosistemas boscosos. La descomposición total la sufren dentro de la tierra, también por bacterias y hongos. No necesitan aditivos artificiales. Este humus, constituye la mayor reserva de carbono orgánico del planeta.

La denominación de humus se aplica cuando se ve amorfo, es decir, cuando ha perdido la estructura orgánica microscópica original. Su composición química es variable, dependiendo del ecosistema y de su actividad. La prueba, es que los ácidos húmicos que intervienen en su constitución tienen un peso molecular que puede variar entre 100 y 20000. No obstante, se puede decir que aproximadamente, estaría constituido por moléculas cíclicas muy estables (anillos fenólicos) que actúan como soporte y que serían los llamados ácidos húmicos. Esta presencia está representada, en una proporción de un 30%, y resultan derivados de la descomposición de macromoléculas lineales como hemicelulosa, celulosa y almidones, como de macromoléculas cíclicas como la lignina, siendo esta última la vía más importante. Completan su composición, materia orgánica diversa (depende del ecosistema), y aire y agua; de ésta última, un 40-60% en volumen se halla adsorbida y absorbida.

Los ácidos húmicos, al tratarse de moléculas cíclicas resultan muy poco atacables, acumulándose en dicha forma. Son resistentes a la oxidación bioquímica y a la utilización bacteriana. Los oxhidrilos fenólicos, son la clave de su acción: de las 7 formas resonantes que presenta el fenol, tres tienen la característica de que la carga negativa se halla alejada del oxhidrilo, lo que hace que el oxígeno del mismo adquiera carga positiva, o dicho de otra forma, tenga una baja densidad electrónica, esto permite que el hidrógeno unido al oxígeno tome el carácter de protón y tienda a separarse con facilidad, dando lugar a un ión resonante estable. Es por eso, que por su carácter “enólico” tiende a comportarse como un ácido, y ese ión resonante estable que se comporta como anión se conoce como fenóxido, el cual se combina con los metales pesados (electropositivos), formando quelatos. Son la principal

fuerza de hierro aprovechable por los vegetales, puesto que se descomponen fácilmente al rango de pH que normalmente tiene la tierra. Además, tienen acción queladora sobre metales pesados tóxicos, con la diferencia de que éstos no son liberados tan fácilmente.

También captan moléculas orgánicas con carga positiva, como por ejemplo aminoácidos a través de sus grupos amino, pero en estos casos, no solo depende del pH sino del Punto Isoeléctrico de estos últimos, comportándose en estos casos como otra de las fuentes de reserva de nitrógeno. Las materias húmicas, pueden ser muy viejas; a medida que aumenta su edad, la relación Carbono/Nitrógeno (C:N) aumenta. Esto se debe a que los compuestos nitrogenados se degradan con mayor velocidad que los compuestos carbonados. Esta edad se puede estimar en base al contenido de C₁₄.

Los procesos de formación del ácido húmico se aceleran en el suelo en función de la extensión superficial de las arcillas y del oxígeno gaseoso presente dentro y fuera del suelo. Los ácidos húmicos ya formados son difícilmente degradables, pero existen materiales que se descomponen o transforman con mayor rapidez y esta materia, puede dar también, en proporción creciente, a medida que se acumula, moléculas o parte de moléculas con estructuras de ciclos o anillos.

Todos los materiales citados como productores de ácidos húmicos, así como las proteínas, no pueden ser degradados ni transformados sino por la acción de enzimas que sólo las producen los hongos y las bacterias presentes en el suelo. Ligninas y celulosas no son digeridas por animales superiores, si éstos no poseen en su aparato digestivo los microorganismos necesarios y el proceso de su ataque se continúa en el suelo por hongos y bacterias. Los excrementos de estos microorganismos constituyen centros de gran actividad bioquímica a este respecto y son un elemento característico de la estructura del suelo.

Rutinariamente, lo que se determina es el Carbono y el Nitrógeno. El Carbono se determina por combustión seca o húmeda y el Nitrógeno por el método de Kjeldahl.

El cociente en peso Carbono/Nitrógeno (C/N) en suelos cultivados se encuentra en valores entre 8 y 15 con una media de 10. En climas fríos, estos valores pueden llegar a 30. Pero estos valores pueden resultar ser bastante relativos. Si dieran valores iguales o aproximados para dos ecosistemas con características biológicas y ambientales diferentes, en este caso, tanto el Carbono como el Nitrógeno podrían estar formando parte de compuestos lo suficientemente diferentes en cuanto a sus características de degradación y aprovechamiento.

En todos estos cambios intervienen bacterias. Es notable la actividad desnitrificadora bacteriana que elimina cualquier exceso de Nitrógeno; los fijadores de Nitrógeno (*Azotobacter*, *Beijerinckia*) actúan en sentido opuesto aumentando la proporción de Nitrógeno. En definitiva, la composición química del humus es una consecuencia del ecosistema que se estudie; de ahí que no se puede concebir su existencia como un estado estacionario sino en función de las características del ecosistema entero y de su sucesión.

No se tiene la suficiente rigidez científica hablar de tipos de humus y de sus propiedades, ya que se trata de polímeros complejos de los cuales sólo se conocen algunas propiedades en cuanto a la solubilidad de los ácidos húmicos y muy probablemente, al someterlos a la acción de solventes, muchas otras sustancias presentes en el humus, y que son variables, se incorporen al solvente utilizado. Ordinariamente, se distinguen cuatro fracciones, conocidas como: huminas, ácido fúlvico, ácido húmico y ácido hematomelánico.

Se suele hacer una distinción entre “humus ácido no saturado” y “humus saturado”, pero sólo con un criterio práctico. Humus ácido no saturado es el que se encuentra en turberas y suelos pobres, en ecosistemas con poca vida bacteriana. Su característica principal es que tiene propiedades queladoras, es decir que capta diversos metales. Funcionaría como coloide protector sobre todo para Hierro y otros metales pesados. Humus saturado o negro que predomina en suelos forestales y cultivables, que tienen una flora microbiana rica y presenta la particularidad de estar neutralizado ordinariamente con Calcio (Gilliavod, sf).

F. FIJACIÓN BIOLÓGICA DE N₂

La reducción del N₂ a amonio la llevan a cabo microorganismos procarióticos, tanto en vida libre como en asociaciones simbióticas con plantas. En todos los casos, la enzima que reduce el N₂ a amonio se denomina nitrogenasa. Esta enzima requiere para su funcionamiento de grandes cantidades de energía (ATP), y se inactiva en presencia de oxígeno y compuestos nitrogenados (Anónimo, sf.).

G. COMPOSTAJE

En términos generales el compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. La biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por estas razones, que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos.

En una pila de material en compostaje, si bien se dan procesos de fermentación en determinadas etapas y bajo ciertas condiciones, lo deseable es que prevalezcan los metabolismos respiratorios de tipo aerobio, tratando de minimizar los procesos fermentativos y las respiraciones anaerobias, ya que los productos finales de este tipo de metabolismo no son adecuados para su aplicación agronómica y conducen a la pérdida de nutrientes (Ricaurte, 2005).

H. BIOTRANSFORMACIÓN

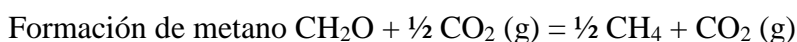
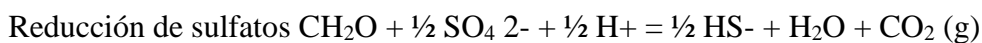
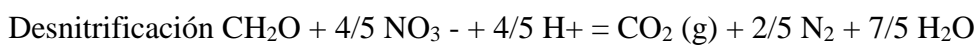
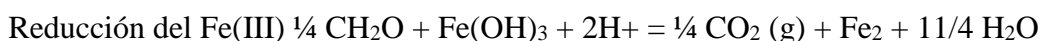
Es la conversión de una sustancia por cultivos vivientes, células permeabilizadas o enzimas fijadas en un producto químico diferente o cultivo celular específico, para producir una transformación química sobre sustratos exógenos naturales o sintéticos

con el propósito de obtener un compuesto con mayor actividad biológica y valor agregado (Chávez, 2003).

I. BIOTRANSFORMACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

La oxidación de la materia orgánica produce compuestos inorgánicos simples, tales como CO₂ y H₂O. Estas reacciones se conocen como de biodegradación o biotransformación ya que se catalizan por microorganismos. En algunos casos, el oxígeno actúa como receptor de electrones: $\frac{1}{4} \text{CH}_2\text{O} + \frac{1}{4} \text{O}_2 (\text{g}) = \frac{1}{4} \text{CO}_2 (\text{g}) + \frac{1}{4} \text{H}_2\text{O}$

Sin embargo, cuando no hay oxígeno disponible, otras especies, como por ejemplo NO₃⁻, Fe(III), Mn(IV), SO₄²⁻ y CO₂, aceptan electrones. Algunas de las más importantes reacciones de biotransformación son:



Las reacciones de biotransformación son importantes cuando los compuestos orgánicos son contaminantes de las aguas subterráneas. Si la biotransformación ocurre rápidamente, la reacción puede atenuar las concentraciones de los contaminantes y quizás alterar la química de los iones mayoritarios. La desventaja es que la gran diversidad de los compuestos orgánicos involucrados y la complejidad de las reacciones microbiológicas son la principal causa por la que dificultan el estudio de estos procesos (Anónimo, sf.).

J. BIOTRANSFORMACIÓN FASE I

La Fase I es un conjunto de reacciones de oxidación que preparan a los tóxicos para que puedan transformarse por las reacciones de la Fase II (Figura 1). Esto lo logran

transformando los grupos funcionales del xenobiótico en sitios que pueden llevar a cabo reacciones de la Fase II, o bien introducen grupos nuevos que le dan esta característica. Para hacer este trabajo las células cuentan con dos sistemas de enzimas, que tienen la función de introducir en el sustrato un átomo de oxígeno proveniente del oxígeno molecular (oxigenasas de función mixta). Estos dos sistemas son las amino-oxigenasas y los Citocromos P-450. Ambos sistemas se encuentran localizados en el retículo endoplásmico.

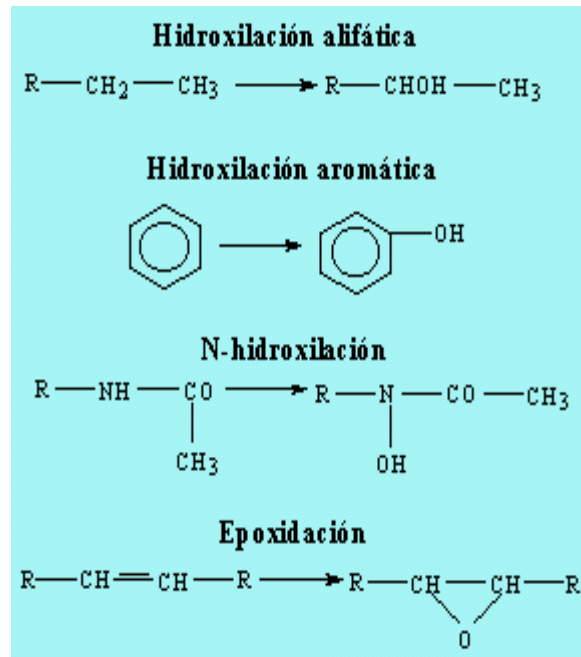
Las amino-monooxigenasas oxidan aminas y compuestos sulfurados. Los Citocromos P-450 están formados por dos proteínas diferentes, una tiene función de reductasa y la otra es una hemoproteína con actividad de oxigenasa. La oxigenasa es una proteína, que en estado reducido y monooxigenada, presenta un pico de absorción a 450 nm, que es lo que le da el nombre a esta familia de enzimas.

El mecanismo de la reacción de la oxidación del xenobiótico catalizada por citocromo P-450, en términos generales es como sigue: el xenobiótico entra a su sitio activo que se encuentra en la oxigenasa como se observa en la (Figura 1), la reductasa transfiere un electrón al hierro hemático reduciéndolo del nivel (III) a (II) observada en la (Figura 2), la reducción abre el sitio activo del O_2 , (D) el O_2 entra a su sitio activo y oxida al xenobiótico que está en la superficie de la enzima transfiriéndole uno de los átomos de oxígeno (Figura 3).

Existen varios Citocromos P-450 que se diferencian en su especificidad, por ejemplo, el P-450 IIE oxida al etanol y el P-450 IA oxida al alfa-benzo-pireno. Si la concentración de oxígeno en la célula es muy baja, entonces la reacción catalizada por el Citocromo P-450 es una reducción en la que el NADPH actúa como donador de iones hidruro.

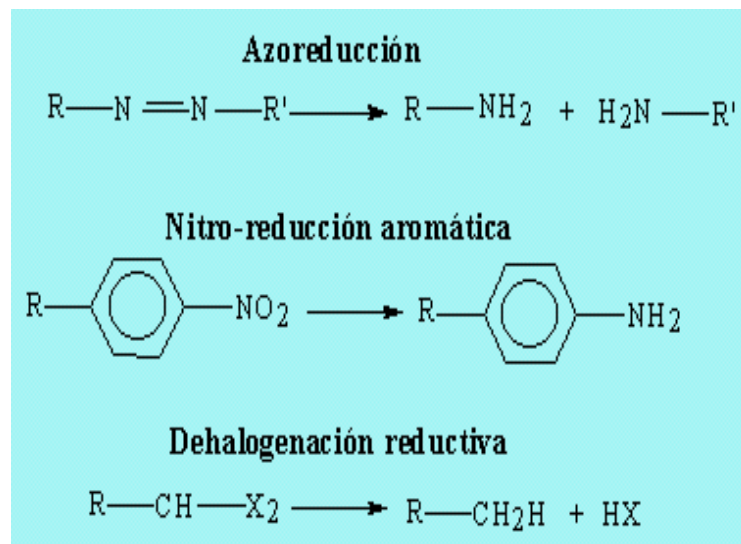
Las reacciones de reducción más comunes son la transformación de nitroderivados aromáticos a aminas, la azoreducción de aminas primarias y la deshalogenación reductiva. La reducción puede dar lugar a la formación de un radical libre más tóxico que el xenobiótico original, capaz de producir daños en el ADN. Esta

biotransformación es entonces una bioactivación. Por ejemplo; el tetracloruro de carbono sufre la deshalogenación reductiva produciendo el radical libre triclorometilo (University of Arizona, 2004).



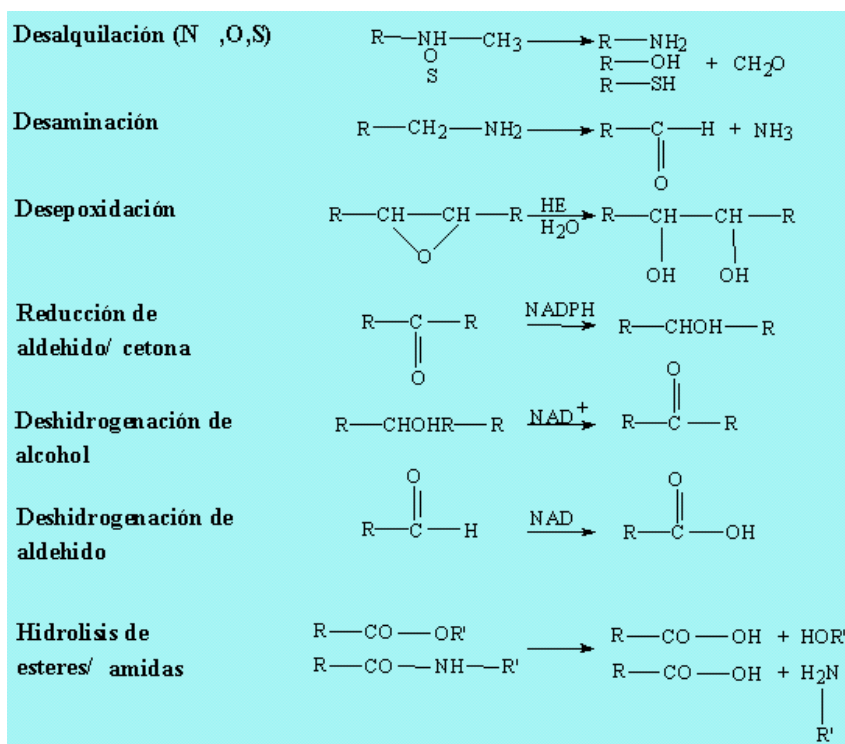
Fuente: University of Arizona, 2004

Figura 1. Reacciones Comunes de Oxidación en la Fase I



Fuente: University of Arizona, 2004

Figura 2. Reacciones de Reducción Catalizada por Citocromo P-450



Fuente: University of Arizona, 2004

Figura 3. Reacciones de Exposición de Grupos Funcionales

K. BIOTRANSFORMACIÓN FASE II

La Biotransformación Fase II (Figura 4), consiste en reacciones de conjugación, catalizadas por un conjunto de enzimas, la mayoría de ellas localizadas en el citosol. Las reacciones consisten en agregar un grupo polar de tamaño relativamente grande a los productos de las reacciones de la Fase I o a los xenobióticos originales que contienen los grupos funcionales apropiados para ser sustratos de las reacciones de conjugación. Los donadores de los grupos polares tienen que ser compuestos de alta energía, ya que las reacciones de conjugación no son termodinámicamente favorables. El resultado que se logra con estas reacciones es un gran incremento de la solubilidad en agua del xenobiótico.

1. Glucuronidación

La reacción consiste en agregar un grupo glucuronil en un grupo hidroxilo, amino o sulfhidrilo del tóxico. La enzima que cataliza la reacción es la UDP glucuronil transferasa y el donador del grupo polar es el ácido UDP glucurónico. La enzima se encuentra localizada en el retículo endoplásmico, a diferencia de las otras enzimas

de la Fase II que se localizan en el citosol. Los compuestos glucuronidados son muy solubles en agua y aparecen en la orina y en la bilis. Existe un número muy grande de xenobióticos que son sustrato de esta enzima (figura 3).

2. Sulfatación

Es la reacción que consiste en la transferencia de un grupo sulfato de PAPS (3'-fosfoadenosil-5'-fosfosulfato) a un grupo hidroxilo o amino en el xenobiótico. La reacción es catalizada por sulfotransferasas, enzimas solubles localizadas en el citosol. El producto de la reacción es un sulfato orgánico ionizado, muy soluble en agua que se excreta en la orina (Figura 3).

3. Aminoacidación

La reacción consiste en la formación de una unión peptídica entre el grupo amino de un aminoácido, normalmente glicina, y un carboxilo en el xenobiótico. Obviamente para que esta reacción se pueda dar es indispensable que el xenobiótico tenga un grupo carboxilo. Estos conjugados son eliminados en la orina debido a que el sistema de transporte del riñón de los mamíferos, como se observa en la (Figura 3), reconoce al aminoácido.

4. Glutathionización

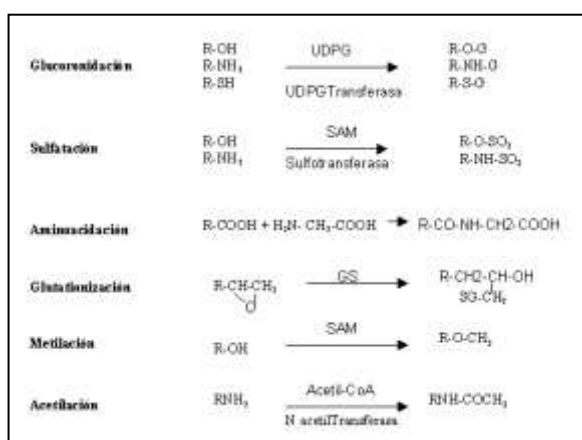
La glutathionización (Figura 3) consiste en la adición de glutatión (GSH), a través de su grupo sulfhidrilo (nucleofílico), con un carbón electrofílico del xenobiótico. La reacción es catalizada por la glutatión-S-transferasa y el glutatión mismo es el cofactor de alta energía. El glutatión es un tripéptido, Glu-Gli-Cis. El compuesto que se forma se rompe en el riñón de los mamíferos produciendo el Cis-derivado, que se acetila para producir un conjugado del ácido mercaptúrico, el cual se excreta en la orina. Esta reacción es importante en la desintoxicación de epóxidos y peróxidos. La glutatión-S-transferasa se encuentra en células de muy diversos tejidos. Si esta reacción disminuye significativamente el nivel celular de glutatión, el organismo puede sufrir daños considerables debido a la peroxidación de lípidos o por otros tipos de agresión química.

5. Metilación.

La metilación como se observa en la (Figura 3) juega un papel menor en la biotransformación de xenobióticos, excepto en la desintoxicación de arsénico. Los compuestos inorgánicos de arsénico se transforman en metabolitos monometilados y dimetilados que son menos tóxicos. La reacción consiste en la transferencia de un grupo metilo a un hidroxilo, amino o sulfhidrilo, es catalizada por las metiltransferasas y el compuesto donador de grupos metilo es la SAM (S-adenosilmetionina). La metilación es importante en la transformación de compuestos endógenos y forma parte en la biosíntesis de varios aminoácidos y esteroides, así como en la metilación del ADN.

Las reacciones de la Fase I activan grupos funcionales, la metilación los enmascara impidiendo que participen en reacciones de la fase II, por lo tanto, si se metilan los xenobióticos se disminuye la tasa de eliminación del compuesto. Varias de las reacciones de la Fase II requieren de los mismos grupos funcionales, así que los compuestos que pueden ser modificados por más de una enzima, entran en reacciones que son mutuamente competitivas.

Qué tanto tiene lugar una reacción determinada depende, de la capacidad del tejido para llevar a cabo la reacción y de la afinidad de la enzima por el sustrato. La capacidad está definida por la cantidad de cofactor presente en el tejido cuando éste es expuesto al xenobiótico (University of Arizona, 2004).



Fuente. (University of Arizona, 2004)

Figura 4. Reacciones de Conjugación de Fase II

L. LAS BACTERIAS

Las bacterias forman uno de los tres dominios en los que se dividen los seres vivos. En los antiguos sistemas taxonómicos, las bacterias formaban un subreino del reino Monera. El término bacteria también se emplea para denominar a todos los organismos unicelulares sin núcleo diferenciado que constituyen el nivel de organización procarionte. Los organismos procariontes se subdividen en *Eubacterias* (dominio *Bacteria*) y *Arqueobacterias* (dominio *Archaea*).

Las Bacterias son los organismos más abundantes del Planeta y su tamaño se encuentra entre las 0.5 y 5 μm (micras). Pueden ser de carácter patógeno o no. Generalmente poseen una pared celular, similar a la de plantas u hongos, pero compuesta por peptidoglicanos, por lo que muchos de los antibióticos son efectivos sólo contra las bacterias ya que inhiben la formación de esta pared celular. Muchas de ellas también poseen cilios o flagelos.

Las bacterias son organismos microscópicos y relativamente sencillos. Carecen de núcleo y de los orgánulos de las células más complejas o eucariotas; sin embargo, al igual que las células de las plantas, la mayoría posee una pared celular a base de carbohidratos. Algunas presentan cápsula y otras son capaces de evolucionar a esporas que son formas viables capaces de resistir condiciones extremas. Sus dimensiones son muy reducidas, unas 2 micras de ancho por 7-8 micras de longitud en la de forma cilíndrica de tamaño medio; aunque son muy frecuentes las especies de 0,5-1,5 micras. Aún careciendo de núcleo, presentan estructuras elementales (un único cromosoma bacteriano) que realizan las funciones propias de este. El *cromosoma bacteriano* está situado en la zona media o nucleoide, y está formado por una única gran molécula de ADN, sin embargo, puede presentarse como pequeñas moléculas de ADN o plásmidos

La pared celular está compuesta generalmente por hidratos de carbono, entre los que se destaca la mureína un polisacárido complejo, lípidos y aminoácidos. Esta pared se puede teñir de forma selectiva con la tinción de Gram, lo cual da lugar a la división de dos grupos de bacterias, las Gram positivas y las Gram negativas, según se tiñan de azul violeta o rosa, respectivamente.

En el citoplasma de las bacterias no se aprecian orgánulos ni formaciones protoplasmáticas. La forma de las bacterias no es constante y, a menudo, una misma especie adopta distintos tipos morfológicos, es lo que se conoce como pleomorfismo (Wikimedia Foundation, 2006).

Según Wikimedia Foundation (2006), la clasificación de las bacterias es la siguiente:

- **Los cocos o formas esféricas:**

 - En grupo de dos: *Diplococos*

 - En cadena: *Streptococos*

 - Agrupaciones irregulares: *Estafilococos*

 - En grupo de a cuatro: *Tetracocos*

- **En forma de bastoncillo, son los bacilos**

- **Formas helicoidales:**

 - Espiroquetas*

 - Espirilos*

 - Vibrios*

M. BACTERIAS HETERÓTROFAS

Son aquéllas que necesitan materia orgánica como fuente de energía, al contrario de las bacterias autótrofas (Aula de el Mundo, 2001).

N. BACTERIAS AUTÓTROFAS

Son Bacterias que pueden alimentarse a sí mismas a partir de sustancias inorgánicas (Aula de el Mundo, 2001).

O. CLASIFICACIÓN DE LAS BACTERIAS

Las eubacterias o bacterias verdaderas se dividen en dos grandes grupos de acuerdo con su comportamiento al someterse a la tinción de Gram que permite distinguir el tipo de construcción de la pared celular de las bacterias. Así, las bacterias que conservan el colorante violeta de genciana durante el procedimiento de tinción se denominan Gram positivas, mientras las que no la conservan se conocen como Gram negativas (Universidad Nacional de Colombia, 2005).

P. BACTERIAS PROTEOLÍTICAS

Constituyen un grupo heterogéneo de bacterias fuertemente proteolíticas que forman proteinasas extracelulares, así llamadas porque se difunden fuera de las células. Todas las bacterias poseen proteinasas intracelulares, pero sólo unas cuantas las tienen en forma que puedan ser difundidas extracelularmente. Las Bacterias proteolíticas pueden dividirse en aerobias o facultativas, que pueden ser esporógenas o no y anaerobias productoras de esporas. *Bacillus cereus* es un germen aerobio esporulado proteolítico; *Pseudomonas fluorescens*, es aerobio o facultativo y no produce esporas y *Clostridium sporogenes* anaerobio y esporulado.

Muchas especies de *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Proteus*, son proteolíticas. Ciertas bacterias llamadas ácido proteolíticas determinan a la vez una fermentación ácida y una proteólisis. Como ejemplo pueden citarse *Streptococcus faecalis* var. *Liquefaciens* y *Micrococcus caseolyticus*. Algunas bacterias son putrefactivas, es decir, descomponen las proteínas anaeróticamente, produciendo compuestos malolientes tales como ácido sulfúrico, mercaptanos, aminas, indol, y ácidos grasos. La mayor parte de las especies proteolíticas de *Clostridium* son putrefactivas, lo mismo que algunas especies de *Proteus*, *Pseudomonas* y otros géneros que no producen esporas (Anónimo, sf.).

Q. NUTRICION BACTERIANA

La nutrición es el proceso por el que los seres vivos toman del medio donde habitan las sustancias químicas que necesitan para crecer. Dichas sustancias se denominan **nutrientes**, y se requieren para dos objetivos: fines energéticos (reacciones de

mantenimiento); fines biosintéticos (reacciones plásticas o **anabolismo**). Las biosíntesis de nuevos componentes celulares son procesos que requieren energía procedente del medio ambiente (Iáñez, 1998).

R. HONGOS

Los hongos son organismos eucarióticos (con células nucleadas) que realizan una digestión externa de sus alimentos, secretando enzimas, y absorben luego las moléculas disueltas resultantes de la digestión, es decir, que se alimentan osmotróficamente, como las plantas, absorbiendo sustancias disueltas, pero a diferencia de aquéllas, los nutrientes que toman son orgánicos. Los hongos son los descomponedores primarios de la materia muerta de plantas y de animales en muchos ecosistemas, y se ven comúnmente en el pan añejo. En forma de micorrizas, los hongos acompañan a la mayoría de las plantas, residiendo en sus raíces y ayudándolas a absorber nutrientes del suelo; se piensa que esa simbiosis fue esencial para la conquista del medio terrestre por las plantas y para la existencia de los ecosistemas continentales (Wikimedia Foundation, 2006).

1. Caracteres diferenciales de los Hongos

Según Wikimedia Foundation (2006), los hongos se los puede diferenciar de la siguiente forma:

- *Nivel celular*: Eucariotas
- *Nutrición*: Osmótrofa (absorción)
- *Metabolismo del oxígeno* (respiración): Aerobios o anaerobios facultativos
- *Reproducción y desarrollo*: reproducción sexual, con gametos generalmente iguales, y multiplicación asexual por esporas resistentes
- *Organización*: Pluricelulares en general, con células en filamentos llamados hifas, cuyo conjunto forma un micelio. Carecen de fases móviles, tales como formas flageladas, con la excepción de los gametos masculinos y las esporas de algunas formas “primitivas” (los Chytridiomycota).
- *Estructura y funciones*: Sin plasmodesmos (puentes de citoplasma entre células). Unicelulares como la levadura de la cerveza (*Saccharomyces*

cerevisiae) o con micelio pluricelular constituido por hifas, con movimientos intracelulares. En las paredes hay poros. Pared celular con quitina.

Los hongos no son plantas ni animales, aunque se parezcan en algunas de sus características tanto a las unas como a los otros. A las plantas, por ser organismos sedentarios que se encuentran fijos a un sustrato y, mientras están vivos, no cesan de crecer. A los animales, pues, aunque las células de los hongos poseen pared como las de las plantas, las paredes celulares fúngicas son ricas en quitina, la misma sustancia que hace duro el esqueleto externo de los insectos. Se estima que existe más de un millón de especies de hongos en el planeta, pero tan sólo unas 70,000 de ellas han sido descritas por los especialistas.

Los hongos tienen distintos hábitos de vida. Los hongos saprófitos, es decir descomponedores de materia orgánica, cumplen una función ecológica de la mayor relevancia pues garantizan el reciclaje de la materia muerta y, por lo tanto, la recirculación de sustancias nutritivas en los ecosistemas. La mayoría de las familias y reconocidas, conforman el reino de los hongos verdaderos (Fungi o Eumycota). Otros se ubican en el mismo reino de las amebas, el llamado Protozoa, como es el caso de los hongos mucilaginosos; y otros más, entre los que se cuentan ciertos mohos acuáticos que parasitan peces, comparten un tercer reino, el denominado Chromista, con las diatomeas, esas particulares algas microscópicas (Anónimo, sf.).

Los hongos tienen una gran importancia económica para los humanos: las levaduras son las responsables de la fermentación de la cerveza y el pan y el cultivo de setas es una gran industria en muchos países (Wikimedia Foundation, 2006).

2. Clasificación actual de los Hongos

Según Wikimedia Foundation (2006), la clasificación de los hongos es la siguiente:

- Quitridiomycetes (división *Chytridiomycota*).
- Zigomicetes (división *Zygomycota*).
- Glomeromicetes (división *Glomeromycota*).
- Basidiomicetes (división *Basidiomycota*).
- Ascomycetes (división *Ascomycota*).

S. *Azospirillum* sp

1. Distribución

El *Azospirillum* muestra una amplia distribución geográfica. Aún cuando son más abundantes en las regiones tropicales, también se les encuentra en las regiones templadas, frías y desérticas. El pH del suelo juega un papel importante en la presencia de las especies del género *Azospirillum*. Las especies de *Azospirillum brasilense* se encuentran en mayor abundancia en suelos con valores de pH cercanos a la neutralidad. También se hallan esporádicamente en suelos con un pH abajo de 5, pero cuando el pH es menor a 4.5 no se logra su aislamiento.

Un estudio en el que se evaluaron 23 tipos de suelos con características diferentes mostró que el porcentaje de arcilla, contenido de materia orgánica, capacidad de retención de agua y contenido de nitrógeno afectan positivamente la sobrevivencia de *Azospirillum brasilense*, en tanto que el tamaño de las partículas de arena y especialmente la alta concentración de carbonato de calcio afectan negativamente la sobrevivencia de esta especie en ausencia de plantas. No obstante, la sobrevivencia de *Azospirillum brasilense* en la rizósfera es independiente a la falta de fertilidad del suelo (Saura & Fernández, 2003).

2. Interacción con la planta

Una vez que las células de *Azospirillum* se han adaptado a las condiciones del ambiente rizosférico y han logrado llegar a la superficie de las raíces se inicia el establecimiento de la asociación. Diferentes estudios han mostrado que *A. brasilense* tiene la capacidad de adherirse a las raíces de plantas gramíneas como el mijo (*Pennisetum purpureum*) y *Digitaria decumbens*, trigo, maíz, así como a las raíces de plantas de otras familias que incluyen al algodón y tomate, e incluso a superficies inertes como poliestireno y arena. La capacidad de *Azospirillum* para adherirse a las raíces, al menos a las de mijo, es significativamente mayor que la mostrada por otras bacterias de la comunidad rizosférica como *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Klebsiella* o *Pseudomonas* (Saura & Fernández, 2003).

La asociación de *Azospirillum* con las raíces de las plantas se desarrolla en dos etapas completamente independientes (Saura & Fernández, 2003).

La primera consiste en una absorción rápida, débil y reversible, la cual es dependiente de las proteínas de la superficie bacteriana del tipo, de las adhesinas en conjunto con la participación del flagelo polar (Saura & Fernández, 2003).

La segunda fase consiste en un anclaje lento pero firme e irreversible que alcanza su máximo nivel 16 horas después de la inoculación, el cual parece ser dependiente de un polisacárido extracelular de *Azospirillum* (Saura & Fernández, 2003).

T. *Azotobacter*

Beijerinck (1901) citado por Ramos (1992), expresa que el género *Azotobacter* posee algunas características comunes que son: diámetro celular de unos 2 μ m, no producen endosporas pero sí quistes de resistencia a drogas, son aerobias, quimiorganotrofas. Su pH óptimo es 7,0 a 7,5 y su temperatura óptima de crecimiento oscila los 32 °C son fijadoras no simbióticas de nitrógeno.

Los organismos de esta familia son morfológicamente diferentes, varían de bastones romos a ovals. Pueden presentarse como una forma hinchada, ovalada o parecida a una levadura, son heterótrofos, aerobios, Gram negativos y tienen la capacidad de fijar nitrógeno molecular es decir, transformar el nitrógeno libre en compuestos nitrogenados. Utilizan como fuente de energía, carbohidratos que toman del suelo, pero toman el nitrógeno directamente del aire. El nitrógeno se combina dentro del protoplasma celular y luego se libera en forma de nitratos u otros compuestos. La forma ovalada puede ser debida principalmente a la acumulación de glóbulos grandes de grasa dentro de una célula madura (Anónimo, sf.).

U. *Lactobacillus acidophilus*

Según Wikimedia Foundation (2006), la clasificación de *Lactobacillus acidophilus* es la siguiente:

Reino:	Bacteria
Division:	Firmicutes
Clase:	Bacilli
Orden:	Lactobacillales
Familia:	Lactobacillaceae
Genero:	<i>Lactobacillus</i>

Son bacilos microaerófilos, Gram positivos y catalasa negativos. Estos organismos forman ácido láctico como producto principal de la fermentación de los azúcares. Los Lactobacilos homofermentativos dan lugar a ácido láctico como producto principal de fermentación. Este grupo está integrado por *Lactobacillus caucasicus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus delbrueckii*. Los Lactobacilos heterofermentativos producen además de ácido láctico, dióxido de carbono, etanol y otros productos volátiles; *Lactobacillus fermenti* es heterofermentativo y es capaz además de crecer favorablemente a temperaturas elevadas 45 °C, 113 °F.

Este organismo, cultivado por primera vez en 1900, a partir de heces de lactante, ha sido aislado del intestino de casi todos los mamíferos, muchos otros vertebrados y algunos invertebrados. Su cantidad aumenta en el intestino cuando aumenta el contenido de carbohidratos en la dieta; pueden ser predominantes cuando se ingiere una dieta láctea. Estos bacilos, bastante gruesos y de longitud variable, se disponen aislados, a pares frecuentemente algo flexionados en la unión, y en empalizadas. Las cadenas largas y las formas filamentosas no son raras.

Los cultivos jóvenes se tiñen uniformemente Gram positivos; los cultivos viejos, a menudo muestran coloración listada o bipolar y pueden decolorarse fácilmente. Las colonias, generalmente pequeñas, pueden variar en su forma: de la opaca, redonda y lisa a la aplanada, translúcida e irregular, frecuentemente con aspecto de cristal. Las

reacciones de fermentación son variables, pero la mayor parte de cepas producen ácido pero no gas, a partir de glucosa, lactosa, maltosa y sacarosa y coagulan la leche en 48 horas (Castillo, sf.).

El bacilo de Döderlein (1892), citado por Castillo (sf.), es un miembro común de la flora vaginal, que se cree ayuda a las defensas naturales contra la infección por contribuir a la acidez de las secreciones vaginales, parece ser idéntico al *Lactobacillus acidophilus*.

V. *Saccharomyces cerevisiae*

Según Wikimedia Foundation (2006), este organismo se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Fungi
Filo: Ascomycota
Clase: Hemiascomycetes
Orden: Saccharomycetales
Familia: Saccharomycetaceae
Género: *Saccharomyces*
Especie: *cerevisiae*

Es un hongo unicelular. Se trata de un tipo de levadura, también conocida como levadura de panadería o de la cerveza. Se divide por gemación y puede tener una reproducción asexual cuando se encuentra en su forma haploide, y de manera sexual cuando a partir de un cigoto se forma un asca que contiene ocho ascosporas haploides (Wikimedia Foundation, 2006).

Es un hongo levaduriforme que presenta células alargadas, globosas a elipsoidales con gemaciones o blastoconidios multilaterales (de 3 a 10 x 4,5 a 1 μm). Ascosporas con hasta cuatro ascosporas esféricas o elipsoides y de pared lisa en su interior, es un hongo ambiental común y es un componente transitorio de las microbiotas digestiva y cutánea humanas. Se utiliza ampliamente en la elaboración de vino, cerveza, pan y otros alimentos (Anónimo, sf.).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación se realizó en los terrenos de propiedad del Ing. For. Aníbal Pacheco Vila, ubicado en la Parroquia San Carlos del Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, en las Coordenadas UTM: E 674250 y N 9877200 coordenadas geográficas 01°06'38" de Latitud Sur y 79°26'02" Longitud Oeste.

En el Cuadro 3, se muestran las características edafoclimáticas del campo experimental.

Cuadro 3. Características edafoclimáticas del campo experimental

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Altitud	75 msnm
Precipitación promedio anual	1533 mm
Temperatura media anual	24.5° C
Humedad relativa media	85.1%
Heliofanía	7.52 horas / día
Zona ecológica	bh – T
Topografía	Regular
Textura del suelo	Franco – limoso
pH	Ligeramente ácido o neutro

Fuente. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2004

B. RECURSOS EMPLEADOS

1. Material vegetativo

- Biomasa foliar de *Gmelina arborea*

2. Reactivos

- Bacton
- Regulador de pH

3. De oficina

- Computadora
- Papelería

4. De campo

- Kit de trabajo
- Plástico negro
- GPS
- Formulario de campo
- Balanza de capacidad de 40 Kg.

5. De laboratorio

- Análisis de tejidos (inicial), hojas de Melina
- Análisis de abono orgánico del producto obtenido

6. Especificaciones técnicas del producto

Nombre comercial: BACTON, el cual posee los siguientes microorganismos:

Azospirillum brasilense: Cuarenta millones UFC/ml de producto comercial. 5%

Azotobacter chroococcum: Treinta millones UFC/ml de producto comercial. 5%

Lactobacillus acidophilus: Cien millones UFC/ml de producto comercial. 5%

Saccharomyces cerevisiae: Cien mil UFC/ml de producto comercial. 5%

UFC: Unidades Formadoras de Colonias

C. TRATAMIENTOS

En el Cuadro 4, se indican los tratamientos estudiados

Cuadro 4. Esquema de los tratamientos

Tratamientos	Dosis de producto
T1	5 cm ³ en 3 litros de agua por cama
T2	10 cm ³ en 3 litros de agua por cama
T3	15 cm ³ en 3 litros de agua por cama
T4	20 cm ³ en 3 litros de agua por cama

D. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones, dando un total de 16 unidades experimentales. Cada una de las cuales se construyó con plástico negro, situadas a una distancia de 50 cm del suelo, evitando que los organismos presentes en él, interactúen con el tratamiento. En el Cuadro 5, se indica el esquema del ANDEVA.

Cuadro 5. Esquema de ANDEVA

FV	GL	SC	CM	FC	Ft
					0,05 0,01
Tratamientos	3	$\frac{\sum trat^2}{r} - C$	SC/GL	CMt/CMe	
Error	12	$SC_{tot} - SC_{trat}$	SC/GL		
Total	15	$\sum xi^2 - C$			

$$C = \frac{G^2}{n} \quad CV = \sqrt{\frac{CM_{error}}{\bar{x}}} * 100$$

E. METODOLOGÍA

Se establecieron las camas de descomposición, cuyas dimensiones fueron 1 m x 1 m, lo que da 1 m² de superficie, con 0.25 m de alto, obteniéndose un volumen de 0.25 m³, con 1 m de separación entre cama, dando un área experimental de 49 m² y un área útil de 16 m². Luego se procedió a recolectar la biomasa foliar de *Gmelina arborea* y se colocó 10 Kg de éste material en cada unidad experimental.

Se aplicó al inicio de la investigación en cada tratamiento, la dosis especificada en el Cuadro 4. Luego se realizó riegos cada 5 días a cada una de las unidades experimentales, con 1 litro de agua cuyo pH fue de 7.0, adecuado para los organismos utilizados. La presente investigación duró 203 días a partir de la del 29 de octubre del 2006 en la cual se aplicó las dosis a cada uno de los tratamientos.

Para medir la temperatura en cada uno de los tratamientos a las 06H00 se procedió a colocar cada 7 días un termómetro durante 2 minutos para, obtener de esta manera la lectura de la temperatura en cada tratamiento.

F. PARÁMETROS EVALUADOS

- 1. Peso en Kg**
- 2. Niveles de nutrientes**
- 3. Tiempo de producción del abono**
- 4. Temperatura**

IV. RESULTADOS

Al realizar todos los procedimientos de la presente investigación, los resultados obtenidos en las variables evaluadas fueron las siguientes:

A. PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO (PESO Kg)

En el análisis de varianza realizado se determinó que no hubo diferencias estadísticas significativas al 95 y 99% de confiabilidad que demuestre que alguno de los tratamientos incidió en la producción de abono orgánico, al final del proceso de biotransformación, se determinó un Coeficiente de Variación de 20.74%. (Cuadro 6).

Cuadro 6. ANDEVA de la producción de Abono Orgánico (Kg).

FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					0,05	0,01
Trat	3	0,135331	0,04511	0,29 NS	3,49	5,95
Error	12	1,881198	0,15677			
Total	15	2,016529				
CV		20,74 %				

En el Cuadro 7, se presentan los promedios de los tratamientos del peso en Kg. La producción de abono orgánico se encontró entre 1.85 Kg en T2 y T4 y 2.06 Kg en T3.

Cuadro 7. Producción de Abono Orgánico (Kg) por tratamiento.

Tratamientos	Abono Orgánico (kg)
T1	1,86364 a
T2	1,85227 a
T3	2,06818 a
T4	1,85227 a

Tratamientos con letras iguales no difieren entre sí según la prueba de Duncan (P<5%).

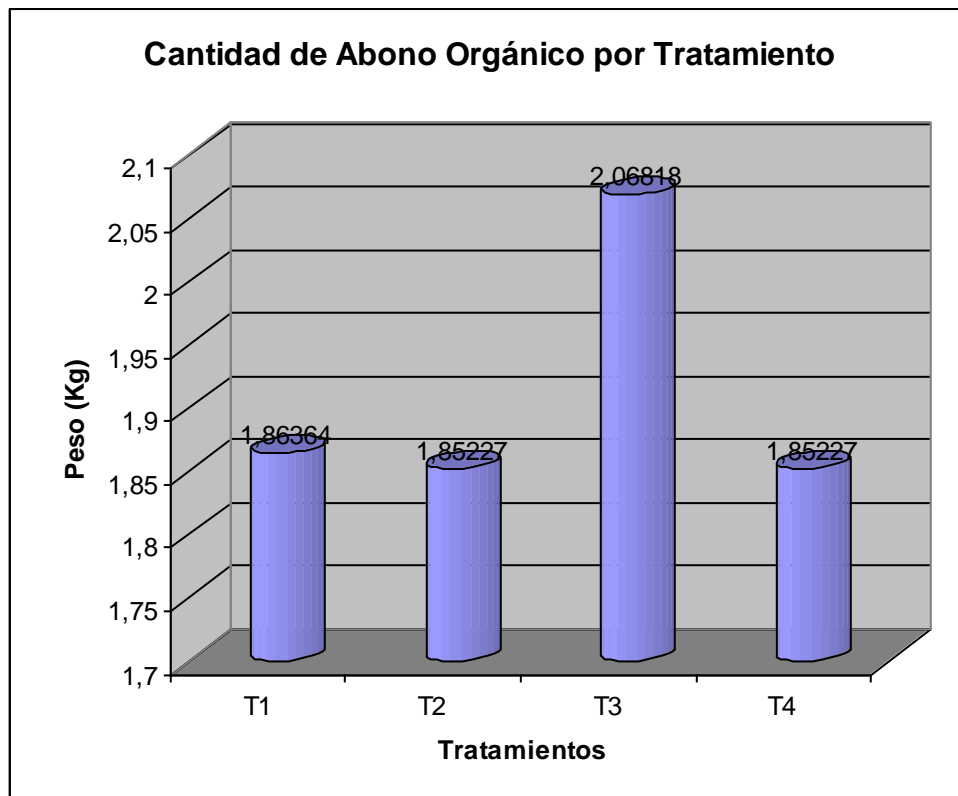


Figura 5. Producción de Abono Orgánico (Kg) por tratamiento

B. NIVELES DE NUTRIENTES

1. Nitrógeno (ppm)

En cuanto a la cantidad de Nitrógeno en el abono orgánico producido, el análisis de varianza determinó diferencia estadística significativa al 95% de confiabilidad, mientras que al 99% no hubo diferencia entre los tratamientos, con un Coeficiente de Variación de 27.85% (Cuadro 8).

Cuadro 8. ANDEVA de la cantidad de Nitrógeno (ppm) en el abono orgánico.

FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					0,05	0,01
Trat	3	2863,688	954,563	4,25*	3,49	5,95
Error	12	2694,75	224,563			
Total	15	5558,438				
CV	27,85 %					

En el Cuadro 9, se presentan los promedios de Nitrógeno por tratamiento en ppm. Los valores estuvieron entre 38.00 y 75.00 ppm en el T3 y T4 respectivamente.

Cuadro 9. Cantidad de Nitrógeno (ppm) en el abono orgánico por tratamiento.

Tratamientos	Nitrógeno (ppm)
T1	52,25 b
T2	50,00 b
T3	38,00 c
T4	75,00 a

Tratamientos con letras iguales no difieren entre sí según la prueba de Duncan ($P < 5\%$).

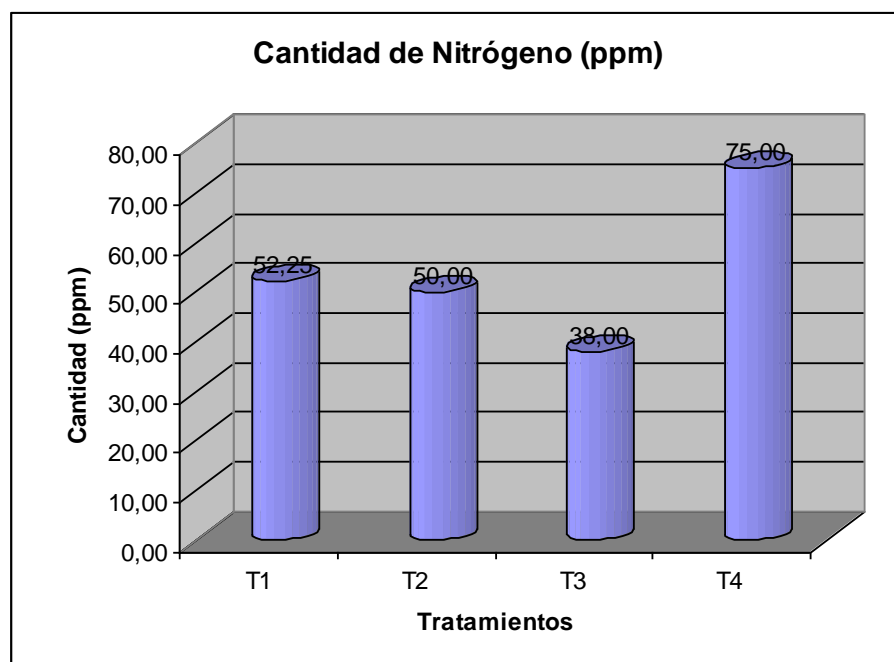


Figura 6. Cantidad de Nitrógeno (ppm) en el abono orgánico por tratamiento.

2. Fósforo (ppm)

De acuerdo al análisis de varianza, no se determinó diferencias estadísticas significativas al 95 y 99% de confiabilidad, en la cantidad de fósforo por tratamiento, con un Coeficiente de Variación de 7.89% (Cuadro 10).

Cuadro 10. ANDEVA de la cantidad de Fósforo (ppm) en el abono orgánico.

FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					0,05	0,01
Trat	3	2846,188	948,729	3,24 NS	3,49	5,95
Error	12	3511,25	292,604			
Total	15	6357,438				
CV	7,89 %					

En el Cuadro 11, se presentan los promedios de fósforo en cada uno de los tratamientos estudiados, los valores se encontraron entre 200.75 y 237 ppm en T4 y T2 respectivamente.

Cuadro 11. Cantidad de Fósforo (ppm) en el abono orgánico por tratamiento.

Tratamientos	Fósforo (ppm)
T1	214,75 a
T2	237,75 a
T3	213,50 a
T4	200,75 a

Tratamientos con letras iguales no difieren entre sí según la prueba de Duncan ($P < 5\%$).

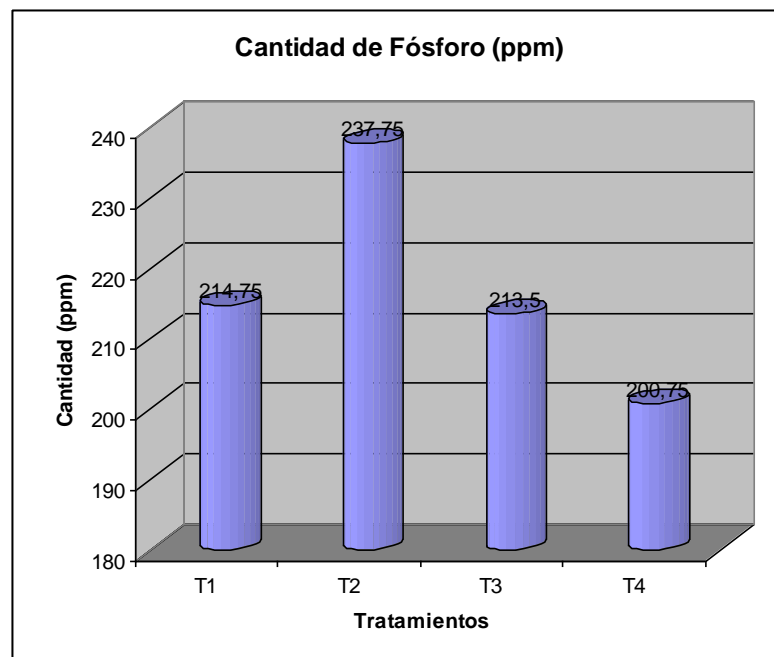


Figura 7. Cantidad de Fósforo (ppm) en el abono orgánico por tratamiento.

3. Potasio (meq/100 ml)

Para la cantidad de Potasio en el abono orgánico, el análisis de varianza efectuado no determinó diferencias estadísticas significativas al 95 y 99% de confiabilidad, con un Coeficiente de Variación de 22.40% (Cuadro 12).

Cuadro 12. ANDEVA de la cantidad de Potasio (meq/100 ml) en el abono orgánico.

FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					0,05	0,01
Trat	3	42,19323	14,0644	0,32 NS	3,49	5,95
Error	12	522,8405	43,57			
Total	15	565,0338				
CV	22,40 %					

En el Cuadro 13, se presentan los promedios de Potasio producido en cada uno de los tratamientos estudiados, los valores se estuvieron entre 27.51 y 31.27 meq/100ml en el T3 y T4 respectivamente.

Cuadro 13. Cantidad de Potasio (meq/100 ml) en el abono orgánico por tratamiento.

Tratamientos	Potasio (meq/100 ml)
T1	28,21 a
T2	30,84 a
T3	27,51 a
T4	31,27 a

Tratamientos con letras iguales no difieren entre sí según la prueba de Duncan (P<5%).

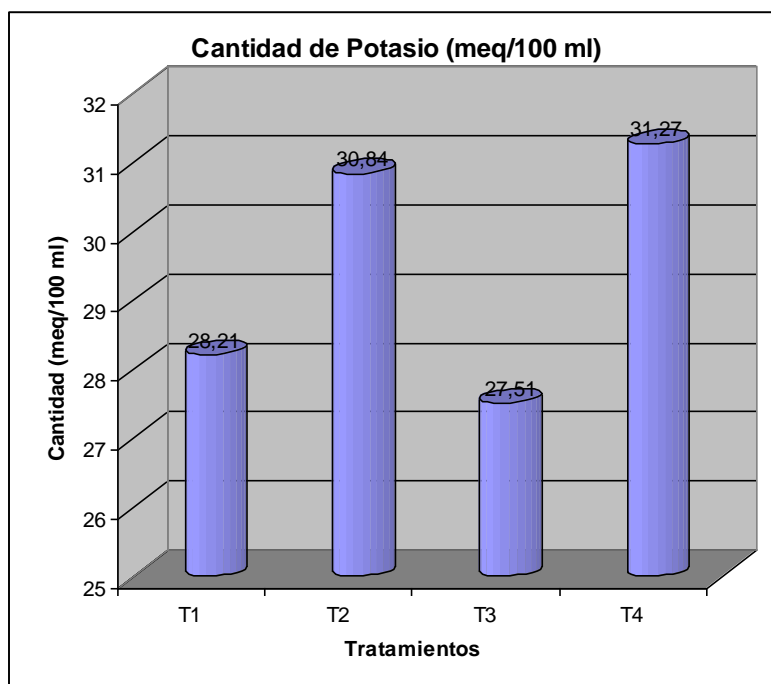


Figura 8. Cantidad de Potasio (meq/100 ml) en el abono orgánico por tratamiento.

4. Calcio (meq/100 ml)

Al realizar el análisis de varianza de la cantidad de Calcio existente en el abono orgánico producido, se determinó diferencia estadística significativa al 95% de confiabilidad, mientras que al 99% no existió diferencia entre los tratamientos, con un Coeficiente de Variación de 8.52% (Cuadro 14).

Cuadro 14. ANDEVA de la cantidad de Calcio (meq/100 ml) en el abono orgánico.

	FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
						0,05	0,01
Trat		3	65	21,6667	3,61*	3,49	5,95
Error		12	72	6			
Total		15	137				
CV		8,52	%				

En el Cuadro 15, se presentan los promedios de Calcio producido en cada uno de los tratamientos estudiados. La cantidad de calcio se encontró entre 26.5 y 32.0 meq/100ml en el T3 y T4 respectivamente.

Cuadro 15. Cantidad de Calcio (meq/100 ml) en el abono orgánico por tratamiento.

Tratamientos	Calcio (meq/100ml)
T1	28,0 b
T2	28,5 b
T3	26,5 c
T4	32,0 a

Tratamientos con letras iguales no difieren entre sí según la prueba de Duncan ($P < 5\%$).

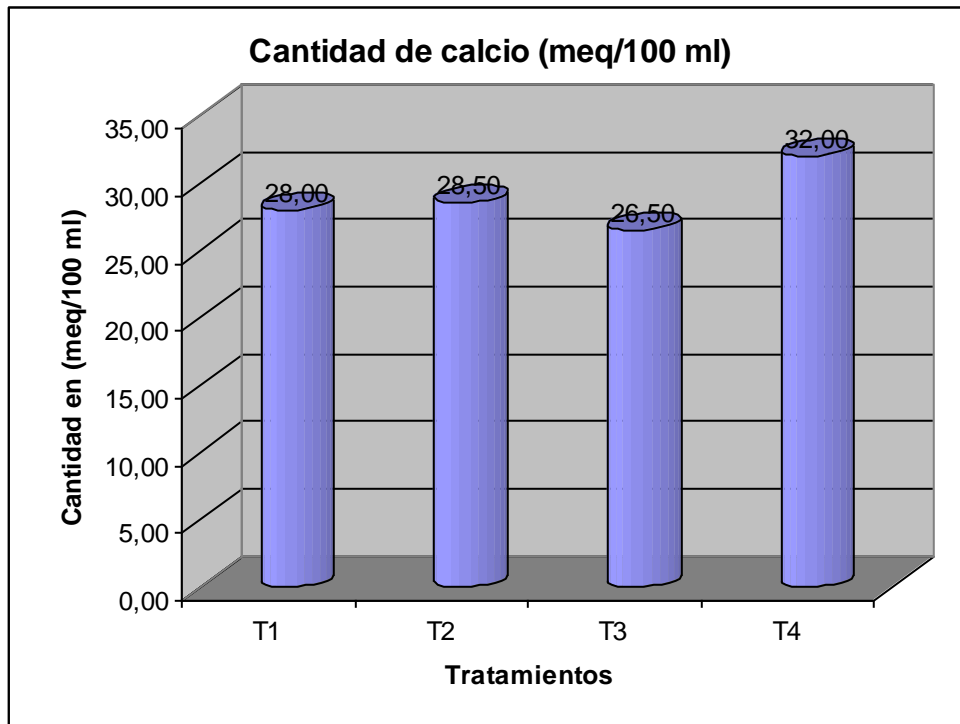


Figura 9. Cantidad de Calcio (meq/100 ml) en el abono orgánico por tratamiento.

5. Magnesio (meq/100 ml)

No se determinaron diferencias estadísticas significativas al 95 y 99% de confiabilidad, en la cantidad de magnesio existente en el abono orgánico producido, con un Coeficiente de Variación de 24.43% (Cuadro 16).

Cuadro 16. ANDEVA de la cantidad de Magnesio (meq/100 ml) en el abono orgánico.

FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					0,05	0,01
Trat	3	0,7025	0,23417	0,07 NS	3,49	5,95
Error	12	37,515	3,12625			
Total	15	38,2175				
CV	24,43 %					

En el Cuadro 17, se presentan los promedios de Magnesio producido en cada uno de los tratamientos estudiados. Los valores del Magnesio se encontraron entre 6.97 y 7.50 meq/100ml en T3 y T4 respectivamente.

Cuadro 17. Cantidad de Magnesio (meq/100 ml) en el abono orgánico por tratamiento.

Tratamientos	Magnesio (meq/100ml)
T1	7,10 a
T2	7,37 a
T3	6,97 a
T4	7,50 a

Tratamientos con letras iguales no difieren entre sí según la prueba de Duncan ($P < 5\%$).

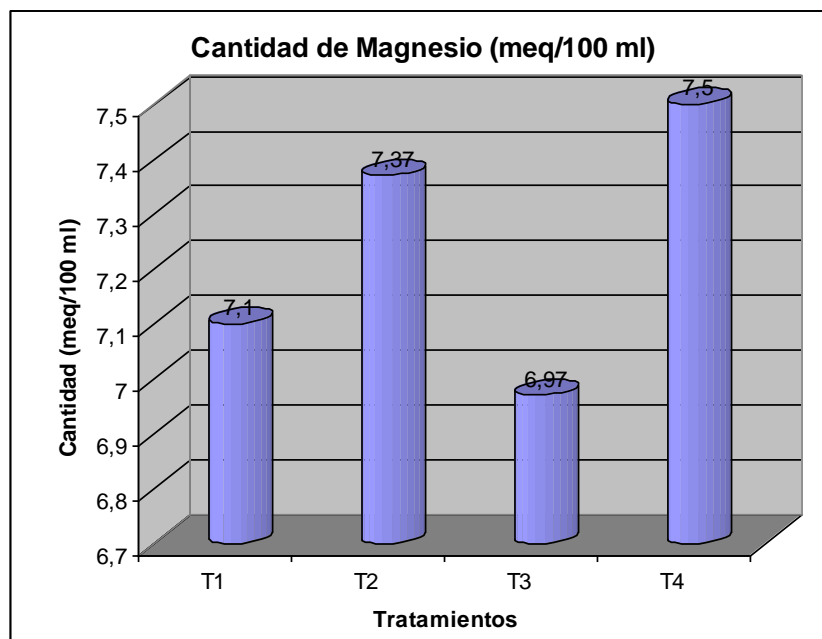


Figura 10. Cantidad de Magnesio (meq/100 ml) en el abono orgánico por tratamiento.

En el Cuadro 18, se observa que el pH en el T1 va desde ligeramente alcalino (LAI) a alcalino (Al); en el T2 está de ligeramente alcalino a medianamente alcalino (MeAl)); en el T3 se encuentra de alcalino a prácticamente neutro (PN) y el T4 se encuentra de medianamente alcalino a alcalino.

Cuadro 18. Rango del pH por tratamiento.

Tratamiento	Rango
T1	LAI - Al
T2	LAI - MeAl
T3	Al - PN
T4	MeAl - Al

C. TIEMPO DE PRODUCCIÓN DEL ABONO

Todos los tratamientos tuvieron el mismo tiempo de duración, que comprende un periodo de 203 días hasta el momento de ser pesados y tomada sus muestras para el análisis de laboratorio.

Cuadro 19. Tiempo de producción del abono en días.

Tratamientos	Tiempo en días
T1	203
T2	203
T3	203
T4	203

D. TEMPERATURA PRODUCIDA EN LA BIOTRANSFORMACIÓN.

Durante 203 días se receptaron las temperaturas promedio por tratamiento, siendo el T3 con 24.02 °C el que alcanzó el mayor valor y el T2 con 23.86 °C registró la menor temperatura durante este proceso (Figura 11).

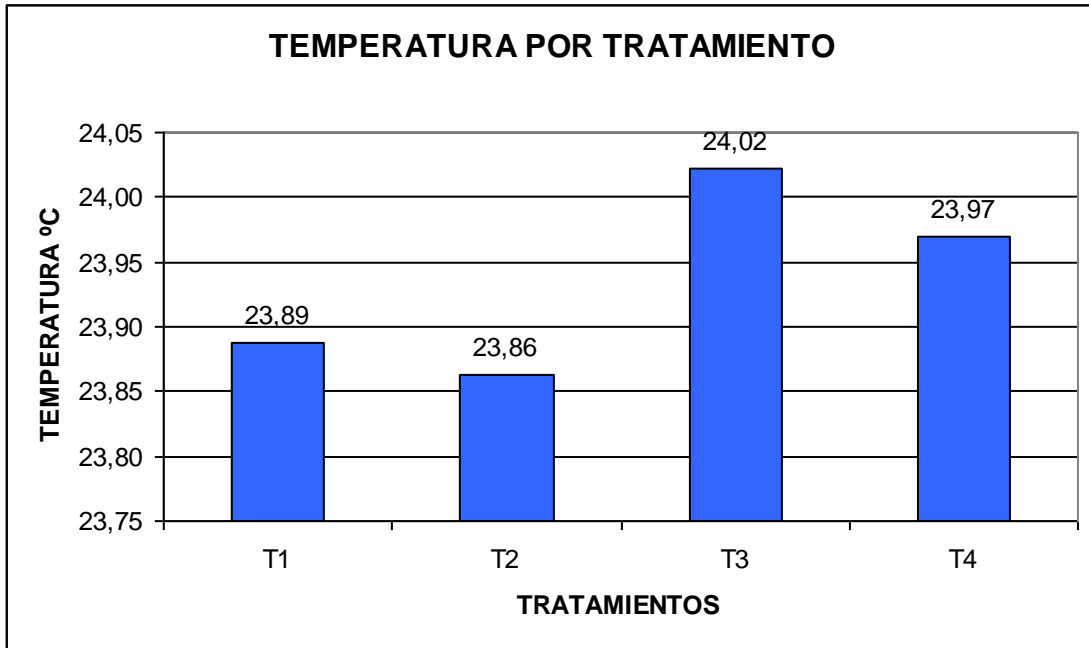


Figura 11. Promedio de las temperaturas en los tratamientos durante los 203 días.

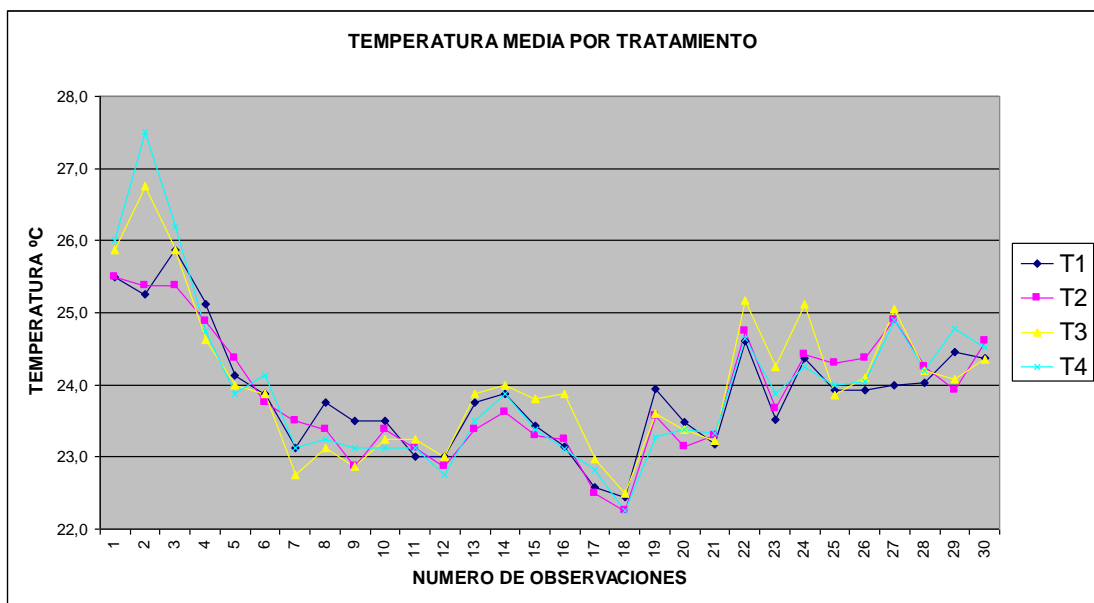


Figura 12. Temperaturas promedio por periodos de 7 días en cada tratamiento, observadas durante el proceso de investigación.

V. DISCUSIÓN

La temperatura obtenida en el proceso de biotransformación no fue de 27.5 °C en el T4 a los 7 días (Anexo 2), no obstante Silva (sf.), en sus investigaciones demostró que la descomposición de residuos orgánicos, ésta variable no superó los 60 °C; por su parte Zambrano y Ortiz (2006), determinaron mediante el método de la lombricultura, que la descomposición de residuos sólidos provenientes de los mercados, la temperatura máxima fue de 28.3 °C.

Se pudo observar también que a los 119 días la temperatura tuvo un severo descenso hasta llegar a 22.3 °C en el T4 y T2, luego se incrementó hasta estabilizarse en 24.5 °C, a los 203 días (Anexo 2); mientras que Zambrano y Ortiz (2006), en sus estudios comprobaron que la temperatura comenzó a elevarse de 26,6 °C, llegando hasta 28.3 °C, para después estabilizarse en 26.7 °C.

Se estableció tres fases en el proceso de descomposición; la primera fase en donde la temperatura alcanzó su mayor valor de 27.5 °C; la segunda fase donde tuvo un marcado descenso la temperatura hasta llegar a los 22.5 °C y la tercera fase donde la temperatura se estabilizó hasta llegar a un promedio de 24.5 °C, que es la fase de maduración del compost, lo cual efectivamente determinó Silva (sf.), es decir que la primera fase esta entre el primero y tercer día, lo cual concuerda con esta investigación; pero en la segunda fase no se comportó igual que los resultados de esta investigación, debido a que la temperatura descendió hasta enfriarse. La tercera fase determinada por este autor es similar a la obtenida, ya que se estabiliza la temperatura para su proceso de maduración.

Los tratamientos utilizados no tuvieron influencia en el tiempo de descomposición del material foliar de Melina, debido a que todas las camas presentaron el mismo periodo de tiempo durante el proceso de biotransformación.

En lo que respecta a los niveles de nutrientes, éstos no presentaron diferencias estadísticas significativas en la cantidad de P, K, y Mg. No obstante, en el N y Ca, si existió diferencia estadística significativa ($P < 5\%$), determinándose que respecto al Nitrógeno, el mejor tratamiento fue el T4 y los tratamientos T1 y T2 fueron estadísticamente iguales, mientras que el menor entre éstos fue el T3. En cuanto al

Calcio el mejor tratamiento fue el T4; T1 y T2 fueron estadísticamente iguales, mientras que T3 fue el más bajo entre los tratamientos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. CONCLUSIONES

- Se determinó que la temperatura máxima empleada por los microorganismos para una completa biotransformación fué de 27.5 °C y la mínima en la fase de enfriamiento fué de 22.3 °C, lo que puede deberse al material foliar utilizado y al concentrado microbiológico aplicado.
- Se pudo establecer tres fases para la formación del compost, debido al tipo de bacterias utilizadas, y al proceso de compostaje utilizado, siendo un factor acelerante en el proceso normal de biotransformación.
- Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio demostraron que las cantidades de nutrientes se ubicaron en niveles altos en todas las unidades experimentales, a excepción del T1R3, T3R1, T3R3 y T4R1, en donde el Nitrógeno estuvo en niveles medios.
- El peso del abono orgánico producido no presentó diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.
- Las dosis de Bacton utilizadas causaron diferencias estadísticas significativas en la cantidad de N y Ca existentes en el abono orgánico.
- En vista de que no se determinaron diferencias estadísticas significativas en el peso de abono orgánico producido por cada uno de los tratamientos, se rechaza la hipótesis: “Al menos uno de los tratamientos es más eficiente en el proceso de biotransformación”.
- Como se produjeron diferencias estadísticas significativas en la cantidad de N y Ca entre tratamientos, se rechaza la hipótesis: “No existe diferencia entre los tratamientos en los niveles de N, P, K, Ca y Mg”.

B. RECOMENDACIONES

- Se recomienda someter el material foliar de otras especies forestales a estos tratamientos con el fin de producir abonos orgánicos.
- Realizar pruebas de descomposición con el resto del árbol de *Gmelina arborea*, para determinar tiempo y calidad del abono.
- Utilizar este proceso de biotransformación para el aprovechamiento de los residuos en los aserríos.
- Realizar pruebas de crecimiento en vivero utilizando el compost producido, para determinar el comportamiento inicial de las especies forestales con respecto a este material de descomposición.
- Realizar un análisis completo de laboratorio al compost producido en las futuras investigaciones, para de esta manera comprobar la cantidad de los demás nutrientes que se encuentren disponibles.
- Utilizar otros productos biotransformadores existentes en el mercado para compararlos con los resultados de esta investigación.

VII. RESUMEN

La presente investigación tuvo un tiempo de duración de 203 días. Los objetivos fueron: Determinar la cantidad de abono orgánico producido en cada uno de los tratamientos estudiados, determinar los niveles de N, P, K, Ca y Mg en cada uno de los tratamientos utilizados y determinar la eficiencia de los hongos y bacterias por tratamiento.

Los tratamientos utilizados fueron: T1 en la dosis de 5 cm³ de Bacton, T2 con 10 cm³, T3 con 15 cm³ y T4 con 20 cm³ todos estos diluidos en 1 litro de agua.

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron camas de descomposición, de 1 m x 1m y 25 cm de alto con un volumen de 0.25 m³. En cada unidad experimental se colocó 10 Kg de material foliar de Melina.

Se evaluó el Proceso de Biotransformación de Biomasa foliar de Melina mediante el uso de hongos y bacterias.

Las variables evaluadas fueron: peso de abono orgánico producido por cada tratamiento, niveles de N, P, K, Ca y Mg, temperatura y el tiempo de descomposición del material foliar.

La temperatura máxima empleada por los microorganismos fue de 27.5 °C y su temperatura mínima en la fase de enfriamiento fue de 22.3 °C. No se produjo diferencias estadísticas significativas en la producción de abono orgánico. Los tratamientos que produjeron Nitrógeno en niveles medios fueron el T1R3, T3R1, T3R3 y T4R1 y el tratamiento que produjo niveles de Nitrógeno y Calcio más elevados fue el T4. Los tratamientos restantes tuvieron niveles similares de Fósforo, Potasio y Magnesio.

Se determinó que los niveles de nutrientes producto del proceso de biotransformación, fueron estadísticamente iguales.

VIII. SUMMARY

The present investigation had a time of duration of 203 days. The objectives were: To determine the quantity of fertilizer organic in each one of the studied treatments, to determine the levels of N, P, K, Ca and Mg in each one of the utilized treatments and to determine the efficiency of the mushrooms and bacterias for treatment.

The utilized treatments were: T1 in the dose of 5 cm³ of Bacton, T2 with 10 cm³, T3 with 15 cm³ and T4 with 20 cm³ all these unthickened ones in 1 liter of water.

A Totally at Random Design was used, with four treatments and four repetitions. The experimental units were beds of decomposition, of 1 m x 1m and 25 cm of high with a volume of 0.25 m³. In each experimental unit 10 Kg was of material to foliate of Melina.

The Process was evaluated of Biotransformation of Biomass to foliate of Melina by means of the use of mushrooms and bacterias.

The valued variables were: I weigh of fertilizer organic by each treatment, levels of N, P, K, Ca and Mg, temperature and the time of decomposition of the material to foliate.

The maximum temperature used by the microorganisms was of 27.5 °C and its minimal temperature in the phase of cooling of 22.3 °C. No took place significant statistical differences in the production of fertilizer organic. The treatments that produced Nitrogen in levels means were the T1R3, T3R1, T3R3 and T4R1 and the treatment that it produced levels of Nitrogen and higher Calcium was the T4. The remaining treatments had similar levels of Match, Potassium and Magnesium.

It was determined that the levels of nutritious product of the process of biotransformation, they were statistically same.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, E. Díaz, S. Alessandrini, M. sf. Utilización racional de los residuos forestales (en línea). Consultado 1 de Mar. 2006. Disponible http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/003/y1237s/y1237s10.htm

Anónimo, sf. Hongos (en línea). Consultado el 6 de Jul. 2006. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos10/hongo/hongo.shtml>

Anonimo, sf. Disolución de gases. Volatilización. Disolución de compuestos orgánicos. Hidrólisis. Biotransformación de compuestos orgánicos Reacciones de complejación. Complejación orgánica. Transporte coloidal. Alteración de silicatos (en línea). Consultado el 6 de Jul. 2006. Disponible en <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ19.pdf>

Anónimo, sf. Fijación Biológica del N₂ (en línea). Consultado el 6 de Jul. 2006. Disponible en http://www.ugr.es/~gcootec/spanish/g3_lineas.html

Anónimo, sf. *Saccharomyces cerevisiae* (en línea). Consultado el 2 de Mar. 2006. Disponible en <http://hongos-alergenicos.reviberoammicol.com/files/039.PDF>

Anónimo, sf. Microorganismos presentes en BIOBAC-AG (en línea). Consultado el 2 de Mar. 2006. Disponible en <http://www.bioland.cl/mo-biobac.htm>

Anónimo, sf. Bacterias Descomponedoras (en línea). Consultado el 4 de Mar. 2006. Disponible en <http://www.csgastronomia.edu.mx/profesores/calimentos/microbiologia/semana%204.htm>

Anónimo, sf. Descomposición de la materia orgánica (en línea). Consultado el 4 de Mar. 2006. Disponible en http://danival.org/100%20biolomar/3600micromar/mm_200_ciclos_3.html

- Anónimo, 2005. Nutrición mineral en las plantas (en línea). Consultado el 29 de Junio del 2006. Disponible en <http://www.elergonomista.com/fisiologiavegetal/mineral.htm>
- Aula del Mundo, 2001. Diccionario de Medio Ambiente (en línea). Consultado el 5 de Jul. 2006. Disponible en <http://aula.el-mundo.es/aula/noticia.php/2001/10/30/aula1004374142.html>
- Bashan, Y. Holguin, G. 1997. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Can. J. Microbiol; No (Vol 1): 103-121.
- Castillo, J. sf. Lactobacilos (en línea). Consultado el 2 de Mar. 2006. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos15/lactobacilos/lactobacilos.shtml#ACIDO>
- Chávez, M. 2003. Métodos Biotecnológicos para la Producción de Metabolitos Secundarios "Biotransformaciones" (en línea). Consultado el 29 de Jun. 2006. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos20/biotransformaciones/biotransformaciones.shtml>
- Curá, J. 2005. Utilidad de las bacterias promotoras del crecimiento y fijadoras de nitrógeno en el cultivo del arroz durante las primeras etapas de desarrollo (en línea). Consultado el 10 Jul. 2006. Disponible en <http://www.flar.org/pdf/foro-pdf-marzo-05/bacteriasfijadoras-nitrogeno.pdf>
- Gillivod, N. sf. Formación del humus (en línea). Consultado el 5 de Jul. 2006. Disponible en <http://infomorelos.com/ecologia/humus.html>
- Iáñez, E. 1998. Curso de Microbiología General (en línea). Consultado el 5 de Jul. 2006. disponible en http://fai.unne.edu.ar/biologia/microgeneral/micro-ianez/16_micro.htm
- Korsten, L. De Villiers, E. Wehner, R. Kotzet, J. 1997. Field spray of *Bacillus subtilis* and fungicides for control of preharvet fruit disease of avocado in South Africa. Plant Disease No (Vol 2) 455-459.

- Obregón, C. sf. Gmelina arborea Versatilidad, Renovación y Productividad Sostenible para el Futuro (en línea). Consultado 29 de Jun. del 2006. Disponible en <http://www.revista-mm.com/rev50/especie.pdf>
- Ramos, M. 1992. Tesis Doctoral en Ciencias Biológicas. Genética de la Regulación de la Asimilación de Nitrato en *Azotobacter vinelandii*. Sevilla, España. p.14
- Ricaurte, S. 2005. Compostaje en las granjas avícolas (en línea). Consultado el 29 de Jun. 2006. Disponible en http://www.engormix.com/compostaje_granjas_avicolas_s_articulos_534_AVG.htm
- Rojas, F. Arias, D. Moya, R. Meza, A. Murillo, O. Arguedas, M. 2004. manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica (en línea). Consultado 5 de Jul. del 2006. Disponible http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf
- Saura, G. Fernández, R. 2003. Fijador de Nitrógeno *Azospirillum sp* (en línea). Consultado el 5 de Jul. 2006. Disponible en <http://www.fiagro.org.sv/archivos/0/431.pdf>
- Silva, M. sf. manejo de suelo y fertilidad en sistemas de produccion limpia (en línea). Consultado el 6 de Mar. 2006. Disponible en <http://www.uvademesa.cl/CompostSueloVivoMSilva.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia, 2005. dominio bacteria (en línea). Consultado el 5 de Jul. 2006. Disponible en http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000024/lecciones/cap01/01_03_03.htm
- University of Arizona, 2004. Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental (en línea). Consultado el 29 de Julio del 2006. Disponible en <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c2-3-4-1.html>

University of Arizona, 2004. Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental (en línea). Consultado el 29 de Julio del 2006. Disponible en <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c2-3-4-2.html>

Wikimedia Foundation, 2006. Bacteria (en línea). Consultado el 5 de Jul. 2006. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Bacteria>

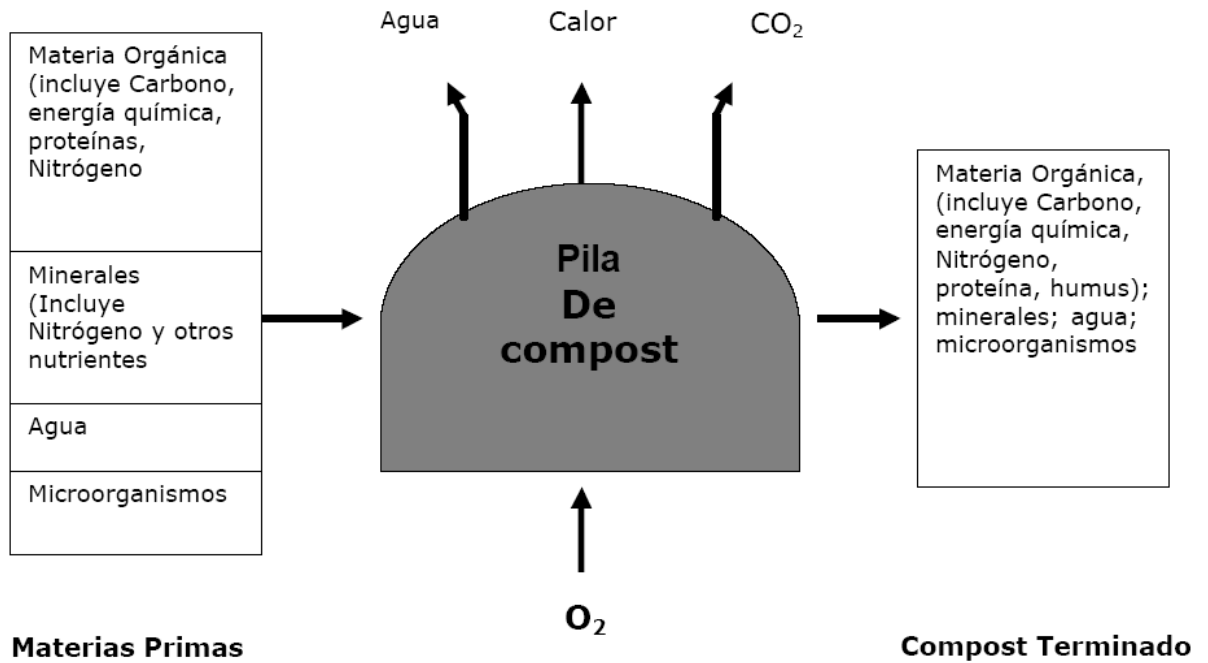
Wikimedia Foundation, 2006. Hongo (en línea). Consultado el 6 de Jul. 2006. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Hongo>

Wikimedia Foundation, 2006. Lactobacillus (en línea). Consultado el 30 de Junio del 2006. Disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/Lactobacillus>

Wikimedia Foundation, 2006. Saccharomyces cerevisiae (en línea). Consultado el 2 de Mar. 2006. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Saccharomyces_cerevisiae

Zambrano, J.; Ortiz, V. 2006. Tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del mercado de minoristas 23 de septiembre. Tesis de Ing. Gest. Amb. Quevedo, EC. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. p. 91

ANEXO 1. Diagrama de biotransformación de materia orgánica (Compost)



Fuente: (Silva, M. sf.)

ANEXO 2. Promedio de temperaturas por tratamiento

PROMEDIO DE TEMPERATURAS POR TRATAMIENTO					
Periodo	Nº Observ.	T1	T2	T3	T4
1 días	1	25,5	25,5	25,9	26,0
7 días	2	25,3	25,4	26,8	27,5
14 días	3	25,9	25,4	25,9	26,2
21 días	4	25,1	24,9	24,6	24,8
28 días	5	24,1	24,4	24,0	23,9
35 días	6	23,9	23,8	23,9	24,1
42 días	7	23,1	23,5	22,8	23,1
49 días	8	23,8	23,4	23,1	23,3
56 días	9	23,5	22,9	22,9	23,1
63 días	10	23,5	23,4	23,3	23,1
70 días	11	23,0	23,1	23,3	23,1
77 días	12	23,0	22,9	23,0	22,8
84 días	13	23,8	23,4	23,9	23,5
91 días	14	23,9	23,6	24,0	23,9
98 días	15	23,4	23,3	23,8	23,4
105 días	16	23,2	23,3	23,9	23,1
112 días	17	22,6	22,5	23,0	22,8
119 días	18	22,5	22,3	22,5	22,3
126 días	19	24,0	23,6	23,6	23,3
133 días	20	23,5	23,2	23,4	23,4
140 días	21	23,2	23,3	23,2	23,3
147 días	22	24,6	24,8	25,2	24,7
154 días	23	23,5	23,7	24,3	23,9
161 días	24	24,4	24,4	25,1	24,3
168 días	25	23,9	24,3	23,9	24,0
175 días	26	23,9	24,4	24,1	24,1
182 días	27	24,0	24,9	25,1	24,9
189 días	28	24,0	24,3	24,2	24,2
196 días	29	24,5	23,9	24,1	24,8
203 días	30	24,4	24,6	24,4	24,5

ANEXO 3. Datos de campo de temperatura en °C

DATOS DE CAMPO DE TEMPERATURA EN °C																
FECHA	T1 R1	T1 R2	T1 R3	T1 R4	T2 R1	T2 R2	T2 R3	T2 R4	T3 R1	T3 R2	T3 R3	T3 R4	T4 R1	T4 R2	T4 R3	T4 R4
29-Oct-06	25,5	25,0	25,0	26,5	27,0	25,0	25,5	24,5	27,0	26,0	25,0	25,5	26,0	26,0	26,5	25,5
05-Nov-06	27,5	25,0	24,5	24,0	25,0	25,0	27,5	24,0	29,5	25,0	25,5	27,0	26,0	27,0	29,0	28,0
12-Nov-06	26,0	29,0	24,5	24,0	24,0	25,0	28,5	24,0	27,0	27,5	24,0	25,0	25,0	25,5	25,5	28,8
19-Nov-06	25,5	25,5	25,0	24,5	24,5	24,5	25,5	25,0	25,0	24,5	24,5	24,5	24,5	25,0	24,5	25,0
26-Nov-06	24,5	24,0	24,0	24,0	24,5	24,5	24,5	24,0	24,0	24,0	23,5	24,5	23,0	25,0	24,0	23,5
03-Dic-06	23,5	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	23,0	23,0	23,5	25,0	24,0	24,0	23,5	24,5	24,5
10-Dic-06	22,5	23,5	23,0	23,5	23,0	23,5	23,5	24,0	23,0	23,0	22,5	22,5	22,5	23,5	23,0	23,5
17-Dic-06	23,5	25,0	23,0	23,5	23,5	23,0	23,0	24,0	22,5	24,0	23,0	23,0	22,5	24,0	24,0	22,5
24-Dic-06	23,5	24,0	23,0	23,5	23,0	22,5	23,0	23,0	22,5	23,0	23,0	23,0	23,0	23,5	23,0	23,0
31-Dic-06	23,0	24,5	23,5	23,0	23,0	24,0	23,5	23,0	23,0	24,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,5
07-Ene-07	23,0	23,0	23,0	23,0	22,5	23,5	23,5	23,0	23,0	24,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,5
14-Ene-07	23,0	23,0	23,0	23,0	22,5	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	22,0	23,0	23,0
21-Ene-07	24,0	23,5	24,0	23,5	23,5	23,5	23,0	23,5	23,5	23,5	25,0	23,5	24,0	22,5	24,0	23,5
28-Ene-07	24,0	24,0	24,0	23,5	24,0	24,0	23,0	23,5	23,5	24,0	25,0	23,5	24,0	23,5	24,0	24,0
04-Feb-07	23,5	23,5	23,5	23,2	23,5	23,5	23,0	23,2	23,5	23,5	25,0	23,2	23,5	23,0	23,5	23,5
11-Feb-07	23,5	23,1	23,0	23,0	23,5	23,5	23,0	23,0	23,5	23,5	25,5	23,0	23,2	23,0	23,1	23,1
18-Feb-07	23,0	22,8	22,5	22,0	23,0	22,5	22,5	22,0	23,0	23,0	23,4	22,5	23,0	22,5	23,0	22,8
25-Feb-07	23,0	22,8	22,0	22,0	22,5	22,0	22,5	22,0	22,5	22,0	23,0	22,5	22,5	22,0	22,5	22,0
04-Mar-07	24,1	24,6	23,6	23,5	24,0	23,1	23,8	23,4	23,0	23,0	24,9	23,5	23,0	23,8	23,1	23,2
11-Mar-07	23,0	23,4	23,5	24,0	23,0	23,0	23,1	23,5	22,8	23,0	24,2	23,5	23,2	23,0	23,5	23,8
18-Mar-07	23,0	23,2	23,0	23,5	24,0	23,0	23,0	23,2	23,0	23,1	23,8	23,0	23,1	24,0	23,0	23,2
25-Mar-07	24,8	24,0	25,0	24,6	26,0	24,2	24,8	24,0	23,9	25,1	26,7	25,0	23,9	25,4	24,8	24,5
01-Abr-07	23,2	23,0	24,1	23,8	24,5	23,2	23,0	24,0	23,0	24,0	25,2	24,8	23,0	24,5	24,0	24,0
08-Abr-07	24,5	24,0	24,9	24,1	24,1	24,4	25,0	24,2	24,0	25,5	26,2	24,8	24,1	25,0	24,0	23,9
15-Abr-07	24,1	24,0	23,6	24,0	24,5	25,1	23,8	23,8	24,0	24,0	24,0	23,4	23,8	24,5	23,5	24,2
22-Abr-07	23,9	24,0	23,8	24,0	24,8	24,5	24,2	24,0	24,3	24,0	24,2	23,9	24,0	24,0	24,0	24,2
29-Abr-07	23,5	24,5	24,0	24,0	24,8	24,8	25,2	24,8	25,0	26,2	24,0	25,0	25,2	25,1	24,8	24,5
06-May-07	23,8	23,9	24,9	23,5	24,0	24,4	24,8	23,8	24,0	24,6	23,2	25,0	24,0	24,6	24,2	24,0
13-May-07	23,8	25,0	25,0	24,0	23,9	23,9	24,0	23,9	24,5	24,0	23,2	24,6	24,6	24,0	24,5	26,0
20-May-07	24,0	24,8	24,4	24,3	24,6	24,8	24,7	24,3	24,5	24,0	24,6	24,3	24,7	24,0	24,6	24,8
Suma	717,7	723,6	714,3	711,0	718,7	714,9	721,4	708,6	718,0	721,5	726,1	717,0	712,3	719,4	721,1	723,5
Promedio	23,9	24,1	23,8	23,7	24,0	23,8	24,0	23,6	23,9	24,1	24,2	23,9	23,7	24,0	24,0	24,1

ANEXO 4. Porcentaje de conversión de material foliar en compost

Porcentaje de conversión de material foliar en compost			
Peso inicial Kg	Tratamiento	Peso final Kg	%
10	T1	1,86	18,60
10	T2	1,85	18,50
10	T3	2,06	20,60
10	T4	1,85	18,50

ANEXO 5. Formulario de campo

ANEXO 6. Temperatura por tratamiento y repetición

ANEXO 7. Reporte de Análisis de Suelo

ANEXO 8. Ubicación del área experimental

ANEXO 9. Distribución de las camas de descomposición

Temperatura por Tratamiento y Repetición

