

**FERMENTACIÓN ACELERADA DE LA POLLINAZA CON
MICROORGANISMOS OXIGÉNICOS PARA LA FORMULACIÓN Y
PRODUCCIÓN DE DIETAS ALIMENTICIAS MEJORADAS PARA GANADO
DE ENGORDE**

MARÍA ANDREA ZARATE AFANADOR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**

**FERMENTACIÓN ACELERADA DE LA POLLINAZA CON
MICROORGANISMOS OXIGÉNICOS PARA LA FORMULACIÓN Y
PRODUCCIÓN DE DIETAS ALIMENTICIAS MEJORADAS PARA GANADO
DE ENGORDE**

MARÍA ANDREA ZARATE AFANADOR

Proyecto de Grado para optar al título de Bióloga

**Directora
Mariela Carreño de Arango
MSc. Microbiología Industrial**

**Codirectora
Yiseth Caicedo Rivera
Bióloga. Especialista en Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**

A mi Dios,
por permitirme llegar a la meta
con fortaleza y empeño.

A mi esposo Carli,
por su constante apoyo y paciencia
aunque por alcanzar este sueño
todo se haya terminado.
A mis príncipes Daniela y Juan David
por tantos momentos sacrificados y
por ser la razón para continuar.
Y en especial a mis Padres Hugo y Gloria,
por que a pesar de los sacrificios
siempre estuvieron allí cuando más
los necesite para lograr culminar esta meta.

María Andrea

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Mariela Carreño, del Centro de Innovación en Biotecnología Industrial y Biología Molecular (CINBIN), por su gran orientación, apoyo y disponibilidad en la realización de éste proyecto; pero principalmente por su amistad.

A Yiseth Caicedo Rivera, Gerente de INVAGRIN, y Asesora en Residuos Sólidos y Producción más Limpia, por su colaboración, orientación, amistad pero sobre todo por permitirme demostrar mis conocimientos en el área ambiental.

Doctor José Urango Gerente Técnico INDUPOLLO por el apoyo financiero para llevar acabo el presente proyecto.

Al personal del Laboratorio de Calidad Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE), por su apoyo y acogida en está institución.

Al personal del Laboratorio de Microbiología del CINBIN por su apoyo para la realización de los análisis microbiológicos y especialmente a los Doctores Jorge y Mariela por su amistad y acogida como parte de esta gran familia

A los trabajadores de la finca “La Rosita”, a Rafa por su excelente colaboración, a Doña Petra, Don Rafael, Don Ramón, El Boca, Israel, por hacer mucho más fácil el trabajo en la finca.

A los profesores Jorge Hernández Torres y Gregorio Moreno, por su apoyo y amistad a lo largo de mi carrera.

A mis compañeros y amigos: Ana Bella, Claudia, Priscila, Lyda, Yira, Karen, Oscar, Lesly, Mónica, Lucio, Wilmer, Diego, Genis, Enrique Luis y Jesús Ortega por su amistad incondicional.

A Carlos Alberto por su amor, paciencia y porque de alguna u otra manera me dio fortaleza para seguir.

A mis hijitos Daniela Andrea y Juan David por ser la razón de mi existir.

A mis padres, a mis hermanos Juan Carlos y Hugo Ernesto, a Don Carlos, Doña Rosa, Rochi y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEORICO	4
1.1 POLLINAZA	4
1.1.1 Composición Química y Física de la pollinaza	5
1.1.2 Producción de Alimento a partir de pollinaza	8
1.2 FERMENTACIÓN	10
1.2.1 Fermentación Aerobia	10
1.2.2 Importancia de la elaboración y utilización del compost	11
1.2.3 Cuantificaciones biológicas de la fermentación aerobia	12
1.2.4 Parámetros importantes de control en el proceso de compostaje	15
1.2.5 Sistemas de compostaje	23
1.2.6 Precompostaje	26
1.2.7 Evaluación de la madurez del compost	28
1.2.7.1 Test de tipo físico	28
1.2.7.2 Test de tipo biológico	29
1.3 COMO DISEÑAR Y OPERAR UN SISTEMA DE COMPOSTAJE AEROBICO	30
1.3.1 Unidad de compostaje	21

1.3.2	Diseño del camellón o parva	31
1.3.3	El tiempo de compostaje	32
1.3.4	Área de compostaje	32
1.3.5	Preparación de las canchas	32
1.3.6	Dimensión de la cancha	33
1.4	LOS MICROORGANISMOS Y SU ACCIÓN METABÓLICA SOBRE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS	38
1.4.1	Metabolismo de los carbohidratos	38
1.4.2	Metabolismo de las proteínas	39
1.4.3	Metabolismo de los lípidos	40
1.5	PRINCIPIOS DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	41
1.5.1	Alimentación de rumiantes y monogástricos	44
1.5.2	Alimentos balanceados	46
1.6	SELECCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS ACELERADORES	51
1.6.1	Relación de las especies microbianas	51
1.6.2	Etapas del compostaje susceptibles a aceleración	51
1.6.3	Requerimientos enzimáticos de la biodegradación de residuos	52
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	54
2.1	Área de estudio	54
2.2	Metodología	54
2.2.1	Primera etapa (muestreo)	55
2.2.2	Caracterización de la pollinaza	55
2.2.2.1	Análisis físico-químico del sustrato	55

2.2.2.2 Análisis microbiológico	55
2.3 IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS EN MEDIOS SELECTIVOS Y DIFERENCIALES	61
2.4 SELECCIÓN DE MICROORGANISMOS OXIGÉNICOS ACELERADORES.	61
2.5 CURVA DE CRECIMIENTO DEL POOL DE MICROORGANISMOS Y BIOAUMENTACION	62
2.5.1 Equipos empleados en la curva de crecimiento	63
2.5.2 Determinación de la cinética de crecimiento	66
2.5.3 Inoculación	66
2.5.4 Cuantificación de la biomasa producida	67
2.5.5 Utilización en los residuos avícolas	67
2.5.5.1 Determinación de la dosificación adecuada del inóculo	67
2.5.5.2 Medición de variables durante el bioproceso.	68
2.6 ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL ALIMENTO	70
2.7 UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO Y FORMULACIÓN DE LA DIETA IDEAL	70
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
3.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUSTRATO	71
3.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	72
3.2.1 Calidad sanitaria.	72
3.2.2 Recuento de microorganismos benéficos	74
3.2.3 Aislamiento e identificación	76
3.3 SELECCIÓN DE MICROORGANISMOS ACELERADORES	81

3.4 CURVA DE CRECIMIENTO DEL POOL DE MICRORGANISMOS Y BIOAUMENTACIÓN	90
3.4.1 Pruebas preliminares.	90
3.4.2 Cinética de crecimiento	90
3.5 UTILIZACIÓN DE LOS MICRORGANISMOS SOBRE RESIDUOS AVÍCOLAS	92
3.5.1 Actuación de los microorganismos	92
3.6 UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO Y FORMULACIÓN DE LA DIETA IDEAL	96
4. CONCLUSIONES	104
5. RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1. Control de parámetros mediante sensores	19
Figura 2. Sistemas de compostaje con pilas volteadas y pilas estáticas aireadas	26
Figura 3. Ejemplo Unidad de Compostaje	31
Figura 4. Esquema de Distribución de Camellones y Parvas	33
Figura 5. Control de aireación y riego	34
Figura 6. Diagrama representativo de las etapas del bioproceso experimental.	57
Figura 7. Metodología de la caracterización microbiológica de la Pollinaza.	58
Figura 8. Montaje del Bio-reactor aireado tipo Batch	63
Figura 9. Baño Termostato	65
Figura 10. Agitación con placa	65
Figura 11. Cámara de Neubauer (40X)	65
Figura 12. Espectrofotómetro	65
Figura 13. Filtración al vacío	65
Figura 14 Centrifuga	65
Figura 15. Montaje para la realización de la curva de crecimiento del pool de microorganismos aceleradores	66
Figuras 16. Recuentos en cámara de Neubauer (40 X)	66
Figura 17 Esquema de pilas estáticas volteadas utilizadas en el	

Proceso	68
Figura 18. Motovolteador empleado en los volteos diarios	68
Figura 19. Variación de microorganismos patógenos a lo largo del proceso de fermentación	74
Figura 20. Crecimiento macroscópico de <i>Streptomyces</i> en Agar Caseína	75
Figura 21. Crecimiento macroscópico de <i>Lactobacillus</i> en Medio APT	75
Figura 22. Crecimiento macroscópico de <i>Azotobacter</i> . Medio LMA modificado	75
Figura 23. Crecimiento macroscópico de <i>Rhizobium</i> . Medio LMA para Rhizobium	76
Figura 24. Descripción macroscópica del cultivo de Bacterias Nitrificantes	76
Figura 25. Crecimiento macroscópico de <i>Pseudomonas</i> en Agar Cetrimide con Luz UV.	76
Figura 26. Aspecto macroscópico de <i>Bacillus subtilis</i> en Agar Kanamicina.	81
Figura 27. Aspecto macroscópico (AK) de <i>Bacillus Licheniformis</i>	82
Figura 28. Aspecto microscópico de <i>B. megaterium</i> en 100X con coloración de Gram	82
Figura 29. Aspecto macroscópico y microscópico de <i>Pseudomonas putida</i> .	83
Figura 30. Aspecto macroscópico y microscópico en 100X (coloración de Gram) de <i>Pseudomonas fluorescens</i> .	84
Figura 31. Aspecto macroscópico y microscópico en 100X (coloración de Gram) de <i>Pseudomonas cepacia</i> .	84
Figura 32. Aspecto macroscópico y morfología microscópica (100X) de <i>Klebsiella oxytoca</i>	85
Figura 33. Aspecto macroscópico y microscópico (100X) de <i>Serratia marcescens</i>	85

Figura 34. Aspecto macroscópico de <i>Alcaligenes denitrificans</i> en agar McK.	86
Figura 35. Aspecto macroscópico y microscópico de <i>Enterobacter agglomerans</i> .	86
Figura 36. Aspecto macroscópico y microscópico de <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	86
Figura 37. Aspecto microscópico de <i>Nocardia corallina</i>	87
Figura 38. Características del crecimiento macroscópico en medio YGC de <i>Curvularia spp</i>	88
Figura 39. Características del crecimiento macroscópico y microscópico de <i>Trichoderma víride</i> .	88
Figura 40. Aspecto macroscópico y microscópico de <i>Aspergillus penicillioides</i>	89
Figura 41. Características del crecimiento macroscópico en Agar Extracto de Malta (MEA) y microscópico a 40X de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	89
Figura 42. Curva de crecimiento del pool de microorganismos con aireación y agitación a 26°C.	91
Figura 43. Efecto de la temperatura en el compostaje natural y acelerado	93
Figura 44. Variación de pH en la fermentación natural y acelerado.	95
Figura 45. Ganado Cebú de aproximadamente 2 años de edad.	96
Figura 46. Disposición de alimento	97
Figura 47. Distribución de animales en los diferentes tratamientos	98
Figura 48. Incremento en peso (Kg/día) del ganado durante el primer período (0-15 días) para los 4 tratamientos.	99
Figura 49. Incremento en peso (Kg/día) del ganado durante el segundo período (15-30 días) para los 4 tratamientos.	99
Figura50. Incremento en peso (Kg/día) del ganado durante el segundo período (30-45 días) para los 4 tratamientos.	100

Figura 51. Diferencias estadísticas entre los tratamientos y el testigo 101

Figura 52. Diferencias en el incremento en peso y los tratamientos 1, 2, 3 y Testigo 102

LISTA DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 1. Valor Nutritivo y Digestibilidad de 3 Tipos de Pollinazas en base a Camas de: Bagazo de Caña, Cáscara de Arroz y Cáscara de Maní	5
Tabla 2. Riqueza media de los diferentes tipos de estiércol	7
Tabla 3. Composición en porcentaje de las excretas de varios animales domésticos	7
Tabla 4. Valores de C/N en diferentes residuos	22
Tabla 5. Concentración de microorganismos en un compost final	28
Tabla 6. Ejemplo de Calculo de la unidad de compostaje de una pila	31
Tabla 7. Resumen de las condiciones de un proceso de compostaje Ideal	37
Tabla 8. Análisis de Materias Primas Utilizables en la Elaboración de Alimentos Balanceados para Animales	41
Tabla 9. Relación de las raciones de concentrado diarias para algunas especies	46
Tabla 10. Composición alimentaría recomendada por las fábricas de concentrados	48
Tabla 11. Composición alimentaría de algunos productos utilizados en el ganado	49
Tabla 12. Análisis físico- químico de la Pollinaza y el Alimento.	71

Tabla 13. Composición alimentaría recomendada comparada con la del alimento final	72
Tabla 14. Análisis de calidad sanitaria de la Pollinaza y Alimento	73
Tabla 15. Recuento de Microorganismos Benéficos	74
Tabla 16. Variedad de microorganismos aislados de la pollinaza	77
Tabla 17. Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias Oxigénicas	78
Tabla 18. Pruebas Bioquímicas para la identificación de Actinomicetos	79
Tabla 19. Especies de microorganismos oxigénicos que fueron aislados de la pollinaza	80
Tabla 20. Temperatura y pH de la fermentación natural y acelerado de la pollinaza.	92
Tabla 21. Incrementos de peso en el ganado bajo tres niveles de pollinaza como parte del suplemento alimenticio.	98
Tabla 22. Resultados test de Tukey para los tratamientos.	102

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Medios de cultivo para microorganismos benéficos.	115
Anexo 2. Curva patrón de Mcfarland.	116
Anexo 3. Clasificación taxonómica de los microorganismos oxigénicos aislados de la pollinaza.	117
Anexo 4. Datos de análisis de residuos compostados	118

RESUMEN

TITULO: FERMENTACIÓN ACELERADA DE LA POLLINAZA CON MICROORGANISMOS OXIGÉNICOS PARA LA FORMULACIÓN Y PRODUCCIÓN DE DIETAS ALIMENTICIAS MEJORADAS PARA GANADO DE ENGORDE*.

AUTOR: ZARATE AFANADOR, MARÍA ANDREA**

PALABRAS CLAVES: Pollinaza, fermentación, Alimento, Microorganismos aerobios, Dietas, Ganado, Producción más Limpia.

DESCRIPCION:

Entre los productos para el consumo del ganado bovino utilizados actualmente se destaca la pollinaza, cuya composición en nutrientes proteicos aumenta la ganancia en peso de los animales en ceba. Debido a la demanda de alimentos para sustituir el forraje convencional se le utiliza de manera intensiva con un largo periodo de procesamiento natural. Con este proyecto se espera obtener un alimento comercial que contenga un grupo selecto de microorganismos aceleradores de la fermentación (bacterias y hongos nativos) de este subproducto, obteniendo resultados en menor tiempo y de mejor calidad. En la metodología se destaca el procesamiento de 25 toneladas de pollinaza cruda con aireación constante, medición de temperatura, pH y humedad y obtención de una dieta especial para el ganado de engorde en experimentación.

Se llevo acabo la caracterización físico-química y microbiológica del sustrato, el aislamiento e identificación de los microorganismos aerobios en las etapas mesofílicas del compostaje, determinación de las condiciones apropiadas para su crecimiento, selección de los microorganismos aceleradores y posterior aplicación a los residuos orgánicos para finalmente realizar ensayos de dietas con controles de peso semanales y así comprobar la eficacia en aumento de peso, palatabilidad y formular la dieta ideal.

En los resultados obtenidos cabe destacar que se aislaron de la pollinaza 21 especies de bacterias pertenecientes a los ordenes Pseudomonadales, Enterobacteriales, Burkholderiales, Bacillales y Actinomycetales, y 10 especies de hongos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cunninghamella*, *Curvularia*, *Trichoderma*, y *Saccharomyces* los cuales presentaron una disminución de un 30 % en el tiempo de compostaje y la temperatura máxima de la etapa termofílica alcanzó los 72°C. Los ensayos de las dietas evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) el tratamiento con una proporción de pollinaza compostada/melaza/auyama 40%/1.5%/1% presentaron un mayor peso, mejor palatabilidad y consistencia, color, olor y sabor. Obteniéndose un alimento de óptima calidad y sin patógenos.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, UIS, Directora: Mariela Carreño Mcs

ABSTRACT

TITLE: ACCELERATED FERMENTATION OF POULTRY MANURE WITH OXYGENIC MICROORGANISMS FOR THE FORMULATION AND PRODUCTION OF NUTRITIONAL DIETS FOR FATTENING CATTLE*.

AUTHOR: ZARATE AFANADOR MARIA ANDREA**

KEYWORDS: Poultry manure, Fermentation, Food, Aerobics Microorganisms, Diets, Livestock, Cleaner Production.

DESCRIPTION:

Among the products for livestock consumption used actually, poultry manure stands out, of which composition in proteid nutrients increases weight gain in fattening. Due to the increasing demand of food to substitute the conventional forage, it is utilized in an intensive way with a large period of natural processing. With this project it is expected to obtain a commercial food which contains a selected group of accelerating microorganisms (bacteria and native fungus) from this sub product, we can obtain less time and better quality results. In the methodology it is highlighted the processing of 25 tons of raw poultry manure with constant aeration, temperature measurement, pH and humidity, and the obtaining of a special diet for fattening cattle in experimentation.

A physicochemical and microbiological characterization of the substratum was performed, the isolation and identification of aerobic microorganisms in mesophyllic stages of the composting process, determination of the appropriate conditions for its growing, selection of accelerating microorganisms and later application to the organic residuals to finally perform tests for diets with weekly weight controls, and in that way to probe the efficacy in weight gain, palatability and formulation of the ideal diet.

About the obtained results it is important to stress that there were isolated 21 species of bacteria belonging to the orders *Pseudomonadales*, *Enterobacteriales*, *Burkholderiales*, *Bacillales* and *Actinomycetales* 10 species of fungus from the genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cunninghamella*, *Curvularia*, *Trichoderma*, *Saccharomyces* which presented a decrease of a 30% in the composting time and an achievement of a maximum temperature of the thermophile stage up to 72C. In the tests of the diets formulation evaluated statistically through (ANOVA) the treatment with a proportion of composted poultry manure/molasses/auyama 40%/1.5%/1% showed a bigger increase on weight, better palatability for the animals, and better consistency, color, odor and taste. Obtaining an optimum quality, and pathogens free food.

* Thesis Project.

** Science Faculty, Biology School, UIS, Mariela Carreño Mcs. Director.

INTRODUCCIÓN

El sector avícola, con los subproductos como la pollinaza y la harina de desperdicios de mataderos avícolas, es un voluminoso renglón de aporte de productos animales para la alimentación de los mismos, debido a su gran escala de producción, introducción en el mercado y nivel tecnológico.

De acuerdo con las políticas nacionales ambientales, la mayor exigencia se hace en el manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos generados por las empresas avícolas enfatizando en la aplicación de procesos agroindustriales relacionados con el entorno y en el desarrollo del sector productivo de la región, a través de la difusión y aplicación de conceptos respecto a ecoeficiencia, producción más limpia y tecnologías ambientales.

La mayor dificultad del sector avícola es el manejo, tratamiento y disposición final de grandes volúmenes de heces producidos por las aves. A pesar de que estos pueden ser aprovechados por su alto contenido proteico, están causando un gran impacto ambiental negativo al suelo, aire y los cuerpos de agua.¹ Se hace necesaria la utilización de tratamientos biotecnológicos adecuados para disminuir el tiempo de fermentación de la pollinaza y enriquecer las dietas alimenticias en ganado de ceba, obteniendo ganancia en peso y un excelente complemento nutricional en menos tiempo por ser fuente de materia orgánica aprovechable, además de disminuir considerablemente el uso de concentrados comerciales reduciendo así los costos de mantenimiento de los productores de ganado.²

¹ SMIL, V. 1997. Abonos nitrogenados. Investigación y Ciencia, septiembre.

² HUITRON, M G. Uso de la pollinaza en la engorda de bovinos de corral como principal fuente de energía y proteína. Memorias del primer día del ganadero CEP Vaquería Inifap.1983 p.8

La producción más limpia debe orientarse a la reducción de la generación de contaminantes en todas las etapas del proceso de producción con el fin de minimizar los desechos tratados y dispuestos al final del proceso productivo.³ En la actualidad, los sistemas intensivos de producción de carne en países en vía de desarrollo, presentan importantes diferencias respecto a los países industrializados, principalmente por el tipo de ingredientes y los porcentajes utilizados para la elaboración de las raciones alimenticias. El déficit existente en la producción de granos y la relativa abundancia en residuos agrícolas, hacen que estos junto con otros subproductos industriales y desechos orgánicos como la pollinaza, constituyan una buena proporción del alimento para el engorde de ganado, utilizándola principalmente como suplemento proteico.⁴

En base a la composición química de la pollinaza (la cual depende de diversos factores como el tipo de cama utilizada, el tiempo de almacenamiento y el porcentaje de humedad entre otros), los rumiantes pueden utilizarla eficientemente debido a su alto contenido en fibra y en nitrógeno no proteico.

Los trabajos realizados con pollinaza han sido múltiples y los resultados obtenidos muy variados. Al utilizar niveles de 35 y 40% en dietas integrales, se han obtenido resultados favorables en la ganancia de peso de los animales. Estos resultados probablemente sean el reflejo del tipo de pollinaza utilizada y de los otros componentes de la ración, así como de sus proporciones⁴. Debido a estas discrepancias, a la importancia de biotratar el residuo en menor tiempo y la formulación de dietas exactas se planteo la realización del presente trabajo de grado.

Por otro lado, existe la urgente necesidad que tienen los generadores de residuos orgánicos, en especial los de tipo agroindustrial, de encontrar una solución para el manejo, y disposición final de estos, de tal modo que disminuya el impacto sobre el medio ambiente y a su vez se pueda convertir en fuente de valor para negocios.

³ Convenio de Concertización Para una Producción Más Limpia. Ministerio del Medio Ambiente, Fenavi, Fonav y Corporaciones de la Costa Atlántico. 2000.

⁴ MEDRANO, J. L. 1994. Subproductos agrícolas y su utilización en sistemas integrados de producción. Compendio de alternativas no tradicionales para la alimentación de rumiantes. CORPOICA.

Con miras a reducir costos y la posibilidad de utilizar los subproductos disponibles en las fincas o comunidades se propuso un estudio de caso para la generación de concentrados, gracias a un selecto grupo de microorganismos oxigénicos que nos permitió acelerar el proceso de fermentación de la pollinaza y con esto buscar convertir la producción animal en una actividad rentable, sostenible y acorde con el medio ambiente.

La obtención orgánica de productos alimenticios es una alternativa que beneficia tanto a productores como a consumidores, los primeros se ven beneficiados porque en sus fincas se reduce considerablemente la contaminación del suelo, del agua y del aire, alargando considerablemente la vida económica de las mismas y la rentabilidad de sus negocios. Los consumidores por su parte se ven beneficiados al consumir productos 100% naturales, libres de químicos saludables y de alto valor nutritivo.⁵

⁵ Ortíz, C. 2003 CAB, Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología N°114. Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. p. 4,6-18.

1. MARCO TEORICO

1.1 POLLINAZA

La pollinaza es uno de los desechos sólidos de la producción de pollos de engorde, compuesto de la base o cama de los galpones, la excreta y los residuos de alimentos y plumas que quedan en la cama.

La composición de la pollinaza depende de la alimentación de las aves, que puede ser más o menos rica en nitrógeno y que varía en cada una de las etapas de su vida productiva.

La diferencia fundamental entre pollinaza y gallinaza radica en que las pollitas, en su iniciación y levante tienen una dieta alta en nutrientes en las primeras 3 semanas; liviana hasta la octava, cuando vuelve a aumentarse la proteína hasta las 16-18 semanas, es más densa en nutrientes. A partir de la semana 40-42, cuando desciende la producción, reciben una dieta con menos nutrientes.

La población avícola colombiana esta compuesta por 380 millones de pollos y 24 millones de ponedoras. Si un pollo produce diariamente 150 gramos de pollinaza húmeda y cada gallina 100 gramos de gallinaza, y si el precio de venta oscila entre 75 mil y 80 mil pesos la tonelada (ya deshidratada), estamos frente a cifras muy grandes en cuanto al dinero que este subproducto puede representar para los Avicultores como ingreso adicional al proveniente de su negocio de huevos y de carne.¹¹

En una alta proporción, en Colombia, no se le adiciona nada a la gallinaza ni a la pollinaza en una investigación que abarco 86 granjas avícolas, la Corporación Nacional para la Investigación Agropecuaria, CORPOICA encontró que solo en 5 o 6 la procesan. Sin embargo, poco a poco se ha ido extendiendo la práctica de llevar a cabo un análisis de suelos y a partir de

¹¹ MUNEVAR, German. Estiércol que se convierte en plata, Cartagena, 1998. p.22.

sus resultados enriquecerla con diferentes nutrientes, lo que da origen a formulaciones específicas para cada cultivo en particular.¹²

1.1.1 Composición química - física de la pollinaza La pollinaza es uno de los residuos sólidos más importantes en términos de la posibilidad de afectar significativamente el ambiente en las granjas de producción, debido a su composición y a las grandes cantidades generadas. Su composición química varía de acuerdo al tipo de cama, piso y comedero utilizado, al número de camas, la relación volumen de camas y número de animales, el envejecimiento de la pollinaza, la humedad, etc.¹³ Las pollinazas con piso de tierra contienen más cenizas que las que provienen de galpones con piso de cemento.

Tabla 1. Valor Nutritivo y Digestibilidad de 3 Tipos de Pollinazas en base a Camas de: Bagazo de Caña, Cáscara de Arroz y Cáscara de Maní

Parámetro	% M. S.	% P. C.	% Ceniza	E. D. (Mcal/kg)	% Digestib. P.C.	% Digestib. Pollinaza
Bagazo de Caña	88	2,9	3,1	2	--	--
Pollinaza Bagazo de Caña	88,95	16,76	11,92	2,85	72,83	57
Cáscara de Arroz	92	3,32	0,6	1,76	--	--
Pollinaza Cáscara de Arroz	86,4	14,82	14,1	2,66	67,5	52
Cáscara de Maní	91	4,1	17,7	0,88	--	--
Pollinaza Cáscara de Maní	87,55	15,49	7,8	2,84	67,33	49

Fuente: García T. y María María, 1994.

Cuando la cama es de borucha o de cascarilla de arroz, contiene mas cenizas y mas fibra cruda que las otras, lo que provoca un menor contenido de energía digestible, en promedio 2000 Kcal/kg. La pollinaza con cama de

¹² Ibid., p.24.

¹³ CAICEDO, Y. La importancia de los Abonos Orgánicos en la nueva agricultura. Tierra Palmera, FEDEPALMA. 2000. Vol. 9, p.8

cascarilla de coquito de palma u olote de maíz, tiene mejor calidad y con un contenido de energía de alrededor de 2400 Kcal/kg. También se puede utilizar como cama pasto picado, pacas de arroz, afrecho y salvadillo.¹⁴

El contenido de proteína varía de acuerdo al tipo de cama que se utilice pero se encuentra en un rango de 17.2 a 22.7%. El 50 % del nitrógeno presente en la pollinaza es proteína verdadera, la cual es alta en Glicina, y un poco baja en Arginina, Lisina, Metionina y Cistina.¹⁵

El calcio se encuentra en el orden de 3% y el fósforo de 1.5%. El alto contenido de Calcio constituye una limitante nutricional de la pollinaza. Se conoce que el valor máximo de calcio en una dieta no debe exceder el 2%, en condiciones prácticas esto no debe ser mayor de 1.2 - 1.5 %.¹⁶

La disponibilidad del P de la pollinaza ha sido evaluada con animales (Field et al 1977, Rosero et al 1990; Cooke et al 1990; Cantón et al 1996). En general, se le ha encontrado una disponibilidad elevada; ello se puede atribuir a que el P de la pollinaza se encuentra en un 53.4% en forma de P orgánico soluble en ácido, el cual se absorbe en los rumiantes por medio de la acción de las enzimas fitasas que se encuentran en el rumen; un 34.8% está formado de P inorgánico, el cual también está disponible para los rumiantes (Barnett 1994) y el 11.8% restante no está disponible.¹⁷

En la siguiente tabla se muestra la riqueza media de diferentes tipos de estiércoles:

¹⁴ CAICEDO Y. 2003. Diagnostico Ambiental Regional Avícola". Memorias, 1er Seminario de Residuos Sólidos Agroindustriales. Cartagena.

¹⁵ HERNANDEZ, J. 2003. Pollinaza, Boletín Informativo sobre el uso de subproductos

¹⁶ MUNEVAR, Op. cit., p. 25.

¹⁷ SEGURA, V et al. 2000. La pollinaza como fuente de fósforo para rumiantes en pastoreo

Tabla 2. Riqueza media de los diferentes tipos de estiércol

Producto	Materia Seca %	Contenido de los elementos nutritivos en Kg.t ⁻¹				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
De vacuno	32	7	6	8	4	--
De oveja	35	14	5	12	3	0.9
De cerdo	25	5	3	5	1.3	1.4
De caballo	100	17	18	18	--	--
Purines	8	2	0.5	3	0.4	--
Gallinaza	28	15	16	9	4.5	--

Fuente: García S. 1987.

El estiércol del caballo es más rico que el de la oveja, el del cerdo y el del la vaca. El de aves de corral, pollinaza o gallinaza, es el más concentrado y rico en elementos nutritivos, principalmente nitrógeno y fósforo.

En la tabla 3 se representa la composición de las excretas de algunos animales, las cuales pueden ser utilizadas como un ingrediente más para la elaboración de diferentes subproductos.¹⁸

Tabla 3. Composición en porcentaje de las excretas de varios animales domésticos

Tipo de estiércol	Macronutrientes					Micronutrientes				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	H ₂ O
Gallinaza	2,43	2,67	4,80	5,70	0,50	11	4,25	-	2,64	19
Bobinaza	2,11	1,60	5,76	0,87	0,44	1,20	7,63	-	132	75
Porcinaza	2,32	4,72	3,90	3,25	8,77	8,8	643	-	422	62
Equinos	2,65	1,95	2,92	-	-	-	-	-	-	65

Fuente: Restrepo R, 2001.

¹⁸ RESTREPO, R. Elaboración de Abono orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares, 2001 p.13.

La FAO (1980) describe la composición física de la pollinaza como sigue: 62% de heces, 31% de camada, 3% de alimento desperdiciado, 2% de plumas y 2% de materia extraña con relación a materia fresca.

El estiércol fresco puede ser utilizado como alimento y como abono de superficie directamente. Como alimento se ha comprobado que causa daños irreparables en el rumen de los animales, provocando en algunos casos enfermedades letales. Además, de que la carne de estos animales presenta un olor, color y sabor desagradable al consumidor. Este estiércol es usado sobretodo en cultivos exigentes en abonado que toleran bien la materia orgánica fresca, como es el caso de la papa, remolacha, tomate, así como en frutales y viñedos.

La pollinaza fresca es muy agresiva a causa de su elevada concentración en nitrógeno y para mejorar el producto conviene que se composte en montones. Con más razón se debe compostar si procede de granjas intensivas, mezclándose con otros materiales orgánicos que equilibren la mezcla, enriqueciéndolo si fuera necesario con fósforo y potasio naturales; algunos agricultores rechazan el estiércol procedente de la cría industrial de pollos y gallinas debido a que frecuentemente contiene residuos de antibióticos y de otras sustancias de desecho.¹⁹

1.1.2 Producción de alimento a partir de la pollinaza Se acostumbra disponer de la pollinaza en su forma natural, (ya sea porque no se conocen los procedimientos de tratamiento o simplemente por que no se ha identificado las ventajas económicas de procesar el producto), cada vez que se cumple un ciclo de engorde (se realizan en promedio 5 ciclos de engorde por año), y bajo el sistema de producción “todo adentro, todo afuera”. No obstante, por su alto contenido de tierra y plumas, la gallinaza y la pollinaza son utilizadas en su mayoría como fertilizante.

La base principal del alimento es la fermentación, la cual se obtiene mediante un proceso natural de biodegradación, gracias a la acción de los microorganismos oxigénicos, Termofilicos, Gram-positivos, bacilos endosporados benéficos, los cuales se encargan de reducir y transformar los desechos orgánicos en una biomasa bacteriana ácida, en un medio que favorezca la proliferación bacteriana que debe tener las siguientes características: 30% de Oxígeno, una proporción adecuada de nutrientes, 15 a 30 partes de Carbono por una parte de nitrógeno, 45 a 55% de agua, una

¹⁹ Ibíd., p.90

temperatura alrededor de 72°C y tiempo incluido en dos períodos consecutivos de 10-14 días.²⁰

El material del período inicial se llama composta de primer tratamiento, en cuya masa comienzan a proliferar los primeros microorganismos que inician la degradación del material usado como sustrato, para lo cual se hace necesario un continuo movimiento de aireación. Posteriormente, este material se denomina composta de segundo tratamiento, en donde la reducción es avanzada, la temperatura es más uniforme y estable, y la población de patógenos disminuye considerablemente. El material puede continuar reaccionando y conservarse hasta por más de 6 meses.²¹

Para mantener uniforme la temperatura dentro del compost es importante la aireación y el movimiento del material para remover las bacterias, así como acelerar la acción bacteriana, larvívora y virúcida dentro de todo el material. De igual manera, cabe mencionar que aumentando la aireación e inoculación con microorganismos altamente degradadores, se disminuye el tiempo de compostación.²²

²⁰ CAICEDO, Yiseth. Efectos del proceso de fermentación sobre la microbiota fúngica de la gallinaza. Tesis de Grado UIS, Bucaramanga, 2002. p. 35.

²¹ RIVERO, Op. cit., p. 85.

²² TCHOBANOGLIOUS, G. Gestión integral de Residuos Sólidos. 1994, España. p.67.

1.2 FERMENTACIÓN

El compostaje o fermentación ha sido una técnica utilizada desde siempre por los agricultores como una manera de estabilizar los nutrientes del estiércol y otros residuos para su uso como fertilizante.

Era un proceso lento, no siempre se conservaban al máximo los nutrientes y casi nunca se aseguraba la higiene de la mezcla. El compostaje que se practica en la actualidad es un proceso aerobio que combina fases mesófilas (15 a 45 °C) y termófilas (45 a 70 °C) para conseguir la reducción de los residuos orgánicos y su transformación en un producto estable y valorizable.

1.2.1 Fermentación Aerobia La fermentación es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando bases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45%), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable, lo mas homogéneo posible, que guarda las relaciones entre sus componentes e higienizado.

Es decir, el compostaje o fermentación es:

- ✓ Una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables. El calor generado durante el proceso (fase termófila) va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

- ✓ Una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da un producto estable y reutilizable.

- ✓ El resultado de una actividad biológica compleja, realizado en condiciones particulares; el compostaje no es, por tanto, un único proceso. Es, en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. Los cambios químicos y especies

involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.²³

La estabilización de la materia orgánica se consigue por la oxidación de las moléculas complejas que se transforman en otras más sencillas y estables. En este proceso se desarrolla calor que, al elevar la temperatura de la masa, produce la esterilización de ésta y la eliminación de agentes patógenos y semillas. La fermentación de la materia orgánica consta, por una parte, degradación o descomposición y, por otra, reajuste o síntesis de nuevos productos.

El proceso lo llevan a cabo los microorganismos (bacterias y hongos), y nuestra intervención se limita a proporcionar las condiciones idóneas para que el proceso se realice con la máxima rapidez y eficacia. Los factores que dificultan la vida y desarrollo de los microorganismos son causa de entorpecimiento del proceso.

El compost es el producto de la fermentación controlada de la materia orgánica presente en los Residuos Sólidos Orgánicos, durante el proceso se desinfecta y estabiliza el residuo, con lo que el producto resultante debe garantizar la inocuidad para el medio ambiente, el cual puede ser aprovechado como abono orgánico, alimento o como substrato.²⁴

1.2.2 Importancia de la elaboración y utilización del compost El compostaje es una alternativa de tratamiento de desechos orgánicos; dentro de la problemática del manejo de los Residuos Orgánicos la importancia se encuentra en que el compostaje permite:

- Disminuir los niveles de contaminación que producen los residuos orgánicos por el proceso natural de descomposición, el mismo que genera gas metano, Amoniaco, proliferación de vectores transmisores de enfermedades y roedores.

- Utilizar de una manera ambientalmente segura los residuos orgánicos.

²³ NEGRO, M. Producción y Gestión del Compost. Zaragoza: Centro de Técnicas Agrarias, 2000. N°. 88, p.2

²⁴ MAYEA, S. Producción de composta a partir de la inoculación con microorganismos. Cuba: Ministerio de Agricultura, 1992. p.28.

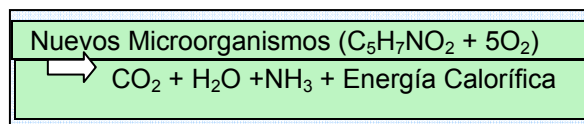
En este proceso se producen oxidaciones aeróbicas por parte de la microflora mesófila (Bacterias y Actinomicetos) en concomitancia con fermentaciones facultativas de la materia orgánica. Además se dan procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de azufre, fósforo etc. La participación de Hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso en áreas muy específicas de las pilas de compostaje. La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura, la falta de disipación de calor produce un incremento aun mayor de temperatura y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos. La duración de esta etapa es variable.²⁷

➤ **Fase termófila** Los microorganismos iniciales son sustituidos por otros que viven a temperaturas más altas (termofilos). En esta etapa se alcanzan temperaturas de 50°C a 70°C con gran actividad bacteriana y se eliminan patógenos, larvas y semillas. La materia orgánica se transforma y la masa se estabiliza. Esta etapa puede durar un par de semanas a 2 meses.

En esta segunda fase se producen reacciones de auto-oxidación de los microorganismos cuando comienza a faltar la materia orgánica usada como alimento en la fase mesófila. En su desarrollo se liberan los nutrientes usados previamente en la síntesis de nuevas células.

Si la compactación y la ventilación son adecuadas se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO₂ se produce en volúmenes importantes y se difunden desde el núcleo a la corteza, este gas juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos, pues este gas es letal para ellas.

En el curso de las fases sucesivas de asimilación, una fracción de los microorganismos es transformado en H₂O y CO₂, de tal forma que la masa orgánica disminuye. La reacción global es:



²⁷ Ibid., p.48.

Al aumentar la temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos que se desarrollan desde los 40°C hasta los 60°C. Estas especies empiezan a degradar la celulosa y la lignina, con lo cual la temperatura sube hasta los 70°C, apareciendo poblaciones de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Durante varios días se mantiene a esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Aunque la celulosa y la lignina a estas temperaturas se atacan muy poco, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente.

Este proceso comienza por encima de 40°C, provocando una disminución del crecimiento de la microflora mesófila la cual es sustituida por la termófila al igual que se eliminan la mayoría de mesófilos patógenos, hongos y elementos biológicos indeseables. Esta etapa es crucial para la higienización del material, por lo que es conveniente mantener las condiciones que permitan su máxima prolongación.

Estas temperaturas inician, sin embargo, una nueva explosión de actividad por parte de microorganismos termófilos contenidos en la materia orgánica, conduciendo a condiciones mesófilas hasta la metabolización completa de los sustratos simples quedando los materiales más resistentes degradándose a ritmos mucho más lentos.²⁸

➤ **Fase Mesotérmica II o Etapa de Maduración.** Ahora se degradan la lignina y los actinomicetos descomponen la celulosa. En esta fase se sintetizan coloides humicos, hormonas, vitaminas, antibióticos y otros componentes que favorecen el desarrollo vegetal.

Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir alcanzando niveles iguales o inferiores a los 40°C en este momento las bacterias y los hongos mesófilos, reinvasen el interior del compost utilizando como fuente de energía los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina presentes en los residuos. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente, en estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por terminado el proceso.²⁹

²⁸ Ibid., p.50.

²⁹ NEGRO, M. Op. cit., p. 10.

Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la disminución de actividad metabólica a niveles mínimos. Las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes. El proceso de compostaje es, pues, una compleja interacción entre el sustrato, los microorganismos, la aireación y la producción de agua y de calor.

En los procesos industriales de compostaje a través del compostaje aerobio, donde se apila la materia orgánica, existen zonas interiores de las pilas con menor presencia de oxígeno y, por lo tanto, menor actividad microbiana de carácter aerobio. Un correcto volteo de la pila reinicia el proceso debido a la presencia de materiales poco degradados que se hallaban situados en el interior de la masa original.³⁰

1.2.4 Parámetros importantes de control en el proceso de compostaje

En el proceso de compostaje el principio básico más importante es el hecho de que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, y por tanto, tiene todas las ventajas y limitaciones de este tipo de procesos.

La descomposición eficiente ocurrirá si las siguientes variables están en su valor óptimo, en la medida de lo posible. Todas están, a su vez, influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar, la técnica de compostaje, la manera en que se desarrolla la operación y la interacción entre ellas. Los principales parámetros a considerar son: La aireación, el contenido en humedad y temperatura, pH, los factores nutricionales y la relación C/N.³¹

Aireación: El montón debe ser aireado frecuentemente y la humedad se situara entre el 40% y 60%. Como ya se ha comentado, el proceso de compostaje es un proceso aerobio, se necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos. La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del Dióxido de carbono producido. La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso, siendo bajas en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso.

³⁰ TCHOBANOGLOUS, G. Op. cit., p. 10

³¹ NEGRO, M. Op. cit., p. 7

Después de 5 ó 6 días, posiblemente saldrá humo por la caña hueca, debido al aumento de la temperatura dentro del monton, esta alta temperatura destruye a los microorganismos dañinos, pero es perfecta para los microorganismos benéficos.

Durante los primeros 15 días se alcanzarán temperaturas de 65 - 70 grados Celsius, pero si se superan éstas habrá que regar para limitar el calentamiento.

Si la aireación es deficiente se retrasa la fermentación aeróbica y origina procesos de fermentación anaerobia, con sensibles perdidas de N y C, malos olores y bajas temperaturas.

La aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad. Así, por ejemplo, un exceso de ventilación podría provocar evaporación que inhibiría la actividad microbiológica hasta parar el proceso de compostaje, con lo que podría dar la impresión de que el proceso había concluido. Por otra parte, el exceso de ventilación incrementaría considerablemente los gastos de producción.

También se forman compuestos húmicos del tipo "melaninas", que son precursores del humus. Al final, por un proceso de pasteurización se eliminan los gérmenes patógenos y parte de las semillas de plantas no deseables.

Humedad: La humedad es un factor muy relacionado con el anterior. En teoría, los valores de humedad para que pueda darse una fermentación aerobia están entre el 30% y el 70%, siempre que se asegure una buena aireación. En la práctica se La humedad depende de la composición físico-química de los materiales iniciales, el tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje; si es escasa supone una limitación para el desarrollo de los microorganismos, baja temperatura y en exceso se produce anaerobiosis. Se debe regar en forma abundante sobre todo en los primeros días para acelerar la maduración. La humedad nunca debería estar por debajo de 50%, la humedad óptima se puede situar alrededor del 55%.

Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50 %, necesariamente debemos buscar la forma de que el material pierda humedad, antes de conformar las pilas o camellones.³²

³² Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en el Sistema de Producción de ganado bovino productor de carne. 1999. p 18.

Los microorganismos necesitan agua como vehículo para transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. Si la humedad disminuye demasiado, disminuye la actividad microbiana con lo cual el producto obtenido será biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta, el agua saturará los poros e interferirá la distribución del aire a través del compost.

En procesos en los cuales los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja, hojas secas, se necesita una mayor humedad, mientras en materiales como los residuos de alimentación, etc., la humedad necesaria es mucho menor.

La forma óptima de regar "el montón" es por medio de aspersores que arrojan una lluvia fina o por goteo. El costo de cualquiera de estos sistemas, ejecutado por personal del lugar o por uno mismo es muy bajo.

Formación del montón: El volumen del montón será aquél que proporcione un equilibrio adecuado entre humedad y aireación. Será mejor confeccionar el montón directamente sobre el suelo, o bien intercalar entre los materiales vegetales algunas capas de suelo fértil, impidiendo así el posible desarrollo de putrefacciones.

Así, la ubicación del montón dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar y del momento en que se elabore en climas húmedos y fríos conviene situarlo al sol, al abrigo del viento y protegido de las lluvias, y en zonas más calurosas se situará a la sombra y también al abrigo del viento.

En lo que respecta al tamaño, diversas experiencias nos muestran que la altura más frecuente es de 1,5 m, la anchura de la base no superior a su altura y con la longitud que se desee. La forma debe ser de cordón y la sección triangular o trapezoidal.

Algún autor recomienda colocar cada 2 o 3 metros de longitud una chimenea de aireación, de forma cilíndrica de 20 o 30cm. de diámetro, que se rellenará de material poco apelmazable, como ramas de poda, paja, etc. o colocar hasta el fondo del pozo una caña hueca de aproximadamente 1 metro y 5 centímetros de modo que sobresalga la caña. También se aconseja, en algunos casos, cavar una zanja a todo lo largo de lo que será la base del

cordón, de 20 o 30 cm de ancho y profundo, que igualmente se rellena de ramas; de esta forma se asegura el drenaje.³³

Temperatura: Es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso. Debe mantenerse entre 35 - 65 °C. Cada grupo de microorganismos tiene una temperatura óptima para realizar su actividad: Criófilos, de 5 a 15 °C. Mesófilos, de 15 a 45 °C. o Termófilos, de 45 a 70 °C.. De acuerdo a este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración.

El grupo favorecido descompondrá la materia orgánica para obtener materia y energía, y en la operación se emitirá calor que puede hacer variar la temperatura de la pila de residuos, dependiendo del volumen de la pila y de las condiciones ambientales.

En general, las temperaturas conseguidas en el proceso, junto con la competencia por los nutrientes y la producción de fermentos (antibióticos) que impiden su desarrollo, llegan a eliminar los microorganismos patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas llegados con los residuos. A temperaturas demasiado elevadas mueren determinadas especies buenas para el compostaje, mientras que otras no actúan por estar en forma de spora.



Figura 1. Control de parámetros mediante sensores

³³ Principales propuestas técnicas agrícolas y pecuarias. 2000. p5.

Inicialmente, los residuos se encuentran a temperatura ambiente, enseguida los microorganismos crecen y la temperatura sube considerablemente, a los pocos días se alcanzan los 40°C (fase mesófila), la temperatura sigue subiendo hasta alcanzar valores comprendidos entre 60-70°C (fase termófila), la mayor parte de los microorganismos iniciales mueren y son reemplazados por otros resistentes a esa temperatura.

A partir de los 60°C, los hongos termófilos cesan su actividad y la reacción se lleva a cabo por las bacterias formadoras de esporas y actinomicetos. En esta fase la generación de calor se iguala a la velocidad de pérdida de calor en la superficie de las pilas, esto marca el final de la fase termófila. Por último, se produce una nueva fase mesófila o de enfriamiento y una fase final de maduración en la que la temperatura se iguala a la del medio ambiente.

La temperatura se debe controlar, ya que las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los tiempos de retención, y las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos.

pH: Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al principio y como consecuencia del metabolismo fundamentalmente bacteriano que transforma los complejos carbonados fácilmente descomponibles, en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente, el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto, alrededor de 8,5, coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica.

Los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia.

- **Contenido de Nutrientes.** Todos los organismos necesitan nutrientes para crecer y reproducirse. Las cantidades varían de elemento a elemento manteniendo una relación constante unos con respecto a otros. El

mantenimiento de este balance es especialmente importante para el carbono y nitrógeno.³⁴

Al inicio del proceso la relación C/N debe estar próxima a 30, añadiendo, si es preciso, elementos nitrificantes o carbonatantes. Al finalizar el proceso debe estar próxima a 10. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica.

Con respecto al uso de los factores nutricionales, el carbono es utilizado por los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. Las dos terceras partes del carbono son quemadas y transformadas en CO₂ y el restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos, si bien, para la producción de proteínas, se necesita la absorción de otros elementos entre los cuales el más importante es el nitrógeno y en menores cantidades el fósforo y el azufre.

Las formas de carbono más fácilmente atacables por los microorganismos son los azúcares y las materias grasas. El nitrógeno se encuentra en casi su totalidad en forma orgánica de donde debe ser extraído o modificado por los microorganismos para poder ser utilizado por éstos.

Relación C/N: Básicamente el carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo y deben estar en la mezcla en proporciones determinadas para una buena fermentación y así obtener un producto final de características adecuadas. El parámetro que mide esta relación se llama relación C/N.

Debe mantenerse una relación C/N (carbono/nitrógeno) adecuada. Una relación C/N óptima de entrada, es decir de material "crudo o fresco" a compostar es de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, es decir C(25)/N (1) = 25.

³⁴ CAMPOS G, José Luís. Avances en Biotecnología Ambiental: Tratamiento de Residuos Líquidos y Sólidos. 2003. p115.

En términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 nos indica que el material tiene relativamente más Nitrógeno. Si la relación es de por ejemplo 40, manifiesta que el material tiene relativamente más Carbono.

Un material que presente una C/N superior a 30, requerirá para su biodegradación un mayor número de generaciones de microorganismos, y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 12-15 (considerada apropiada para uso agronómico) será mayor. Si el cociente entre estos dos elementos es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno.³⁵

Los materiales de origen vegetal seco, pajas, hojas secas, virutas, etc. aportan alto carbono. Los materiales de origen animal, excrementos, restos de animales, material vegetal fresco o verde aportan nitrógeno alto (Ver tabla 4). Los valores C/N ideales del material inicial a fermentar deben ser entre 25 y 35. A medida que transcurre el compostaje, esta relación se hace cada vez menor.

Cuando la relación C/N es muy alta (superior a 35, exceso de carbono) el proceso, como se indico, será lento, hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores adecuados para el metabolismo. Las temperaturas no subirán lo suficiente y se perderá el carbono en forma de dióxido de carbono.

Si la relación C/N es muy baja (inferior a 25, exceso de nitrógeno) se producirán pérdidas de Nitrógeno en forma de amoniaco, aumentan las bacterias y la humidificación.

Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir, reduciendo el carbono o aumentando el contenido de nitrógeno.

Tabla 4. Valores de C/N en diferentes residuos

³⁵ Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos, Presidencia de la República Oficina de Planeamiento y Presupuesto Unidad de desarrollo municipal .p 21

Tipo De Residuo O Estiércol	PROPORCIÓN C/N
estiércol de equinos	18
estiércol de bovinos	32
estiércol de ovinos	32
estiércol de cerdos	16
estiércol de aves	4-10
basura	30-40
residuos de poda	40

Fuente www.proyectoyobra.com

<i>Base Seca</i>			
MATERIALES	C%	N%	C/N
Aserrines	40	0.1	400
Podas, tallos, maíz	45	0.3	150
Paja de caña	40	0.5	80
Hojas de árboles	40	1	40
Estiércol de equino	15	0.5	30
Estiércol ovino	16	0.8	20
Heno	40	2	20
Estiércol bovino	7	0.5	15
Estiércol suino	8	0.7	12
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

FUENTE: Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos, Presidencia de la República Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Unidad de desarrollo municipal

Tóxicos o inhibidores: existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que, a ciertas concentraciones, inhiben o impiden los procesos biológicos. Por ejemplo, los materiales pesados Fe, Al, Cr, Cu, Zn ejercen un efecto perjudicial, al actuar sobre las enzimas catalizadoras de las reacciones de síntesis. Los microorganismos sólo pueden tolerar concentraciones muy débiles de estos elementos, tan sólo algunos mg/l.

1.2.5 Sistemas de compostaje Los distintos sistemas de compostaje intentan optimizar cada uno de los factores que intervienen en el compostaje, mediante diversos medios técnicos. En principio, ningún sistema es objetivamente el mejor, y las condiciones particulares de cada instalación deben evaluarse para desarrollar un programa exitoso de compostaje.

Existen tres sistemas principales de compostaje: pilas estáticas ventiladas, pilas estáticas volteadas y los sistemas mecánicos cerrados.

Pilas estáticas ventiladas El siguiente nivel de sofisticación del compostaje es la pila estática ventilada, en la cual se colocan los materiales sobre un conjunto de tubos perforados o una solera porosa, conectados a un sistema que aspira o insufla aire a través de la pila. La altura de las pilas oscila entre 2- 2.5 metros.³⁶ Una vez que se constituye la pila, no se toca, en general, hasta que la etapa activa de compostaje sea completa.

Cuando la temperatura en el material excede el óptimo, unos sensores que controlan el ventilador lo activan para que inyecte el aire necesario para enfriar la pila abasteciéndola de oxígeno.

Debido a que no hay mecanismos para mezclar el material durante el proceso de compostaje, las pilas estáticas ventiladas se suelen usar para materiales homogéneos como los fangos, que mezclados con un sustrato seco y poroso como astillas de madera o aserrín, forman una película líquida delgada en la que tiene lugar la descomposición. Los materiales heterogéneos, tal como los R. S. U., tienden a requerir más mezcla y removido.

Este sistema permite la rápida transformación de residuos orgánicos en fertilizantes. La ventilación controlada impulsa la actividad de los microorganismos artífices del proceso de compostaje. El sistema es también más económico por la poca intervención mecánica que se requiere. La capacidad del compostaje varía según el número de unidades de soplador y su tipo de modelo, así como también la naturaleza de los residuos orgánicos a tratar.

El proceso suele durar unas 21 a 28 días, y luego se apila el producto durante 1 - 2 meses para que acabe de madurar. Puede usarse en combinación con otras tecnologías de compostaje. Con un adecuado pre-tratamiento de los residuos orgánicos, el exceso de humedad y las condiciones anaerobias de fermentación pueden reducirse.

³⁶ <http://www.emison.com/5145.htm>

Pilas estáticas volteadas (windrows). La tecnología para el compostaje en pilas es relativamente simple, y es el sistema más económico y el más utilizado, por estas razones fue el empleado en este trabajo. Los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso, siendo muy importante la forma y medida de la pila.

Las medidas óptimas oscilan entre 1,2 -2 metros de altura, por 2-4 metros de anchura, siendo la longitud variable. La sección tiende a ser trapezoidal, aunque en zonas muy lluviosas es semicircular para favorecer el drenaje del agua.

Las pilas son ventiladas por convección natural. El aire caliente que sube desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados. La forma y tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, todo lo cual afecta el movimiento del aire hacia el centro de la pila.

Si las pilas son demasiado grandes, el oxígeno no puede penetrar en el centro, mientras que si son demasiado pequeñas no calentarán adecuadamente. El tamaño óptimo varía con el tipo de material y la temperatura ambiente.

Una vez constituida la pila, la única gestión necesaria es el volteo o mezclado con una máquina adecuada. Las pilas se voltean lo suficiente mientras la temperatura se mantiene por encima o igual a 55°C esta operación suele ir acompañada de olores desagradables. El periodo de compostaje oscila entre 21–28 días.³⁷ Su frecuencia depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que deseamos realizar el proceso, siendo habitual realizar un volteo cada 6 - 10 días. Los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 o 10°C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado.

³⁷ TCHOBANOGLIOUS, G. Ingeniería de aguas residuales. México. 1997. p. 898.

El compostaje en pilas simples se ha usado con éxito para compostar estiércol, restos de poda, fangos y R.S.U. Funciona satisfactoriamente mientras se mantienen las condiciones aerobias y el contenido de humedad.

Actualmente se tiende a realizarlo en naves cubiertas, sin paredes, para reutilizar el agua de los lixiviados y de lluvia para controlar la humedad de la pila. La duración del proceso es de unos dos o tres meses, más el periodo de maduración.

Sistemas cerrados Este sistema de compostaje se realiza normalmente en reactores cerrados. Los sistemas mecánicos se diseñan para minimizar la producción de olores y la duración del proceso controlando las condiciones ambientales tales como el flujo de aire, La temperatura y la concentración de oxígeno. Se dividen en sistemas de flujo pistón y dinámicos.³⁸

La evolución de los sistemas de compostaje a sistemas cerrados ha representado un avance muy importante en este tipo de tratamientos, tanto desde el punto de vista de proceso como por la calidad del producto final, favoreciendo el uso del compostaje como tecnología moderna de tratamiento de la materia orgánica de los R. S. U.

Las variables del proceso, tales como contenido de humedad, composición de nutrientes, temperatura, pH, cantidad de gas, tiempo de retención, etc., pueden ser controladas, dirigidas y optimizadas. Esto conlleva una degradación más rápida y completa con una mínima contaminación de los alrededores.³⁹

En los últimos 10 años, el desarrollo de las técnicas de tratamiento de estos tipos de materia orgánica ha sido extremadamente intenso, sobre todo, en el caso de los sistemas cerrados.

³⁸ Op cit, p 899.

³⁹ <http://www.emison.com/5145.htm>



Figura 2. Sistemas de compostaje con pilas volteadas y pilas estáticas aireadas

Existen numerosos datos en la bibliografía sobre los parámetros microbiológicos, químicos y físicos para un buen compostaje. Los valores más comunes de los principales parámetros quedan reflejados en la Tabla 3.⁴⁰

1.2.6 El Precompostaje Se denomina Precompostaje, a todos aquellos procedimientos que se realizan antes de la conformación de las parvas o camellones, y tienen como objetivo acondicionar la masa de residuos para optimizar el proceso. Algunos de estos procedimientos ya los hemos mencionado:

- _ Balance de nutrientes (corrección de la relación C/N)
- _ Corrección del pH
- _ Chipeado
- _ Triturado
- _ Molienda

⁴⁰FERMORE, T. Applied aspects of composting and bioconversion of lignocellulosic materials and overview. International Biodeterioration & Biodegradation. Madrid, 1993. Vol. 31, 87.

Algunos tipos de residuos, pueden presentar poca carga biológica o masa microbiana. Esto es frecuente en residuos frescos de origen agroindustrial que han sido sometidos en el proceso industrial a altas temperaturas. En estos casos es conveniente aplicar Técnicas de Bioaumentación. Las más sencillas consisten básicamente en inocular artificialmente los desechos con una carga de microorganismos. Podemos utilizar, varias fuentes de inóculos. A continuación damos algunas alternativas ampliamente probadas.

_ Inóculo con suelo fértil: el procedimiento consiste en extender en área los residuos en capas no superiores a los 20 cm., y posteriormente distribuir sobre ellos a razón de 0,5 kg/m² suelo fértil. Luego se mezcla y se procede a conformar el camellón. Aconsejado para materiales con exceso de humedad.

_ Inóculo por trasplante: como en el ejemplo anterior se extienden los residuos. De una parva en compostaje en etapa *mesotérmica 1* se extrae de su núcleo una cantidad de material suficiente para aplicar sobre el material extendido 100 g/m². Luego se mezcla y se procede a conformar el camellón. Aconsejado para materiales con exceso de humedad.

_ Inóculo con Caldo de Cultivo: este procedimiento consiste en preparar un caldo de cultivo. Para ello tomamos un recipiente o tanque de aproximadamente 200 lts. En los mismos introducimos, 5 lts. de excreta de aves de corral (frescas), 10 lts de melaza y 5 lts. de suelo fértil o bien 5 lts. de material proveniente del núcleo de una parva en etapa mesotérmica¹. A continuación llenamos con agua el tanque hasta los 200 lts. y agitamos. El recipiente debe ser instalado en un lugar donde este sujeto a las mínimas variaciones térmicas. Luego de 48 hs., el inóculo puede ser aplicado. Cada vez que se retira un volumen de inóculo debe ser reemplazado por un volumen igual de agua más 0,25 kg. de suelo fértil o bien 5 lts de material proveniente del núcleo de una parva en etapa mesotérmica¹. El contenido del recipiente debe ser agitado y homogeneizado por lo menos una vez al día, tratando de remover el material sedimentado en el fondo. Según las condiciones climáticas, un preparado de acuerdo a las proporciones citadas puede rendir unos 600 a 700 lts de Inóculo.

El material extendido en las dimensiones de los ejemplos anteriores es regado abundantemente con el preparado. Luego se conforman los camellones. Este tipo de inóculo es aconsejado para residuos deficitarios en humedad.

1.2.7 Evaluación de la madurez de un compost Esta es uno de los parámetros más importantes que se plantea en relación al proceso de compostaje y aplicación del producto obtenido. Algunos de los métodos de evaluación más usados se encuentran el test de tipo físico, estudios de la fracción húmica del compost, métodos químicos (contenido NPK), métodos biológicos o test de fitotoxicidad y el análisis estándar para el contenido microbiológico, este último es determinado por la concentración de seis grupos funcionales de microorganismos: Bacterias Oxigénicas, Bacterias Anoxigénicas, Hongos, Actinomicetos, Pseudomonas y Bacterias fijadoras de Nitrógeno.⁴¹ Como se indica en la Tabla 6.

Tabla 5. Concentración de microorganismos en un compost final

Grupo Funcional	Interpretación del Biotest
<i>Bacterias Oxigénicas</i>	$10^7 - 10^9$ UFC*/gramo peso seco
<i>Bacterias Anoxigénicas</i>	Radio mínimo de Oxigénicos: Anoxigénicos en el compost 10:1
<i>Mohos y Levaduras</i>	$10^3 - 10^4$ UFC/gramo peso seco
<i>Actinomicetos</i>	$10^6 - 10^8$ UFC/gramo peso seco
<i>Pseudomonas</i>	$10^3 - 10^6$ UFC/gramo peso seco
<i>Bacterias Fijadoras de N</i>	$10^3 - 10^6$ UFC/gramo peso seco

Fuente: Bess, 1999. *UFC Unidades Formadoras de Colonias.

1.2.7.1 Test de tipo físico: Son características habitualmente utilizadas, las cuales, dan una idea aproximada de la madurez de un compost. Entre ellas se incluyen factores tales como ausencia de olor desagradable, color oscuro y temperatura estable.⁴²

- **Olor**
- **Color**
- **Temperatura estable**

1.2.7.2 Test de tipo biológico: Últimamente se están desarrollando un gran número de test biológico, con el fin de evaluar la madurez de un compost, los cuales se basan en el efecto negativo que provoca la aplicación de compost

⁴¹ NEGRO, M. Op. cit., p. 27

⁴² Ibis, p. 27

"inmaduros" sobre la germinación de las semillas debido a la presencia de compuestos fitotóxicos.

Estos test consisten fundamentalmente en la obtención de un extracto acuoso del material que es introducido en una placa Pétri de incubación donde se determina el grado de germinación. En general, un compost se considera maduro cuando el índice de germinación es superior al 50%.⁴³

⁴³ NEGRO, M y SOLANO, M. Laboratory composting assays of de solid residue resulting from flocculation of oil mill wastewater with different lignocellulosic residues. *Compost Science and Utilization*, 1996. 4 (4), 62-71.

1.3 COMO DISEÑAR Y OPERAR UN SISTEMA DE COMPOSTAJE AEROBICO ⁴⁴

Aspectos cualitativos Es importante caracterizar adecuadamente los residuos que se disponen a compostar, de acuerdo a los criterios y parámetros establecidos anteriormente. De existir alguna dificultad en los Balances de Nutrientes, se debe identificar localmente fuentes de desechos que permitan realizar las correcciones necesarias. De acuerdo a cada caso se instrumentarán los procedimientos de precompostaje necesarios y se asegurara que los residuos estén libres de contaminantes químicos, en particular metales pesados, aunque esta situación no es frecuente en desechos provenientes de la actividad agropecuaria.

Aspectos cuantitativos La cuantificación de los volúmenes que dispondremos para compostar, así como la frecuencia de ingreso de los mismos, es un dato de gran importancia, ya que permitirá calcular la necesidad de área de compostaje y determinar la Unidad de Compostaje.

Se aconseja manejar el material a compostar con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V), apartir de la fórmula $D = M/V$, expresando la Masa en toneladas (Ton.), y el volumen en metros cúbicos (m^3).

1.3.1 Unidad de Compostaje (Uc) La Unidad de Compostaje, es la masa de residuos que permitirá la conformación de un camellón o pila y que se ingresará al sistema como una unidad independiente del resto. A título de ejemplo, supongamos el caso de un “Tambo”, donde diariamente se generan 90 kg. día de excretas, con una Densidad = 0,5, tendremos entonces:

⁴⁴ Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos, Presidencia de la República Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Unidad de desarrollo municipal.

Tabla 6. Ejemplo de Calculo de la unidad de compostaje de una pila

<i>Densidad = 0,5</i>	<i>GENERACION DE RESIDUOS</i>			
	<i>Día</i>	<i>Semana</i>	<i>Quincena</i>	<i>Mes</i>
<i>Peso en ton.</i>	0,09	0,63	1,35	2,7
<i>Volumen en m3</i>	0,18	1,26	2,7	5,4

Fuente: Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos, Presidencia de la República Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Unidad de desarrollo municipal

Para este ejemplo, consideraremos como *Unidad de Compostaje*, una masa de 2,7 ton. y con un volumen de 5,4 m³.

1.3.2 Diseño del Camellón o Parva No se aconseja la conformación de parvas o camellones de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en estos pequeños volúmenes son muy bruscas. No conforme camellones con base inferior a los 2 m (dos metros). Como regla general, tome como altura la mitad de la base, los que nos permitirá obtener una buena relación Superficie/Volumen. Por ejemplo, supongamos que se toman como dimensiones del camellón las siguientes: base = 3 m / altura = 1,50 m., lo que nos da un volumen de 2,25 m³ por metro lineal de camellón. Siguiendo con el ejemplo del tambo, si el volumen mensual de residuos que se disponen es de 5,4 m³ y la capacidad de carga del camellón diseñado es de 2,25 m³ por metro lineal, el cociente entre estos dos volúmenes nos dará la longitud de la Unidad de compostaje: $5,4 \text{ m}^3 / 2,25 \text{ m}^3 = 2,4 \text{ m}$.

Nuestra Unidad de Compostaje tendrá entonces los siguientes valores:

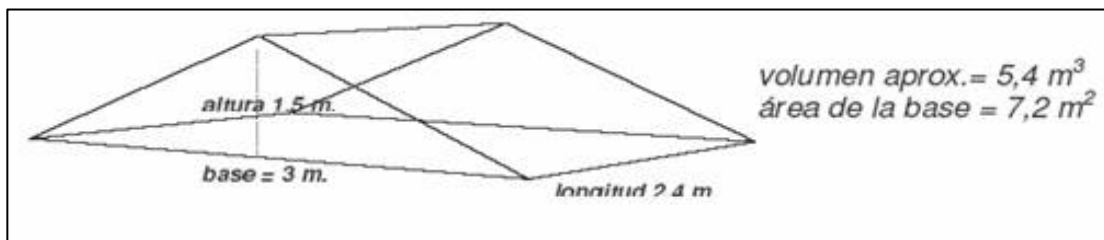


Figura 3. Ejemplo Unidad de Compostaje

1.3.3 El Tiempo de Compostaje (Tc) Se entiende por Tiempo de Compostaje (Tc), el transcurrido desde la conformación de una pila o camellón hasta la obtención del Compost estable.⁴⁵

El Tc, varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, ambiente, % de humedad relativa, etc.); manejo fisicoquímico; manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener.

El Tc, es un parámetro que puede ser controlado y establecido con cierto grado de certeza a través del conjunto de técnicas descritas con anterioridad.

1.3.4 Área de Compostaje El área donde se conforman las pilas y se lleva a cabo el proceso se denomina corrientemente *canchas de compostaje o patios*, en el cual se deben considerar los siguientes factores:

_ Deben situarse en los puntos topográficos más altos del terreno. Nunca se ubicarán en depresiones del mismo. Es necesario que el área de las canchas presente un declive superior al 1 % hacia las cotas menores del predio, con el fin de evacuar las aguas pluviales y coleccionar los líquidos lixiviados que se generan durante el proceso.

_ La impermeabilidad del suelo es otro factor a considerar, ya que es posible la contaminación de las aguas subterráneas. En suelos que no presenten una impermeabilidad natural adecuada, se deberá proceder a la impermeabilización de los mismos, así como también se impermeabilizarán los drenajes.

1.3.5 Preparación de las Canchas Una vez seleccionada el área de acuerdo a los criterios mencionados, se procederá a retirar malezas, arbustos u otros elementos que interfieran con la operación del sistema.

Posteriormente, se realizará la compactación y nivelación del terreno. Es conveniente que el área esté rodeada por una canaleta perimetral, donde

⁴⁵ CAMPOS G, José Luís. Avances en Biotecnología Ambiental: Tratamiento de Residuos Líquidos y Sólidos. 2003. p117.

desembocarán las canaletas inter-parvas, necesarias para la evacuación y posterior colecta de los líquidos lixiviados. El diseño del sistema de drenajes, admite diversas alternativas y dependerá de las características topográficas del predio y dimensiones del área de compostaje.

1.3.6 Dimensión de la Cancha La dimensión de la Cancha estará determinada por la Unidad de Compostaje (Uc) y el Tiempo de Compostaje (Tc).

Se debe considerar además el espacio necesario entre pilas o parvas a los que se llaman pasillos. Este espacio es necesario para manejar los camellones o pilas. Las dimensiones del mismo estarán sujetas a la forma en que se realicen las operaciones de remoción y aireación. Si la operativa es manual, el ancho del pasillo puede situarse en el entorno de 2 a 2,5 m. Si la operación es mecanizada (pala cargadora, tractor con pala), los pasillos tendrán el ancho suficiente para que la máquina pueda empalar perpendicularmente los camellones. Si la operación se realiza por ejemplo con un tractor con pala. El ancho del pasillo no será menor a los 4 m.

El número de pasillos se calcula como el (Nº de parvas-1), + (el área correspondiente a la mitad del área de base de una parva). Esta última área es la que permite maniobrar con amplitud.

En el siguiente esquema, damos una de las posibles distribuciones (lay -out) del sistema de compostaje que hemos manejado como ejemplo:

▪ **ESQUEMA DE UNA POSIBLE DISTRIBUCION**

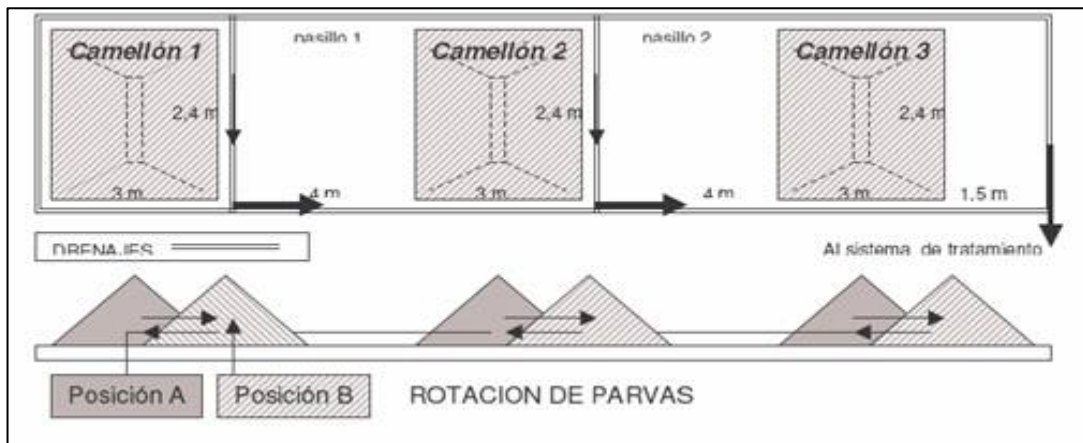


Figura 4. Esquema de Distribución de Camellones y Parvas

Como se puede apreciar en el esquema, cuando se cuenta con el material necesario para la conformación del Camellón N° 3, el Camellón N° 1, a cumplido con su $T_c = 90$. El Compost se retira y el espacio queda disponible para recibir un nuevo camellón, estableciéndose a partir del tercer mes un ciclo productivo mensual con la salida del sistema del volumen de Compost Bruto correspondiente al Camellón N° 1 y así sucesivamente. Este sistema, lo hemos denominado *Sistema Asíncrono* y nos permite una disponibilidad mensual de Compost.

▪ **MANEJO DEL SISTEMA:** Una de las reglas fundamentales a tener en cuenta para un sistema como el propuesto es mantener la independencia física de la Unidad de Compostaje (Uc). Nunca, se debe adicionar material nuevo a una Pila o Parva que ya ha sido conformada. Sólo cuando se tenga el material equivalente a la Uc, debemos instalar el Camellón. Es muy importante llevar de cada Unidad de Compostaje, registros de los datos más relevantes.

- **Aireación y Homogeneización de la masa en Compostaje** Este procedimiento, como ya se ha mencionado con anterioridad tiene dos objetivos: favorecer los metabolismos aerobios y procurar que el proceso se cumpla homogéneamente en toda la masa en compostaje. Esta operación se puede hacer tanto manualmente como mecánicamente.

- **Cuando airear y cuando regar** No existen frecuencias preestablecidas de aireación y riego que resulten aplicables para todos los casos posibles, a partir de la temperatura se puede ejercer un control sobre el proceso.

- **Control de la Temperatura** La temperatura debe ser tomada en el núcleo del camellón. Existen termómetros especialmente diseñados para este fin. Si no se cuenta con un termómetro de este tipo, pueden utilizarse termómetros para uso textil (teñidos), o bien termómetros para parafina, utilizados en laboratorios de histología. También existen instrumentos digitales.⁴⁶

Considerando la longitud del camellón (24 m.) se recomienda tomar la temperatura en dos puntos equidistantes y tomar el valor promedio aritmético entre los dos puntos.

⁴⁶ NEGRO, M. Op. cit., p. 29.

- **Control de Humedad** Para el control del contenido de humedad, puede aplicar el siguiente procedimiento empírico:

1. Tome con la mano una muestra de material.
2. Cierre la mano y apriete fuertemente el mismo.
3. Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces se puede establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
4. Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, se puede establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%.
5. Sin el material no gotea y cuando abrimos el puño de la mano permanece moldeado, se estima que la humedad se presenta entre un 20 a 30 %.
6. Finalmente si abrimos el puño y el material se disgrega, asumimos que el material contienen una humedad inferior al 20 %.

- **Control de aireación y riego por temperatura**

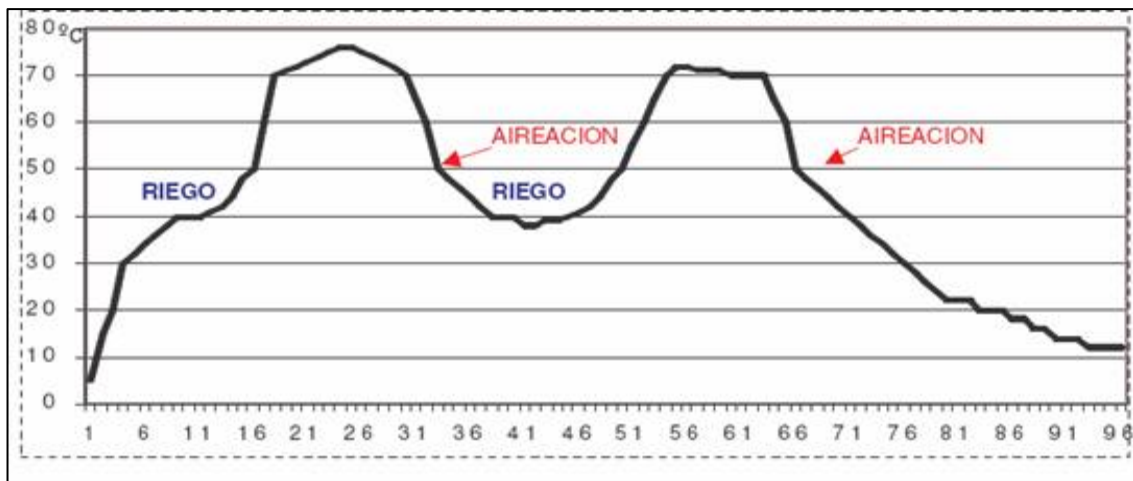


Figura 5. Control de aireación y riego

Como se visualiza en el gráfico, se recomienda realizar las aireaciones, cuando comienza a decrecer la temperatura, luego de haber alcanzado su valor máximo en etapa termogénica. Inmediatamente a la remoción del material la temperatura experimenta un descenso, y paulatinamente vuelve a subir hasta completar una nueva etapa termogénica. Puede ser posible que sólo se cumpla una sola etapa termogénica o más de dos.

Esto dependerá de múltiples factores. Si el material ha sido preparado y los camellones se han homogeneizado adecuadamente en el proceso de aireación, es frecuente que solo se presenten no más de dos etapas termogénicas. Si hay necesidad de riego es conveniente hacerlo en las etapas mesotérmicas. El riego debe ser lo más atomizado posible, para no producir cambios bruscos en la temperatura.

- **EL PROCESO DE REFINACION** No todo el material que entra al sistema de compostaje se biodegrada con la misma velocidad.

Para lograr un compost apto para su aplicación agronómica, sea en forma manual o mecánica, el mismo debe presentar una granulometría adecuada y homogénea y estar libre de elementos orgánicos o inorgánicos que dificulten su aplicación.

Hay muchas alternativas técnicas para el refinado del compost: separación balística, centrífuga, o cribado (granulométrica).

El tamaño de malla de la criba dependerá de la granulometría que se desea obtener, no obstante para utilización agrícola se recomiendan mallas de 1 cm x 1 cm. Para que este proceso, se realice sin inconvenientes es fundamental que el compost presente un contenido en humedad inferior al 20%. Los procesos de refine se realizan por razones obvias bajo techo.

Una vez culminado el proceso de compostaje, el material es trasladado al área de procesamiento y es convenientemente extendido en capas no superiores a los 30 cm., para favorecer la pérdida de humedad.

Cuando el compost presente el contenido de humedad mencionado, estará pronto para su refine. De este proceso se produce un rechazo, que dependiendo de la materia prima utilizada y de la granulometría que se desea obtener, se puede presentar en el orden del 5 al 20 %.⁴⁷

Para residuos de origen agrícola y agroindustrial, y para la granulometría indicada se debe estimar a los efectos de los cálculos un rechazo promedio del orden del 6 %.

⁴⁷ <http://www.emison.com/5145.htm>

En la siguiente tabla se puede observar un resumen de las condiciones ideales para la fermentación de los residuos:

Tabla 7. Resumen de las condiciones de un proceso de compostaje ideal

PARÁMETRO	VALOR
Relación C/N inicial	30-35:1
Relación C/P inicial	75-150:1
Tamaño de partícula	12,5 mm para plantas donde se utiliza agitación y aireación forzada, 50 mm para plantas sin agitación y aireación natural
Contenido en humedad	50-60%
Aireación	0,6-1,8 m ³ /día Kg-1 sólidos volátiles durante la fase termófila o manteniendo los niveles de oxígeno entre 10-18%
Temperatura	55° C
Agitación	Cortos períodos de agitación vigorosa, alternando con períodos sin agitación que varían desde minutos en la fase termófila a horas durante la maduración
Control pH	Normalmente no deseable
Tamaño	Cualquier longitud, pero no más de 1,5 m de alto o 2,5m de ancho en el caso de pilas con aireación natural. Con aireación forzada, depende de las necesidades para el precalentamiento.

Fuente: Fermore, 1993

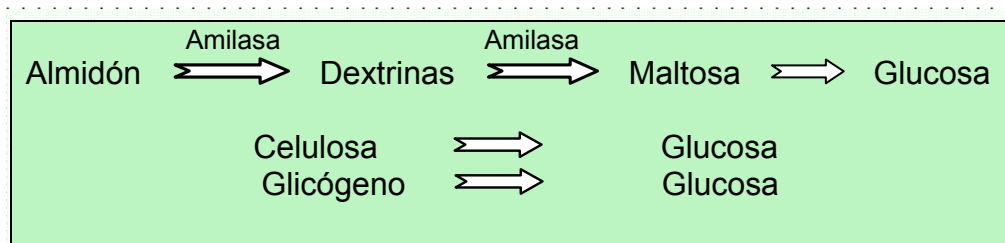
1.4 LOS MICROORGANISMOS Y SU ACCION METABÓLICA SOBRE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

En una pila de compostaje existen microorganismos, los cuales ejercen una acción enzimática sobre cada uno de los biocompuestos que conforman los residuos, para la selección de un grupo de microorganismos degradantes adecuados es necesario conocer como se metabolizan enzimáticamente estos compuestos.

1.4.1 Metabolismo de los Carbohidratos. Los carbohidratos presentes en los residuos orgánicos comprenden un gran grupo de compuestos químicos que incluyen monosacáridos (tetrosas, pentosas y hexosas), oligosacáridos (sacarosa y maltosa) y polisacáridos (almidón, celulosa y glicógeno). Para los organismos microscópicos los carbohidratos son la fuente predilecta para la producción de Energía, así mismo lo usan para la síntesis de grasas, proteínas y formación de tejido celular. A escala celular son degradados como monosacáridos.⁴⁸

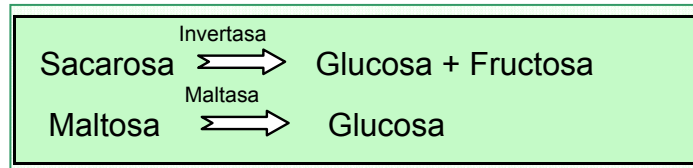
- **Degradación de polisacáridos.** Algunos *Bacillus spp*, Mohos, *Clostridium spp* y otras especies bacterianas son capaces de degradar almidón, glicógeno, celulosa, pectina y otros polisacáridos. Los polisacáridos son llevados a mono y disacáridos con ayuda de enzimas microbianas extracelulares secretadas al ambiente, estos azúcares pueden ser luego transportados y metabolizados al interior de la célula.

La hidrólisis enzimática de los principales polisacáridos presentes en los residuos ocurre de la siguiente manera:



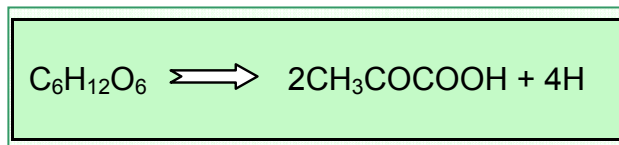
⁴⁸ MADIGAN, M., MARTINKO, J., y PARKER, J. Brock biología de los microorganismos España. 1998, p. 517.

- **Degradación de disacáridos:** Los disacáridos presentes en los desechos o producidos durante el crecimiento microbiano (Maltosa) son hidrolizados a monosacáridos dentro de las células por enzimas específicas.⁴⁹



- **Degradación de Monosacáridos:** Los monosacáridos son catabolizados por microorganismos aeróbicos, anaeróbicos y anaeróbicos facultativos por medio de varias vías que generan muchos tipos de subproductos.

Las rutas metabólicas dependen del tipo y cantidad de monosacáridos, tipo de microorganismos y potencial redox del sistema. En cualquier ruta, la conversión inicial es a ácido pirúvico a partir de una hexosa simple (generalmente Glucosa) de la siguiente manera:



Este ácido pirúvico se somete después a una serie de transformaciones exergónicas que permiten la obtención de grandes cantidades de Energía para la célula⁵⁰.

1.4.2 Metabolismo de las proteínas Los compuestos proteínicos presentes en los residuos orgánicos comprenden diferentes tipos de proteínas simples (Albúmina, globulina, queratina y colágeno), proteínas conjugadas (Mioglobina, Hemoglobina y Caseína) y péptidos con dos o mas

⁴⁹ *Ibid.*, p.519

⁵⁰ *Ibid.*, p.519

aminoácidos. También aminoácidos, urea, Creatinina, trimetilamina y otros de los grupos nitrogenados no proteínicos.⁵¹

Las proteínas y los péptidos grandes dentro de los residuos son hidrolizados a aminoácidos y péptidos pequeños por medio de proteinasas y peptidasas microbianas extracelulares. Los aminoácidos y péptidos aquí formados, junto con los que se encontraban inicialmente en los residuos son transportados al interior de la célula para su posterior metabolismo.

Dentro del compost las especies tales como *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* son capaces de producir enzimas que hacen posible esta serie de reacciones hidrolíticas y de oxidación⁵².

Finalmente ocurre la desaminación de los aminoácidos a través de diversas reacciones dentro de la célula cuya naturaleza varia si las condiciones son aeróbicas o anaeróbicas. De esta reacción se obtiene Amoniaco y Ácidos carboxílicos que serán metabolizados más adelante.

1.4.3 Metabolismo de los lípidos Los lípidos primordiales de los desechos orgánicos son los mono, di y triglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos, esteroides y ceras, siendo los glicéridos los de más abundancia.

Los microorganismos tienen baja preferencia por metabolizar lípidos que debido a su naturaleza hidrofóbica son difíciles de atacar cuando se encuentran en gran masa. En emulsión pueden ser atacados en la interfase grasa/agua. Los glicéridos son hidrolizados por lipasas extracelulares generadas por algunos microorganismos presentes en el compost (*Bacillus spp* y *Pseudomonas spp* y hongos como *Aspergillus* y *Penicillium*) dando como resultado la liberación de glicerol y ácidos grasos.

Estos ácidos grasos sumados a los ácidos producidos en la desaminación y los producidos por la fermentación de los carbohidratos son transformados por oxidación beta a través de una serie de pasos donde finalmente los ácidos grasos son transformados en moléculas de ácido acético⁵³.

⁵¹ NEGRO, M. Op. cit., p. 31

⁵² GARZON, M., GUTIERREZ, E. y RIOS, J. Producción a escala de laboratorio de un pool de microorganismos aceleradores de compostaje. Tesis de Grado. Ingeniería Química UIS, p.30

⁵³ MADIGAN, M., MARTINKO, J., y PARKER, J. Op. cit., p. 521.

1.5 PRINCIPIOS DE ALIMENTACIÓN ANIMAL:

Se entiende por alimentación animal el proceso mediante el cual los seres vivos incorporan nutrientes a sus organismos de tal forma que se adquiera la energía esencial para cumplir las funciones elementales. Estos alimentos deben buscar los mejores rendimientos económicos y biológicos para lo cual se deben tener en cuenta los factores de cada especie como genéticos y de raza.

Factores como los altos costos de los concentrados comerciales tanto para nutrir rumiantes como monogástricos, la disminución de los alimentos frescos durante la época seca (que implica una reducción de la producción de materia seca y de su valor nutritivo) hacen necesario buscar e implementar nuevas alternativas alimentarias, que permitan mantener la productividad de los animales de la finca y asegurar su adecuada alimentación.⁵⁴

La gran biodiversidad florística subregional ofrece muchas especies cuyos frutos, tubérculos o forrajes (fuente de proteínas y de carbohidratos) podrían ser materias primas que permitan elaborar en las fincas alimentos concentrados con nutrientes básicos, para una buena alimentación a un menor costo.

Tabla 8. Análisis de Materias Primas Utilizables en la Elaboración de Alimentos Balanceados para Animales

Ingredientes	Materia Seca %	Proteína Bruta %	Grasa %	Fibra Cruda %	Ceniza %	Calcio%	Fósforo%
Pollinaza	89,7	28,19	1,9	11,74	21,44	4,3	1,33
Harina de Carne Criolla	91,86	39,19	12,74	3,54	35,75	11,58	4,97
Harina de Huesos	92,38	28,42	9,84	3,72	40,6	15,42	7,6
Harina de Tilapia (entera)	94,36	58,32	25,11	1,07	16,5	4,3	2,83
Harina de Cabeza de Camarones	96,24	51,44	11,41	13,67	24,06	7,11	1,76
Harina de Cabeza de Langostas	95,25	49,06	4,19	5,19	33,81	8,68	0,97

Fuente: Castellanos, 1994.

⁵⁴ Ortíz, C. 2003 CAB, Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología N°114. Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. p.5.

Dentro de los nutrientes indispensables para la alimentación animal se encuentran las proteínas, los carbohidratos, los lípidos, las vitaminas y los minerales. Todos estos se destinan para el mantenimiento, crecimiento, producción y reproducción. Un concepto muy importante en nuestros sistemas de producción es la energía. Esta proporciona el calor necesario para la realización del trabajo.

Al hablar de los alimentos que dan energía es importante considerar las proteínas. Estas son los constituyentes esenciales de los músculos, la sangre y la piel. Son sustancias sumamente complejas formadas por aminoácidos.

Otros nutrientes importantes en la alimentación son las vitaminas. Estas se necesitan en cantidades muy pequeñas en comparación con otros nutrientes básicos. Por otro lado los minerales desempeñan un papel muy importante en la nutrición. Son esenciales para sostener los procesos del organismo. El esqueleto de los organismos esta formado principalmente por calcio y fósforo; el potasio se encuentra principalmente en los músculos; el hierro en la sangre y el yodo en la glándula tiroides.

Existen diversos factores internos y externos que regulan el consumo voluntario de alimento en los animales como:⁵⁵

- **Nivel energético de la ración:** Los animales consumen alimento hasta que se encuentran satisfechos.
- **Contenido de proteína de la ración:** Si la dieta es pobre en proteína el consumo de alimento se incrementa.
- **Palatabilidad del alimento:** Se expresa como sabor, olor, textura, temperatura y consistencia del alimento y cuando es poco gustoso para los animales el consumo disminuye.
- **Presencia de toxinas en el alimento:** Este es un mecanismo de defensa cuando existen sabores extraños en el alimento.

⁵⁵ Ibis, p 7

- **Capacidad del aparato digestivo:** Cada especie animal posee su tamaño de estomago y se alimenta hasta que este se llena.
- **Grado de digestibilidad del alimento:** Entre más digestible sea el alimento más rápido abandona el tracto digestivo aumentando el apetito del animal.
- **Temperatura ambiental:** Generalmente el consumo del alimento disminuye cuando la temperatura cuando la temperatura sube por encima de los 25°C.

Los problemas de una mala alimentación en los animales son que pueden soportar uno o dos períodos productivos sin que se afecten sus rendimientos debido a las reservas corporales que poseen, pero si la alimentación no se corrige para los siguientes períodos estas reservas corporales se gastan y la consecuencia será que haya necesidad de eliminar a los animales con bajos rendimientos.

Una ración es una mezcla de ingredientes alimenticios que se suministran al animal con el fin de cubrir todos los requerimientos de producción y reproducción. Existen dos formas de suministrar el alimento:

A voluntad en donde los animales tienen acceso libre y permanente a la dieta, y el suministro restringido en donde se entrega una cantidad determinada a una hora señalada.

De igual forma existen tres tipos de dietas: La básica, la suplementaria y la complementaria. En la dieta básica se busca que nuestros animales consuman los requerimientos mínimos necesarios para el mantenimiento de sus funciones corporales en forma adecuada. Es la que se consume normalmente en un potrero cuando se encuentra a libre exposición (Vacas, cerdos, pollos, etc.) en donde ellos rebuscan en el suelo las plantas y organismos que llenen estas necesidades.

La dieta suplementaria es aquella en donde se nota que los animales a libre exposición no llenan todos sus requerimientos necesarios para una etapa

productiva óptima (llámese lactancia, parto o producción) por lo que se agrega el alimento que pueda llenar esta deficiencia: como torta de soya,, auyama o follaje de matarraton para incrementar la proteína o sal mineralizada para los requerimientos de minerales.⁵⁶

En la dieta complementaria se entregan todos los requerimientos nutricionales que demandan los animales de nuestra explotación (como el alimento concentrado), de acuerdo con cada estado fisiológico, en tal forma que no se presenten mermas en los crecimientos o incrementos productivos, ni que tengan que estar deambulando de un lado para otro en busca del alimento que llene los requerimientos que se necesiten.

1.5.1 Alimentación de rumiantes y monogástricos⁵⁷ El proceso digestivo busca la hidrólisis de los nutrientes destinados a la obtención de las sustancias necesarias para el mantenimiento y la producción del animal y a la vez eliminar los desechos del mismo. Este proceso digestivo en los animales superiores presenta variaciones relacionadas con el tamaño del aparato digestivo y sus partes y con la presencia de actividad enzimática y microbiana; de acuerdo con lo anterior existen dos grandes grupos de animales herbívoros:

- Los rumiantes como la vacas, ovejas y cabras; que recurren a la división de su estomago principal en cuatro compartimentos en tal forma que se desarrolla una actividad microbiana que permite degradar cualquier alimento por más fibroso que sea.
- Los herbívoros monogastricos, como caballos y conejos presentan un notable desarrollo de compartimentos como el rumen y el ciego, respectivamente en donde se lleva a cabo una intensa actividad microbiana de fermentación que permite un mayor aprovechamiento de forrajes y de subproductos agroindustriales.

Otros monogastricos como cerdos, aves y peces presentan un tracto digestivo menos desarrollado, el cual sólo tiene las estructuras básicas, y se

⁵⁶ Ibis, p.8

⁵⁷ Ortíz, C. 2003 CAB, Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología N° 114. Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. p.8

limita a realizar procesos enzimáticos tradicionales, obligándolos a consumir alimentos de gran calidad.⁵⁸

En los carnívoros y monogástricos en general el tubo digestivo es más corto y desarrolla procesos enzimáticos más fuertes para aprovechar los nutrientes en la dieta alimentaria. Para todos los animales el proceso digestivo se inicia en la boca con la toma del alimento y finaliza en el ano con la excreción de residuos o excrementos.

Generalmente los monogástricos se explotan en áreas reducidas y en una densidad de alta población (aves de 6 a 8 en m²; cerdos 1 por m², peces de 1 a 3 por m²) por lo que requieren de alimentos bien balanceados que llenen todas sus necesidades. Para estas especies una alimentación mal balanceada no sólo reduce los rendimientos productivos sino que se ve rebajada con la rentabilidad del productor.

Estas especies poseen un sistema digestivo desarrollado para ingerir alimentos de una gran cantidad proteínica (proteína elaborada), permitiendo un pase rápido por el tracto digestivo. Cuando se dispone de alimentos energéticos se debe dar a los monogástricos menor cantidad de concentrado pero con alto contenido de proteína.⁵⁹

No así con los poligástricos o rumiantes que poseen un tracto digestivo más largo y en donde se desarrollan actividades enzimáticas que permiten el consumo de alimentos con menor valor proteico y en donde se alimentan a los microorganismos que viven en su interior principalmente para que estos desarrollen su actividad y proporcionen el alimento necesario al huésped (cabras, vacas u ovejas), ya que sólo una parte de la proteína requerida por el rumiante es suplida por la síntesis de proteína microbiana quedando una gran cantidad de nitrógeno sobrepasante al intestino; a esto se debe el interés por utilizar fuentes proteicas de baja degradación en el rumen para mejorar el incremento de peso vivo.

Cuando los animales están a libre exposición (sin restricción en el consumo de alimento), llenan sus requerimientos nutricionales de acuerdo con sus necesidades y al volumen de su aparato digestivo. No sucede lo mismo cuando se tienen en establo en donde se les debe suministrar los

⁵⁸ Op cit, p. 9

⁵⁹ MONROY, O. y VINIEGRA, G. Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. México. 1990. p. 47.

requerimientos nutricionales adecuados en tal forma que no se desmejoren los ingresos que se obtendrían por la venta del producto (llámese pollo, huevo, leche, otros).

Debido a esto, como el alimento que vamos a suministrar es balanceado y llenará los requerimientos que necesita la especie animal por criar, de acuerdo con su estado fisiológico, se ha establecido una tabla basándose en un porcentaje del peso vivo de los animales para evitar un desperdicio mayor del alimento y/o que se engorden demasiado acarreado mala presentación de nuestro producto final y menores ingresos para el productor.

La siguiente es la relación de las raciones de concentrado diarias aconsejadas para algunas especies domesticas:

Tabla 9. Relación de las raciones de concentrado diarias para algunas especies

ESPECIE	ESTADO FISIOLÓGICO	RACIÓN (PESO)
Cerdos	Levante (de 15 a 45 kilos)	0.5 kilos / día
	Engorde (de 45 a 70 kilos)	1 kilos / día
Pollos de Engorde	Iniciación (30 días)	33 gramos / día
	Engorde (15 días)	200 gramos / día
Aves ponedoras	Iniciación (hasta 5º mes)	5 gramos / día
	Producción (de 5º a 12º meses)	120 gramos / día
Vacas y novillos	1 a 2 años	2 a 4 kilos / día
	Mayor de 2 años	4 a 6 kilos / día

FUENTE: Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. N°114. Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología

1.5.2 Alimentos balanceados:⁶⁰ La demanda de alimentos balanceados en el país resulta relativamente baja si se compara con la población animal existente. Esta comparación arroja el resultado siguiente: De las aves, que resultan ser la excepción del caso, prácticamente el 100% esta bajo explotación intensiva. Sin embargo, del ganado bovino y porcino se estima un 10% para el primero y un 0.8% para el segundo como población que consume alimento balanceado.

⁶⁰ Ortíz, C. 2003 CAB, Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología N° 114. Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. p.13

La melaza de caña utilizada en el balance de raciones es una fuente importante de carbohidratos pues su bajo precio permite hacer un amplio uso de ella.

Es así como podemos considerar el alimento balanceado para animales como un bien de consumo intermedio compuesto por ingredientes de origen agrícola, animal y mineral. Los principales ingredientes de origen agrícola son los cereales como el sorgo, el maíz y las tortas de semillas oleaginosas, subproductos que resultan de haber removido la mayor parte del aceite. Los productos de origen animal (harina de carne, harina de sangre, harina de pescado, harina de hueso, productos lácteos, entre otros) y los ingredientes de origen mineral (calcio, fósforo, sal, entre otros) se administran en cantidades más pequeñas que los de origen vegetal, ya que su finalidad es compensar las deficiencias de algunos aminoácidos, minerales y vitaminas necesarias para mejor asimilación del alimento.⁶¹

Se debe tener en cuenta que un análisis bromatológico sólo nos está indicando la composición que tiene este alimento, pero no nos indica la digestibilidad que implique cada uno de sus compuestos; por ejemplo, la harina de plumas de aves puede tener un gran nivel de proteína (más del 65%) pero su escala de digestibilidad es casi nula y al ser utilizado en nuestro alimento no va a nutrir en forma adecuada a los animales incrementando las pérdidas de peso a que se pudiera llegar. Un caso similar pasa con la harina de sangre que tiene un grado de proteína del 80% pero su digestibilidad es sólo del 20%, utilizándose ocasionalmente por los rangos de la vitamina lisina que tiene.

Es importante hacia el futuro involucrar como ingredientes de la elaboración de concentrados algunas especies vegetales de gran riqueza alimentaria, de rápido crecimiento, fáciles de manejar en cultivo asociado y de alta productividad tales como: arracacha, bore, auyama, papa, yuca, frijol, guandú, chachafruto, ñame, árbol del pan y otros.

Un concentrado se debe administrar de acuerdo con la especie animal que se explota y el estado fisiológico en que se encuentra. En la siguiente tabla se muestran los requerimientos nutricionales que siguen las fábricas productoras de alimentos concentrados para algunas especies:

⁶¹ MONROY, O. y VINIEGRA, G. Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. México. 1990. p. 48

Tabla 10. Composición alimentaria recomendada por las fábricas de concentrados

COMPOSICIÓN	CERDOS		GANADO LECHE	POLLOS		PONEDORAS		PECES INICIACIÓN
	Levante	Engorde		Iniciación	Engorde	Iniciación	Producción	
Proteína mínima	17.0%	12.5%	11.0%	22.0%	18.0%	22.0%	17.0%	1.4%
Grasa mínima	3.0%	3.0%	2.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.2%
Fibra máxima	6.0%	8.0%	26.0%	5.0%	5.0%	5.0%	6.0%	3.2%
Cenizas máx.	9.0%	9.0%	10.0%	8.0%	8.0%	8.0%	15.0%	2.7%
Humedad máx.	12.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	6.5%
Calcio mín.							3.23%	
Fósforo mín.							0.65%	

Fuente: Valores promedios en la composición de los concentrados de las fábricas Contegral, Finca y Purina.

Para desarrollar un alimento balanceado a nivel de finca o utilizar subproductos se deben tener en cuenta factores como:⁶²

- La calidad de la proteína para balancear la ración.
- La cantidad de fibra de los insumos.
- La disponibilidad de materiales y equipos.

Es de suponer que de todas las materias primas para la elaboración de los concentrados, al ser sometidas a diferentes tratamientos de calor, almacenado y secado pierden varios de sus nutrientes y no llenan todos los requerimientos mínimos en vitaminas y minerales, por lo que es conveniente adicionarlos al momento de la homogeneización pudiendo ser conseguidos bajo diferentes presentaciones a escala comercial. Otro de los compuestos que se adiciona es un preservante, ya que al ser un alimento que requiere almacenamiento por largo tiempo se pueden presentar problemas por hongos o ranciamiento debido a la alta proporción de aceites, humedad y deficiencia en el secado de alguna de estas materias primas.

De igual forma se debe tener en cuenta la composición alimentaria de cada uno de los productos para no sobrepasar los niveles de proteína de la ración.

La siguiente es la composición promedio de algunos de ellos:

Tabla 11. Composición alimentaria de algunos productos utilizados en el ganado

Especie	Grasa	Fibra	Proteína	Ceniza	Carbohidratos
Frutopán	6.8	4.1	11.3	4.9	62.8
Semilla de guandú	1.4	7.8	23.0	4.0	51.2
Auyama	2.5	11.0	9.6	8.0	62.8
Plátano	0.4	0.1	2.0	1.7	82.7
Follaje de maní	4.0	22.0	4.0		
Follaje de matarratón	3.0	4.0	24.0	4.0	

FUENTE: Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. N°114. Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología

⁶² Op cit, p 49

La premezcla de vitaminas y minerales puede ser adquirida en una casa comercial; las cuales, al igual que las demás materias primas (auyama) se combinan en la mezcladora. Generalmente el almacenado de estos alimentos se hace en bolsas de fibra sintética (poliuretano) de 40 kilogramos con una etiqueta en su costura o interior en donde se garantiza cuál es la composición mínima que tiene el producto y los elementos que hacen parte integral del concentrado sin detallar su composición ni proporción dentro de este.

1.6 SELECCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS ACELERADORES.

El objetivo principal fue acelerar el proceso de fermentación de la pollinaza mediante la aplicación de un pool de microorganismos oxigénicos que actuaran en conjunto. Para seleccionar el pool de microorganismos es preciso conocer ciertos criterios de elección (anteriormente citados, acción metabólica) dentro de la gran variedad microbiológica existente en los residuos.⁶³

1.6.1 Relación de las especies microbianas. En los residuos orgánicos, existe una gran variedad microbiológica relacionada entre sí, ya sea de tipo benéfico o perjudicial. Estas relaciones permiten realizar procesos de degradación orgánica de una forma sinérgica. De acuerdo con lo anterior, se prefirió aislar los microorganismos nativos de la pollinaza, ya que al pertenecer a un proceso natural de descomposición, una vez sean adicionados a la pila en proporciones similares a las que existen naturalmente en el compost, no alteraran en forma drástica el equilibrio microbiológico.⁶⁴

1.6.2 Etapas del compostaje susceptibles a aceleración. Diferenciando etapas que se desarrollan en el proceso de fermentación, la elección de los microorganismos se debe enfocar hacia las fases mesofílicas, por ser allí donde el proceso gasta más tiempo (12 a 20 días), mientras que la fase termófila dura aproximadamente de 3 a 4 días.

Al aplicar un número mayor microorganismos la actividad metabólica se incrementará de forma tal que la temperatura se elevará más rápido alcanzando el pico máximo en menor tiempo. Con respecto a la etapa mesofílica 2, cuyo final está determinado por la biodegradación mayoritaria de todos los residuos, se determinará por las interacciones tanto benéficas como perjudiciales que permite llevar a cabo efectivamente los procesos de degradación orgánica de una forma sinérgica, agotando más rápido estas sustancias, lo cual estabiliza el proceso.⁶⁵

⁶³ GARZON, M., GUTIERREZ, E. y RIOS, J. Op. cit., p. 31

⁶⁴ *Ibid.* p.32.

⁶⁵ *Ibid.* p.32.

1.6.3 Requerimientos enzimáticos de la biodegradación de residuos.

Cada uno de los microorganismos presentes en los residuos orgánicos aporta sus complejos sistemas enzimáticos, que sumados logran la transformación de estos materiales. No obstante dentro de este grupo existen cepas particularmente activas en la producción de una amplia variedad de enzimas que juegan un papel primordial en las distintas tareas de biodegradación.

Según investigaciones previas (Gray, 1973) se ha podido determinar que los géneros que tienen una mayor participación en el metabolismo de los biocompuestos son las bacterias, hongos y actinomicetos; y dentro del grupo de las bacterias están los *Bacillus* y *Pseudomonas*.⁶⁶

Bacillus. Este tipo de microorganismos posee un rápido metabolismo capaz de producir una gran cantidad de enzimas del grupo de las carbohidrasas y proteasas, las cuales actúan sobre los almidones, azúcares y proteínas.

Pseudomonas. Además de hidrolizar polisacáridos por su producción de carbohidrasas, son útiles en los procesos de oxidación de los residuos de tipo hidrocarburos y sus derivados, y de lípidos por su producción de enzimas oxidorreductasas.

Actinomicetos. Complementan la actividad de las *Pseudomonas* en materia de degradación de hidrocarburos alifáticos y aromáticos y de compuestos lignocelulósicos, ya que producen enzimas del tipo desmolíticas o respiratorias y del tipo celulasas.

Hongos. Son importantes en los procesos de amonificación y descomposición de lignocelulosas por su producción de enzimas del tipo hemicelulosas y celulasas. Así mismo sus enzimas carbohidrasas permiten atacar fácilmente residuos con altas concentraciones de polisacáridos.

De acuerdo a los anteriores criterios, los microorganismos finalmente seleccionados fueron aquellos mesófilos, que aislados del proceso de fermentación pertenecían a los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, hongos, *actinomicetos*, levaduras y géneros de la familia enterobacteriaceae que con

⁶⁶ GRAY, K y BIDDLESTONE; A. The Chemical Engineering. London. 1973. p 89.

sus referencias en cuanto a procesos de degradación orgánica, no afectaran, ni produjeran ninguna consecuencia negativa a los animales.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se llevó a cabo en la Granja Avícola “La Rosita”, propiedad de INDUPOLLO S.A. Ubicada en el Municipio de Turbaco del Departamento de Bolívar a 100 m.s.n.m., jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique-CARDIQUE, Ecorregión Zona Costera y las pruebas simultaneas de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Microbiología del Centro de Innovación en Biotecnología Industrial y Biología Molecular (CINBIN) sede UIS-Guatiguará.

La granja La Rosita cuenta con un área total de 4.556 m². La cual está constituida por 6 galpones con dimensiones de 134 m de largo por 34 m de ancho. Cada galpón con capacidad para 25.000 pollos, para un total de 150.000 pollos, con una densidad poblacional de 12.5 animales/m² aproximadamente. La producción total de pollinaza de los galpones de acuerdo con el área de 12.012 m² es de 192.192 Kg. (192,19 Ton.)/ ciclo productivo (56 días).

El proyecto incluye desde la recolección de la pollinaza hasta la ejecución de la metodología que permitió la aparición de los microorganismos en los diferentes estados del bioproceso los cuales transformaron la pollinaza hasta convertirla en alimento para el ganado de engorde con la adición posterior de torta de ahuyama y melaza para mejorar la palatabilidad del concentrado. A continuación se procederá a formular las dietas mejoradas de acuerdo a la evolución de los animales y con la colaboración del profesional experto (veterinario).

2.2 METODOLOGÍA

La fermentación de la pollinaza para la obtención del alimento se realizó en varias etapas experimentales como se observa en la figura 6, iniciando con la toma de muestras de pollinaza, análisis Físico-Químico y Microbiológico de la muestra, seguido por el aislamiento e identificación de los microorganismos

Oxigénicos, selección del pool de Microorganismos oxigénicos aceleradores del proceso, Curvas de Crecimiento del pool seleccionado, bioaumentación y utilización en los residuos avícolas, a continuación al alimento obtenido se le realizó análisis Físico, Químico y Microbiológico para terminar con la etapa de formulación de dietas específicas para el aporte constante nutricional y de ganancia en peso continuo del ganado bovino en observación y control (relación de alimento elaborado, heno, melaza y torta ahuyama).

2.2.1 Primera etapa (Muestreo) La recolección de la materia prima se realizó en la Granja Avícola “La Rosita” perteneciente a INDUPOLLO-Cartagena entidad financiadora del presente proyecto.

La materia orgánica seleccionada para la fermentación fué Pollinaza de ambiente controlado, compuesta esencialmente de material de cama, plumas y estiércol fresco; además presenta un tiempo de retención de 2 meses.

2.2.2 Caracterización de la pollinaza Se tomarán muestras de la pollinaza que ingrese al sitio de procesamiento con el fin de realizar las caracterizaciones Químicas, Físicas y Microbiológicas.

2.2.2.1 Análisis físico-químico del sustrato Para la determinación de los parámetros Físicos-Químicos de la pollinaza, se muestrearon las pilas de compostaje en serie por 7 veces, antes y después de la fermentación, a diferentes alturas.

La caracterización se llevo acabo en el Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE, los parámetros medidos fueron: Relación Carbono / Nitrógeno (C/N), Materia Orgánica (MO), Fósforo Total (P), Nitrógeno (N), Humedad, Grasas, Fibras, Proteínas, Cenizas, pH, Temperatura, Textura, y Color.

2.2.2.2 Análisis Microbiológico El análisis microbiológico de la pollinaza consta de tres etapas: Caracterización microbiológica, Determinación de la calidad sanitaria del alimento y recuento de microorganismos benéficos.

- a. **Caracterización Microbiológica** La importancia de esta etapa radica en la identificación de los microorganismos autóctonos útiles en la fermentación acelerada de la pollinaza. La Metodología empleada se resume en la Figura 7.

- **Siembra y Aislamiento de microorganismos oxigénicos de la pollinaza:** El aislamiento de los microorganismos se realizó a partir de una pila de pollinaza fresca de un galpón de la granja Avícola “La Rosita”. El muestreo se realizó a diferentes alturas de la pila de compost, una cuando la fermentación alcanzó etapa mesofílica 1 (36°C). La segunda muestra se tomó cuando el proceso alcanzó la etapa mesofílica 2, (36°C), en cada una de estas dos etapas se realizaron 3 replicas al muestreo, asegurando gran cantidad de microorganismos mesófilos.

Se pesaron 25 gramos de la muestra homogénea de la pollinaza, se adicionaron en 225 ml de caldo Tioglicolato, se incubó a 37°C por 48 horas; a las 24 horas se tomó una primera muestra y otra a las 48 horas, para permitir un adecuado desarrollo de los microorganismos.

A continuación se sembró por superficie en medios de cultivo selectivos (Agar Nutritivo, Agar MacConkey, Agar Sabouraud y Agar YGC) y medio modificado sólido de pollinaza al 40%. Las Bacterias se incubaron durante 24-48 horas a 37°C, y los Hongos se incubaron a 25°C durante 5 días, después de este tiempo se realizaron con el fin de aislar las especies aceleradoras. Los medios utilizados fueron preparados con ingredientes naturales y sintéticos.⁶⁷

b. Calidad Sanitaria En esta etapa se analizará la microbiota total y patógena que se encuentra en la muestra. Este análisis requiere de recuento total de microorganismos mesófilos aerobios, Coliformes Totales y Fecales, recuento de mohos y Levaduras, *Clostridium* Sulfito Reductor (CSR) y *Salmonella spp.* La metodología fue la siguiente:

Se preparó un homogenizado tomando 225 ml de solución Peptonada estéril y 25 gramos de pollinaza (dilución 1:10), se mezcló y luego se procedió a hacer una serie de diluciones $1/10^2$, $1/10^3$, $1/10^4$ hasta $1/10^9$.

⁶⁷ Manual OXOID limited. Medios de cultivo ingredientes para su preparación y otros elementos de laboratorio. Cuarta edición, 1981

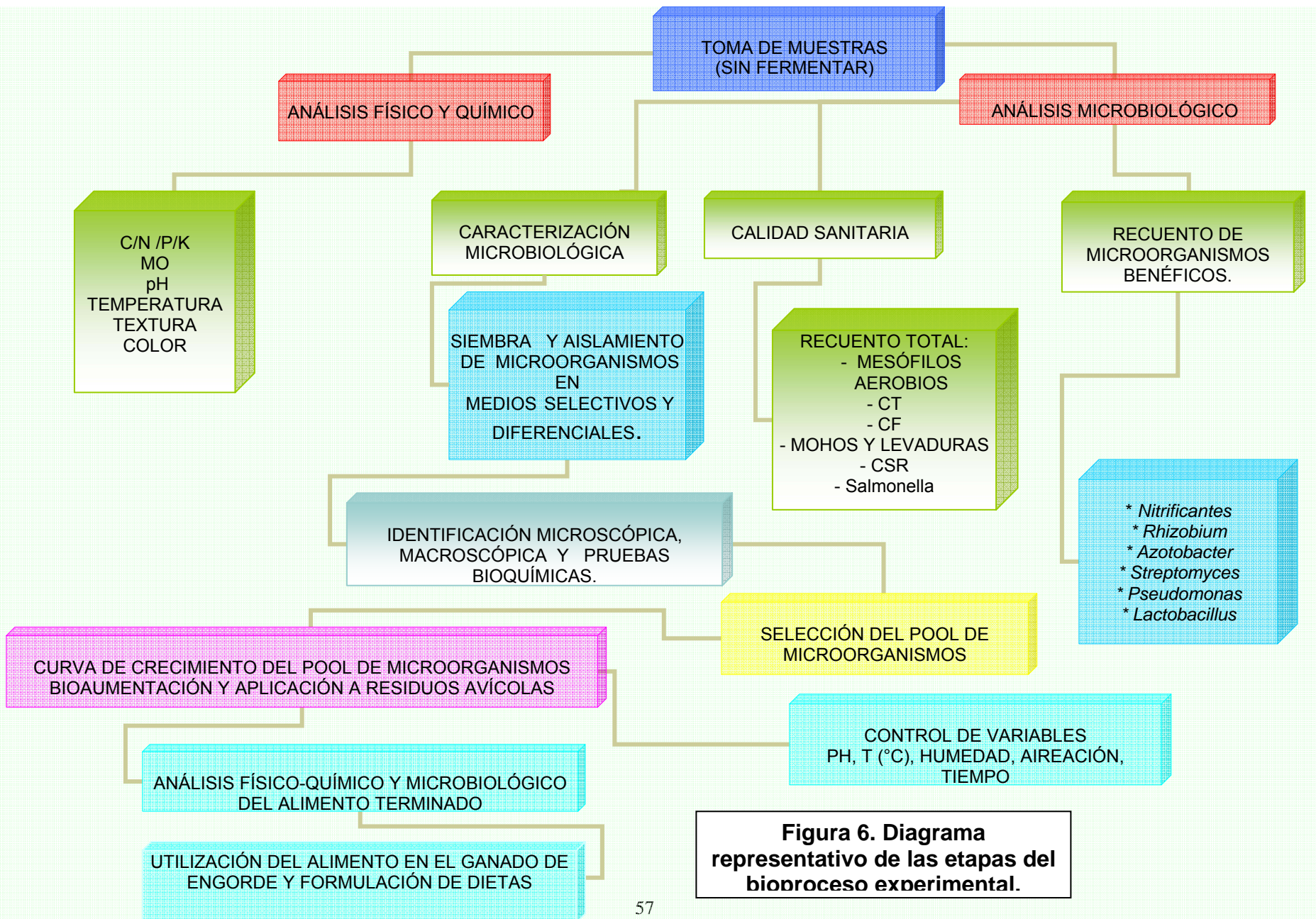


Figura 6. Diagrama representativo de las etapas del bioproceso experimental.

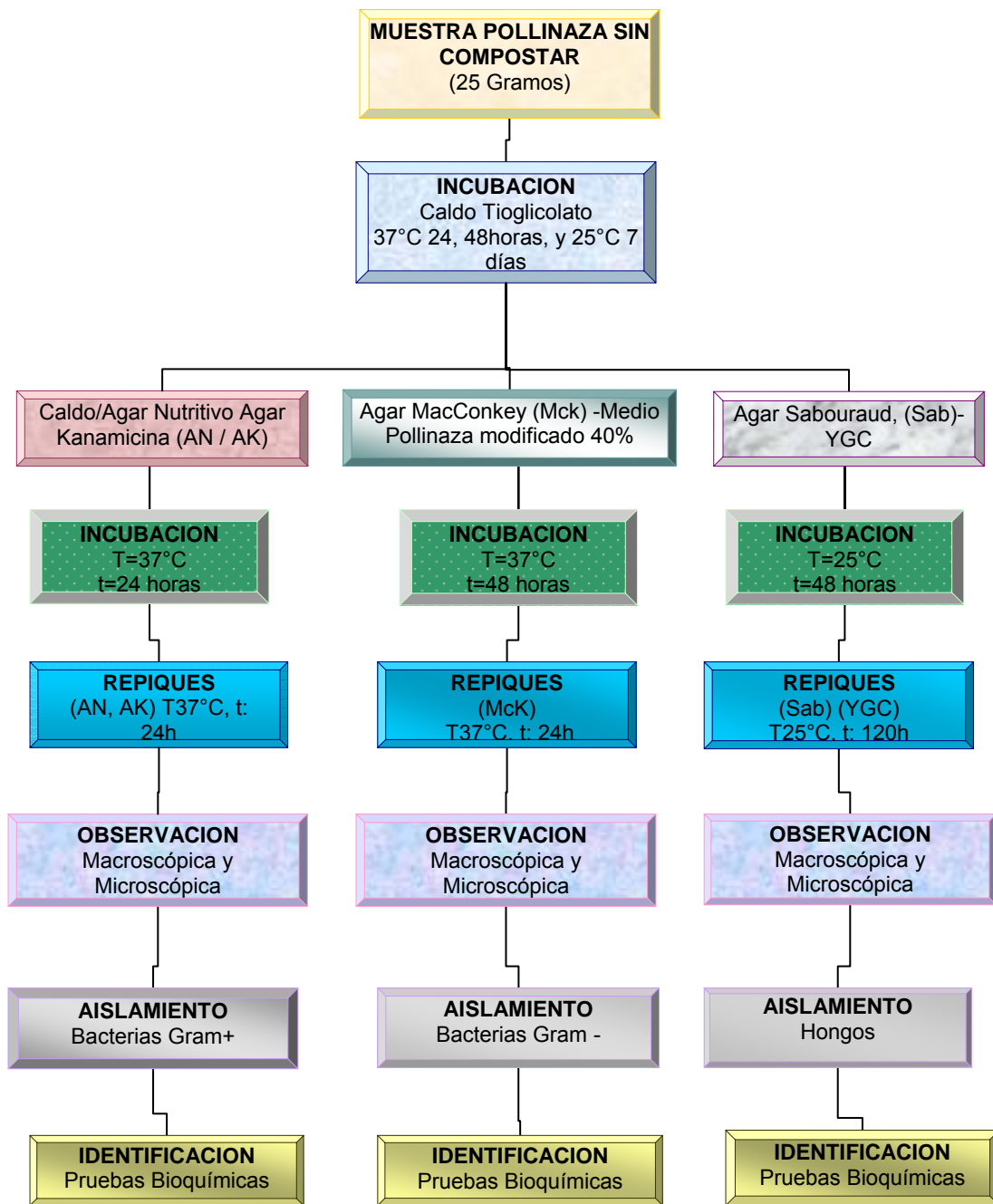


Figura 7. Metodología de la caracterización microbiológica de la Pollinaza.

✚ Para el recuento de **Mesófilos** se hizo siembra profunda en una caja de pétri estéril tomando 1 ml de la dilución $1/10^9$, se agregó Agar de

- ✚ Recuento fundido mezclando muy bien el inóculo con el Agar, se dejó solidificar e incubó a 37°C por 24-48 horas. Al finalizar el crecimiento se realizó el recuento de colonias en la cámara de Québec y multiplicándose por el factor de dilución utilizado, informando el resultado como UFC/gr de compost.

- ✚ El recuento de **Coliformes Totales y Fecales** se realizó de igual forma que el anterior pero el medio de cultivo utilizado fue Chromocult. Se contaron tanto las colonias de color rojo o rosado y las violeta para Coliformes Totales y solamente las de color violeta para el recuento de Coliformes Fecales. Ambos recuentos se informaron como UFC/gr de pollinaza.

- ✚ Para los **Mohos y Levaduras** se sembró en superficie tomando 0,1 ml de la dilución respectiva, se colocó en el centro de la caja de pétri estéril con medio YGC, se extendió con una espátula Driglaski hasta que la muestra se absorbió completamente en el medio y se incubó a Temperatura Ambiente, de 3-5 en este tiempo realizamos el conteo de colonias.

- ✚ Para determinar la presencia o ausencia de ***Salmonella spp.*** Se midieron 10 ml del homogenizado y se incubaron de 12 a 24 horas a 37°C (enriquecimiento no selectivo), posteriormente se adicionó una pastilla de *Salmosyst* dejando en reposo por 30 minutos. Luego se agitó fuertemente y se incubó por 6 a 8 horas (enriquecimiento selectivo), a continuación se realizó el repique por agotamiento tanto en medios selectivos como en diferenciales para *Salmonella* (SS. Brilla). A las colonias sospechosas se les realizó pruebas Bioquímicas, y se informo como presencia ausencia de *Salmonella*.

- ✚ Recuento de **Clostridium Sulfito Reductor**. Se manejó el medio selectivo para *Clostridium* (medio SPS) en tubo fundido. Se adicionó 1 ml de la respectiva dilución e inoculó en el medio SPS a una temperatura de 45 a 50°C, se agregaron cuatro gotas de aceite mineral y se dejó solidificar incubando en ambiente anaerobio por 72 horas. Por último se verifico el recuento de las colonias informando el resultado como UFC de CSR/gr de compost.

c. Recuento de microorganismos benéficos Esta etapa se fundamenta en el análisis de la carga microbiana de los

d. microorganismos benéficos en el compost, entre los que se encuentran las Bacterias Nitrificantes, *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Streptomyces*, *Lactobacillus* y otros. Para obtenerlos es necesario homogenizar la muestra en una solución diluyente preparada con agua desmineralizada.

- *Homogenizado*: Se pesaron 5 gramos de la muestra de compost adicionándolos en 99 ml de extracto de suelo estéril o en solución Ringer + gelatina y se agitó a 150 rpm durante 15 minutos.

- *Siembra*: Se sembró 0,1 ml del homogenizado sobre el medio de cultivo selectivo para cada uno de los microorganismos benéficos (Anexo1) extendiéndolo con una espátula driglaski. Se incubó de 3 a 5 días a temperatura ambiente, y se procedió al respectivo recuento de bacterias.

2.3 IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS EN MEDIOS SELECTIVOS Y DIFERENCIALES.

Esta etapa se realizó teniendo en cuenta las características morfológicas y bioquímicas en las colonias.

* **Identificación Macroscópica:** Para las Bacterias se tuvo en cuenta: tamaño, forma, borde, aspecto, color, superficie y pigmentación; para los hongos: tipo de colonia, forma de la colonia, velocidad de crecimiento, color del micelio, pigmento difusible al medio, color del haz y del envés entre otros.

* **Identificación Microscópica:** (Tinciones Gram. y Azul de Lactofenol). Para el caso de las bacterias se utilizó la metodología propuesta en el manual Bergey's de Bacteriología determinativa (1984). La validación de las tinciones se realizó con las pruebas bioquímicas típicas comparativas dependiendo de su clasificación taxonómica. En el caso de los hongos se empleó el manual de Micología descriptiva, las claves de Barnett y Hunter, 1972, Samsom *et al.*, 1981; Malloch, 1997, y Rojas, 1997.

Al aislar e identificar los microorganismos se procedió a realizar siembras de las cepas puras en medios líquidos y sólidos para su conservación en nevera a -70°C , con su respectiva ficha de Ingreso al Cepario del Laboratorio de Microbiología del CINBIN.

2.4 SELECCIÓN DE MICROORGANISMOS OXIGÉNICOS ACELERADORES.

Esta etapa consistió en la selección de los microorganismos de acuerdo a las características fisicoquímicas del proceso de fermentación, en el tipo de actividad a la cual se va destinar los desechos orgánicos y en sus características de degradación.

El mejor medio se escogió por aportes bibliográficos hechos anteriormente y se comparó con el medio Nutritivo Sintético Comercial.

2.5 CURVA DE CRECIMIENTO DEL POOL DE MICROORGANISMOS Y BIOAUMENTACIÓN

El cultivo por lotes o cultivo Batch se define como aquel en donde no hay entrada ni salida de materia, salvo gases (O_2 , CO_2) que se suministran y retiran continuamente. En esta modalidad de cultivo se esteriliza el medio con determinada composición de nutrientes y se inocula con cierta cantidad de microorganismos, el cultivo se lleva a cabo a condiciones constantes de temperatura, aireación, etc. hasta que la multiplicación de los microorganismos cese por agotamiento de nutrientes o acumulación de productos metabólicos tóxicos.

En ésta etapa se plantea un bioproceso en Batch con biorreactor de tipo Airlift a escala de Laboratorio (frascos de vidrio 500 ml) como el observado en la Figura 8. En este determinan las características cinéticas del pool de microorganismos aceleradores.

Humedad: Éste parámetro se evaluó cualitativamente durante el proceso manteniendo constante con la adición de agua o extendiendo al sol, se estabilizó un porcentaje de humedad aproximado de 40-50%, mediante la medición manual de su capacidad de campo.

Aireación: La aireación de las pilas se realizó por medio de volteos periódicos. Estos volteos se realizaron diariamente 2 veces al día, para asegurar un bioproceso oxigénico adecuado.

Grado de Madurez del compost: El estado de madurez del compost se estimó mediante la caída final de la temperatura y la evaluación de los parámetros físicos como color, textura y olor



Figura 8. Montaje del Bio-reactor aireado tipo Batch.

2.5.1 Equipos Empleados en la Curva de Crecimiento

- **Equipos de esterilización.** Se utilizaron equipos para el método de esterilización con calor húmedo (autoclave eléctrica de 15 lt de capacidad y presión máxima de 15 lb. de presión) y seco (estufas eléctricas de 200 Watts con temperatura máxima de calentamiento de 220°C).

- **Equipos de Calentamiento.** Para el calentamiento de los medios de cultivo se emplea una estufa eléctrica con controlador de temperatura.

Para la curva de crecimiento se utilizó un baño termostatado (Mettler) con controlador automático de temperatura y agitación como el que se muestra en la figura 9.

- **Sistema de aireación y agitación.** Se emplearon bombas de acuario con 0.6 volúmenes de aire y mangueras de catéter estéril. La agitación se realizó en placas magnéticas con nivel de agitación variable como el sistema mostrado en la figura 10.

- **Cuantificación de la Biomasa.** *Cámara de Neubauer.* Para efectuar conteo directo al microscopio. (Fig. 11).

- **Espectrofotómetro de Absorción UV-visible DR/200.** Permite cuantificar la turbidez (%T) de los medios líquidos, la cual se relaciona con la concentración de células mediante la escala de McFarland. (Fig.12)

- **Equipo de Filtración al vacío** Se emplea para la biomasa de hongos, consta de un erlenmeyer de 500 ml con salida lateral conectado a una

- **Centrífuga HERMLE Z 230 A:** Utilizado para centrifugar los hongos y las levaduras para agrupar la mayor cantidad de biomasa de los hongos identificados y su posterior conservación y preservación. (Fig.14)



Figura 9. Baño Termostato



Figura 10. Agitación con placa

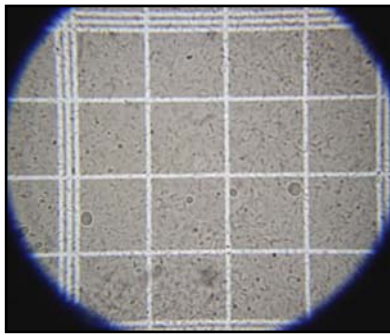


Figura 11. Cámara de Neubauer (40X)



Figura 12. Espectrofotómetro UV – visible.



Figura 13. Filtración al vacío



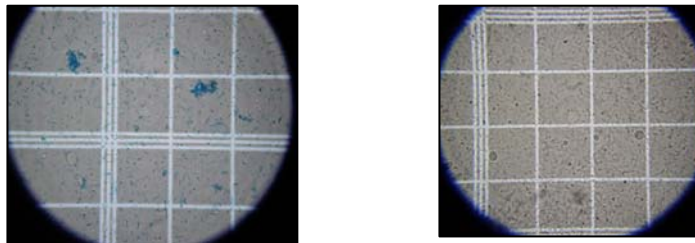
Figura 14 Centrifuga

2.5.2 Determinación de la cinética de crecimiento. Para el pool de microorganismos las pruebas se realizaron por duplicado en frascos de 500 ml con un volumen de 350 ml de medio de cultivo, partiendo de un inóculo de $2.0 \cdot 10^8$ células. Como se muestra en la siguiente figura.



Figura 15. Montaje para la realización de la curva de crecimiento del pool de microorganismos aceleradores

2.5.3 Inoculación. Se preparó un pre-inóculo del pool de microorganismos, tomando una muestra del microorganismo cultivado en medio sólido añadiéndolo al medio de cultivo líquido e incubando por 24 horas a 30°C . Se realizaron recuentos de esporas en cámara de Neubauer (Fig.16). Se adicionó 1 ml del preinóculo a un frasco de vidrio con medio de cultivo estéril y así dar inicio al tratamiento con aireación y a 26°C .



Figuras 16. Recuentos en cámara de Neubauer (40 X)

2.5.4 Cuantificación de la biomasa producida.

Para la cuantificación del crecimiento se empleó el método de turbidimetría para el caso de las bacterias y levaduras, el cual permite establecer directamente el total de células en suspensión. El patrón empleado para relacionar las unidades de absorbancia con el crecimiento celular fue la escala de Mc Farland con soluciones de H₂SO₄ al 1% y BaCl₂ 1% (Anexo2). La longitud de onda empleada (λ) fue 600 nm; el blanco de comparación de turbidez se preparó con medio de cultivo modificado de pollinaza estéril.

Para la cuantificación de los Hongos se realizó por el método gravimétrico pasando el contenido de el frasco por filtros de 0.8 μ de tamaño de poro, los sólidos aquí retenidos se secaron a 50°C durante 6 horas y posteriormente se pesaron. Este procedimiento se realizó cada 12 horas, hasta obtener un peso constante de la biomasa.

2.5.5 Utilización en los residuos Avícolas. Aquí se pretende evaluar la actividad de los microorganismos y la cantidad adecuada del pool, para ser utilizado en el proceso de fermentación de los residuos orgánicos.

2.5.5.1 Dosificación adecuada del inóculo. En una bioaumentación es primordial conocer la proporción y cantidad en que se encuentran distribuidas las diferentes especies dentro de la pila de compostaje y así evitar que las proporciones no sean las adecuadas, lo que nos produciría beneficios o perjuicios para el desarrollo del proceso de fermentación.

Para determinar la dosificación adecuada del producto se evaluó el desarrollo de dos sistemas de fermentación, uno sin bioaumentación y otro con la adición del pool (cada uno por duplicado), en éstas pruebas no se varió la proporción de las distintas especies microbianas en el inóculo: *Bacillus* y *Bacterias Gram negativas (enterobacterias)* Oxigénicas 81%, *Pseudomonas* 1.6%, Actinomiceto 16% y Hongos 1.4%.

El sistema de compostaje empleado para las pruebas fue de pilas estáticas (Figura 17) volteadas, donde la ventilación se hace a través de los espacios de la masa a compostar y por un volteo mecánico todos los días, 2 veces/día con un motovolteador (figura18); para un volumen aproximado de 25 toneladas de pollinaza.



Figura 17 Esquema de pilas estáticas volteadas utilizadas en el proceso



Figura 18. Motovolteador empleado en los volteos diarios

2.5.5.2 Medición de variables durante el bioproceso.

- **Temperatura:** Se realizaron mediciones en los diferentes ensayos con el fin de diferenciar las etapas mesofílicas y termofílicas en el bioproceso. Estas mediciones se realizaron diariamente en la mañana y en la tarde siendo esta una de las variables de comparación entre los procesos de compostaje.

- **pH:** Se tomaron muestras de los ensayos mezclando con agua destilada y agitando hasta homogenizarlas, y se midieron en el pechímetro el registro llevado fué el promedio de dos mediciones
- **Humedad:** Éste parámetro se evaluó cualitativamente durante el proceso manteniendo constante con la adición de agua o extendiendo al sol, se estabilizó un porcentaje de humedad aproximado de 40-50%, mediante la medición manual de su capacidad de campo.
- **Aireación:** La aireación de las pilas se realizó por medio de volteos periódicos. Estos volteos se realizaron diariamente 2 veces al día, para asegurar un bioproceso oxigénico adecuado.
- **Grado de Madurez del compost:** El estado de madurez del compost se estimó mediante la caída final de la temperatura y la evaluación de los parámetros físicos como color, textura y olor.

2.6 ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL ALIMENTO

El análisis Físico-Químico y Microbiológico del Abono Orgánico obtenido, fue realizado por el Laboratorio de Calidad Ambiental CARDIQUE y los análisis de Calidad sanitaria y Microorganismos benéficos fueron realizados en el Laboratorio de Microbiología del CINBIN.

2.7 UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO Y FORMULACIÓN DE LA DIETA IDEAL

La evaluación de la respuesta alimenticia se observó de acuerdo al grado de aceptabilidad y palatabilidad de los animales, suministrándoseles 4 tratamientos diferentes por 45 días.

Estos consistieron en 2 etapas principales las cuales son:

- 1- **Etapas de Adaptación:** En esta se les suministro a 3 de los 4 lotes para tratamiento pequeñas cantidades de alimento acelerado con melaza (el otro tratamiento es el testigo), para que el rumen se fuera acostumbrando y los animales no llegarán a perder peso.
- 2- **Etapas de Ganancia en peso:** En esta etapa ya se separaron los 3 lotes cada uno con su respectiva dieta (ver resultados), formulada de acuerdo a los resultados de la etapa anterior.

De acuerdo a la metodología propuesta se compararon los tratamientos utilizando ANOVAS (analysis of variance) de una vía con el programa STATISTIC 6.0. (StatSoft, 2001) tomando como variable dependiente % de aumento en peso. Los Análisis de Varianza demuestran si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Las hipótesis planteadas fueron: H_0 = No existen diferencias significativas entre los tres tratamientos y H_A = Existen diferencias significativas entre los tres tratamientos.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUSTRATO

El Análisis Físico-Químico de la Pollinaza y del Alimento realizado por el Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE se muestra en la tabla 12. Se observa que hubo una reducción significativa de la materia orgánica del 30% lo que indica la oxidación efectuada por los microorganismos en la materia orgánica.

Se observa la transformación de la pollinaza en un producto más alcalino (pH: 7,0) con una reducción en la concentración del carbono orgánico de más del 50% y con niveles de Mercurio Total por debajo de los límites establecidos en guías y normas de referencia.⁶³

Tabla 12. Análisis físico- químico de la Pollinaza y el Alimento.

Parámetros	Unidades	Métodos	Pollinaza	Alimento
Grasas	%	Soxleth	4,44	2,44
Cenizas	%	Calcinación	21,46	8,0
Fibras	%	Digestión Acida	23,75	21,04
Fósforo Total	mg/Kg Base Seca	S. M 4500– P-E	8,19	8,25
Nitrógeno	%	*S.M 4500	Ausencia	Ausencia
Proteínas	%	Kjeldalh	21,43	20,43
Fósforo Total	mg/Kg Base Seca	S.M 4500-P-E	2,18	2,38
Mercurio Total	mg/Kg Base Seca	S.M 3112-B	Ausencia	Ausencia
Materia seca	%	Gravimetría	80,40	50,41
Humedad	%	Gravimetría	19,60	11,59
Temperatura	°C	Temperatura	28	25
pH		Potenciómetro	5,5	7,0

Fuente: Laboratorio de Calidad Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del canal de Dique. *S.M Estándar Methods Edición 20.

⁶³ Reglamento sobre el Manejo y Control de Gallinaza y Pollinaza N° 29145-MAG-S-MINAE , 1996.

Los porcentajes de Nitrógeno, Mercurio total, proteínas, grasas, fibra, humedad, cenizas y materia seca se encuentran dentro de los límites permitidos para alimentos contenidos en la Directivas Técnicas de Alimentos para Animales y Sales Mineralizadas del Instituto Colombiano Agropecuario cuyo objetivo es establecer los parámetros técnicos necesarios que lleven a la obtención de productos que cumplan con los postulados universalmente reconocidos de seguridad y eficacia, y por este medio, ser aceptado su empleo en el país de origen y en mercados externos potenciales, requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales debe someterse la gallinaza, la pollinaza y los alimentos obtenidos a partir las mismas.

Tabla 13. Composición alimentaría recomendada comparada con la del alimento final

COMPOSICIÓN	GANADO LECHE	ALIMENTO TERMINADO
Proteína mínima	11.0%	20.43%
Grasa mínima	2.0%	2.44%
Fibra máxima	26.0%	21.04%
Cenizas máx.	10.0%	8.0%
Humedad máx.	13.0%	11.59%
Calcio mín.		
Fósforo mín.	7%	8.25%

Fuente: Valores promedios en la composición de los concentrados de las fábricas Contegral, Finca y Purina.

3.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

3.2.1 Calidad Sanitaria. Los análisis de calidad sanitaria realizados en el Laboratorio de Microbiología del CINBIN de la UIS, al alimento antes y después del proceso de fermentación se representan en la tabla 14, donde se observan recuentos muy altos de Coliformes Totales (CT) 8×10^6 UFC/gr. y coliformes fecales (CF) 4×10^6 UFC/gr para la pollinaza sin compostar, por lo cual se deduce que el tratamiento térmico aplicado a la pollinaza debe ser prolongado para eliminar o reducir significativamente la carga de estos microorganismos patógenos y así utilizarla como alimento para ganado de engorde sin ningún efecto secundario.

Tabla 14. Análisis de calidad sanitaria de la Pollinaza y Alimento

Recuento	Pollinaza (UFC/gr)	Alimento (UFC/gr)
Coliformes Totales	8×10^6	3.60
Coliformes Fecales	4×10^6	<2
Mesófilos	2×10^4	4×10^2
Mohos y Levaduras	12×10^6	12×10^6
Salmonella	Ausencia	Ausencia
*CSR	1×10^5	Ausencia

UFC/gr Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto.

***CSR** *Clostridio* Sulfito Reductor.

Al iniciar la fermentación, se encontraba una concentración de CF de 4×10^6 UFC/gr y de CT 8×10^6 UFC/gr, transcurridos 15 días de tratamiento se disminuyeron aproximadamente de 5 a 6 órdenes de magnitud (Fig.19), esta disminución nos comprueba que este instante del proceso se está llevando a cabo la etapa termofílica dando como resultado para CF 1×10^2 y CT 4×10^2 .

Al finalizar la fermentación (día 25), la concentración de CT disminuyó notablemente hasta 3.60 UFC/gr y de CF <2 UFC/gr. Al concluir todo el proceso (compostaje + maduración), el producto presentaba una humedad de 11.59% y una remoción casi completa de CF (6 órdenes). Con esto se demuestra que el alimento obtenido cumple con los estándares de calidad sanitaria. La figura 19 presenta la variación en el comportamiento de los microorganismos patógenos (CT y CF) a lo largo de la fermentación.

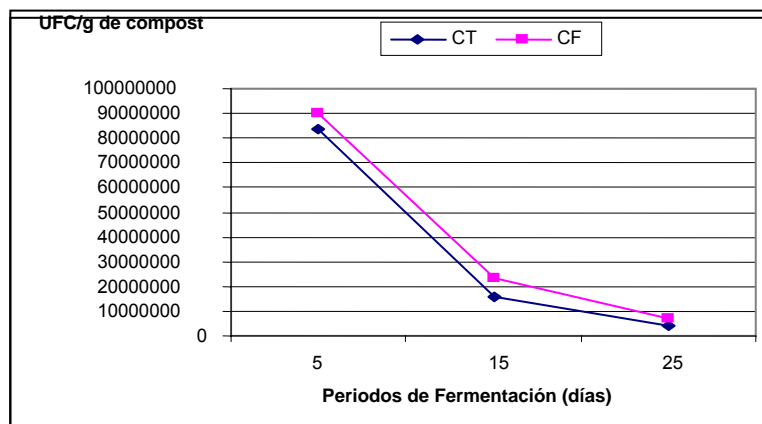


Figura 19. Variación de microorganismos patógenos a lo largo del proceso de fermentación.

Los períodos de fermentación se refiere a: periodo 1: 5 primeros días; periodo 2: 15 días y periodo 3: 25 días de fermentación.

3.2.2. Recuento de Microorganismos Benéficos. Los resultados de estas pruebas aplicadas a la pollinaza antes de la fermentación y al finalizar el proceso se representa en la Tabla 15 donde se observa un aumento considerable de los Microorganismos Benéficos al finalizar el proceso. Esto indica que el alimento además de ser de óptima calidad proporcionará a los animales asimilación, disposición y fijación de nutrientes y elementos necesarios para su adecuada nutrición y desarrollo.

Tabla 15. Recuento de Microorganismos Benéficos.

Microorganismos	Pollinaza UFC/gr*	Alimento UFC/gr
<i>Levaduras</i>	16	19×10^6
<i>Pseudomonas</i>	14	3×10^3
Bacterias		
Nitrificantes	2×10^2	3×10^4
<i>Rhizobium</i>	1×10^2	3×10^5
<i>Azotobacter</i>	-	4×10^6
<i>Streptomyces</i>	3×10^2	3×10^4
<i>Lactobacillus</i>	9×10^2	4×10^4

*UFC/gr Unidades Formadoras de Colonias por gramo.

En las siguientes en las figuras se relaciona el crecimiento en medios selectivos de los diferentes microorganismos benéficos con sus características macroscópicas.

Color Blanco-Beige
Tamaño Pequeña-Mediana
Forma Plana
Bordes Redondo
Aspecto Opaco
Superficie Lisa de consistencia blanda



Figura 20. Crecimiento macroscópico de *Streptomyces* en Agar Caseína

Color	Crema
Tamaño	Pequeña
Forma	Plana
Bordes	Irregular lobulado
Aspecto	Opaco
Superficie	Lisa de consistencia blanda

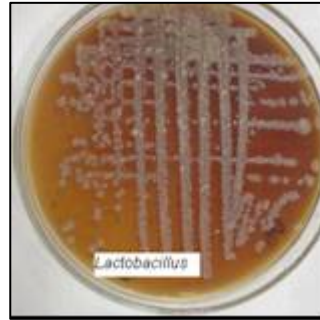


Figura 21. Crecimiento macroscópico de *Lactobacillus* en Medio APT.

Color	Crema
Tamaño	Mediana
Forma	Elevada Convexa
Bordes	Irregulares lobulados
Aspecto	Brillante
Superficie	Mamelonada Mucoide



Figura 22. Crecimiento macroscópico de *Azotobacter*. Medio LMA modificado.

Color	Rojo con centro mas oscuro
Tamaño	Pequeña
Forma	Plana
Bordes	Irregulares filamentosos
Aspecto	Opaco
Superficie	Lisa de consistencia blanda



Figura 23. Crecimiento macroscópico de *Rhizobium*. Medio LMA para *Rhizobium*

Color Rosado con beige
Tamaño Mediano
Forma Elevada convexa
Bordes Irregulares
Aspecto Brillante
Superficie Lisa de consistencia Mucoide



Figura 24. Descripción macroscópica del cultivo de Bacterias Nitrificantes

Color Blanco-Beige
Tamaño Mediana-Grande
Forma Elevada Convexa
Bordes Irregular lobulado
Aspecto Brillante
Superficie Mamelonada consistencia Mucoide



Figura 25. Crecimiento macroscópico de *Pseudomonas* en Agar Cetrimide con Luz UV.

3.2.3 Aislamiento e Identificación En esta etapa se observa los microorganismos presentes en la pollinaza.

Tabla 16. Variedad de microorganismos aislados de la pollinaza

Bacterias	Hongos
Bacilos Gram positivos	<i>Aspergillus spp</i>
Bacilos Gram negativos	<i>Penicillium spp</i>
Cocos Gram positivos	<i>Trichoderma spp</i>
Cocos Gram negativos	<i>Cunninghamella spp</i>
	<i>Saccharomyces spp</i>

Bacterias Oxigénicas: Por las características bioquímicas y morfológicas macro y microscópicas se pudieron identificar 14 cepas de microorganismos Gram negativos y 7 de bacilos Gram positivos. (Ver Anexo 1).

Según las pruebas bioquímicas presentes en la tabla 17 fue fácil identificar los siguientes microorganismos:

Serratia marcescens

Cedecea davisae

Kluyvera cryocrescens

Enterobacter agglomerans

Enterobacter aerógenes

Enterobacter gregoriae

Klebsiella oxytoca

Proteus vulgaris

Alcaligenes denitrificans

Citrobacter diversus

Acinetobacter calcoaceticus

Pseudomonas putida

Pseudomona fluorescens

Pseudomona cepacia

Bacillus subtilis

Bacillus macerans

Bacillus licheniformis

Bacillus megaterium

Streptomyces griseus

Actynomices pyogenes

Nocardia corallina

Tabla 17. Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias oxigenicas.

Pruebas Bioquímicas	Reacción	Pruebas Bioquímicas	Reacción
Triple azúcar hierro (TSI)	K-A/K-A	Glucosa	+ -
Lisina Hierro Agar (LIA)	K-R-A/K-A	Fructosa	+ -
H ₂ S/gas en TSI	+ -/+ -	Galactosa	+ -
Indol	+ -	Producción de Ácido en medio Basal OF (1% de Carbohidrato)	+ -
Motilidad 37°C	+ -	Manosa	+ -
Citrato	+ -	Rhamnosa	+ -
Rojo de Metilo	+ -	Xilosa	+ -
Voges Proskauer 37°C	+ -	Lactosa	+ -
Ureasa	+ -	Sacarosa	+ -
DNAsa	+ -	Maltosa	+ -
Reducción de Nitratos	+ -	Manitol	+ -
Fenilalanina Deaminasa	+ -	H ₂ S	+ -
Malonato	+ -	Reducción de NO ₃	+ -
Oxidasa	+ -	Gas	+ -
Catalasa	+ -	Fenilalanina deaminasa	+ -
		Urea	+ -
		Almidón	+ -
		DNA	+ -
		Hidrólisis	+ -
		Oxidasa	+ -
		Motilidad	+ -

K= reacción alcalina. **A**= Reacción acida. **R**= Rojo: reacción que ocurre en la superficie del medio de Lisina por la deaminación del aminoácido por el género *Proteus*. * = débil 1 a 3 días

Tabla 18. Pruebas Bioquímicas para la identificación de Actinomicetos

Características	Reacción
Motilidad	+ -
Acido	+ -
Gelatina	+ -
Gas	+ -
Acetoína	+ -
Catalasa	+ -
Hidrólisis de Almidón	+ -
Crecimiento en NaCl 7%	+ -
Hidrólisis de Caseína	+ -
Ubicación de la espora	C T

C: central / T: terminal

Gracias al *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*^{64 65} se pudo realizar la identificación de los microorganismos teniendo en cuenta las pruebas bioquímicas y las características macroscópicas y microscópicas de los mismos.

En la tabla 19 se observa los microorganismos oxigénicos tanto Bacterias como hongos que fueron aislados e identificados de la pollinaza.

⁶⁴ MADIGAN, Michael; MARTINKO, John y PARKER, Jack. Brock Biology of Microorganisms. 1997 USA.

⁶⁵ KRIEG, Noel and HOLT, John. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol. 1y 2 William & Wilkins. Baltimore USA.

Tabla 19. Especies de microorganismos oxigénicos que fueron aislados de la pollinaza.

TIPO DE MICROORGANISMO		ESPECIE
BACTERIAS	GRAM NEGATIVAS	<i>Serratia marcescens</i> <i>Cedecea davisae</i> <i>Kluyvera cryocrescens</i> <i>Enterobacter agglomerans</i> <i>Enterobacter aerógenes</i> <i>Enterobacter gregoridae</i> <i>Klebsiella oxytoca</i> <i>Proteus vulgaris</i> <i>Alcaligenes denitrificans</i> <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Citrobacter diversus</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Pseudomona fluorescens</i> <i>Pseudomona cepacia</i>
	GRAM POSITIVAS	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus macerans</i> <i>Bacillus licheniformis</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Streptomyces griseus</i> <i>Actynomices pyogenes</i> <i>Nocardia corallina</i>
HONGOS		<i>Aspergillus clavatus</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus penicilloides</i> <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium frecuentans</i> <i>Fusarium spp.</i> <i>Geotrichum spp.</i> <i>Cunninghamella achinulata</i> <i>Curvularia spp</i> <i>Trichoderma víride</i> <i>Saccharomyces cerevisae</i>

3.3 SELECCIÓN DE GRUPOS DE MICROORGANISMOS ACELERADORES

De los microorganismos previamente aislados e identificados se seleccionaron 13 especies de bacterias y 7 especies de hongos para conformar el conglomerado de microorganismos considerando su diversidad metabólica y su acción enzimática sobre los residuos. Estas fueron:

✚ **Bacillus Gram positivos formadores de endosporas:** Posee la capacidad de formar esporas, estructuras altamente resistentes y viables por largos períodos de tiempo. Algunos miembros de este género producen enzimas catalasa y superóxido dismutasa, y que normalmente son móviles con flagelación peritrica.

Muchos bacilos producen enzimas hidrolíticas extracelulares que degradan polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos, los cuales son usados como fuente de carbono y donadores de electrones.

Los miembros del género *Bacillus* pueden aislarse fácilmente del suelo o de partículas de polvo en suspensión, crecen bien en medios sintéticos que contengan azúcares, ácidos orgánicos y alcoholes como única fuente de carbono y amoníaco como única fuente de nitrógeno.

Gracias a su rápido crecimiento, variable capacidad enzimática y mayor sinergia metabólica se seleccionaron cuatro cepas:

***Bacillus subtilis*:** reconocido por su producción de enzimas como α -amilasa, lipasas, celulasas, lipopéptidos y enzimas proteolíticas extracelulares como ciertas proteasas neutras y alcalinas (Rehberger, 2001). (Fig.26)



Figura 26. Aspecto macroscópico de *Bacillus subtilis* en Agar Kanamicina.

***Bacillus licheniformis*:** similar a *B. subtilis* secreta gran cantidad de proteasas que permiten desdoblar complejos grupos proteínicos, además tiene amplio espectro degradativo sobre carbohidratos y pectinas. (Rehberger, 2001) (Fig.27).

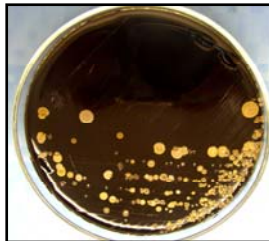


Figura 27. Aspecto macroscópico (AK) de *Bacillus Licheniformis*.

***Bacillus megaterium*:** por su gran producción de α -amilasa, es el degradador de almidones por excelencia (Wiseman, 1989). (Fig.28).



Figura 28. Aspecto microscópico de *B. megaterium* en 100X con coloración de Gram

Bacillus macerans: tiene la particularidad de producir altos niveles de celulasas y peptinasas (Shigemitsu, 2000), así como la capacidad de fijar nitrógeno.

✚ **Microorganismos Gram negativos aerobios facultativos.** En este grupo se encuentran las bacterias entéricas que comprenden un grupo filogenético relativamente homogéneo⁶⁶. Fenotípicamente se caracterizan por: presentar Bacilos Gram negativos no esporulados, inmóviles o móviles por flagelación peritrica, aerobios facultativos, oxidasa negativo, con pocos requerimientos nutritivos, fermentadores de azúcares con diferentes productos finales.

Pseudomonas spp: las *Pseudomonas* son un grupo importante de bacilos gram negativos quimio-organotróficos a pH neutro, aeróbicos, mesófilos, con requerimientos nutricionales sencillos, nunca muestran metabolismo fermentativo. La ausencia de formación de gas a partir de glucosa y la oxidasa positivo son dos características distintivas con las bacterias entéricas.

Una propiedad especial de este grupo es la gran variedad de compuestos orgánicos que usa como fuente de carbono y como donadores de electrones para la producción de energía.

Pseudomonas putida: posee un metabolismo enzimático que genera oxidasa, monooxigenasa y dioxigenasa para la degradación de hidrocarburos, incluso aromáticos. (Fig.29)

⁶⁶ *Ibid.*, p. 298

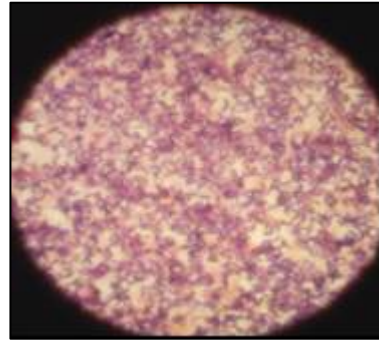


Figura 29. Aspecto macroscópico y microscópico de *Pseudomonas putida*.

Pseudomonas fluorescens: posee enzimas como la oxidasa para degradar hidrocarburos alifáticos, y produce pigmentos fluorescentes amarillo-verde solubles en agua, sin producción de poli β hidroxibutirato (Fig.30).

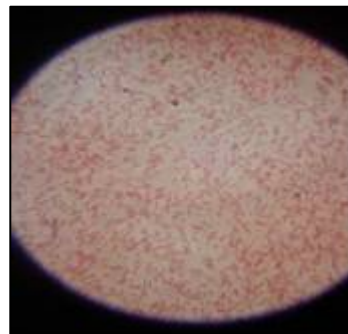


Figura 30. Aspecto macroscópico y microscópico en 100X (coloración de Gram) de *Pseudomonas fluorescens*.

Pseudomonas cepacia: Gran versatilidad nutricional; algunas cepas son patógenas para las plantas. (Fig.31)

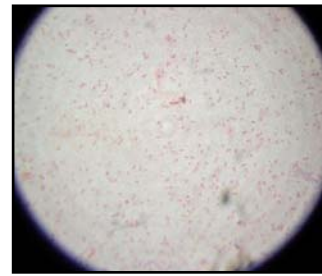
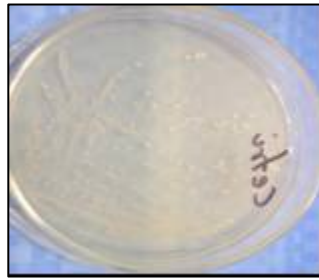


Figura 31. Aspecto macroscópico y microscópico en 100X (coloración de Gram) de *Pseudomonas cepacia*.

Dos especies de enterobacterias seleccionadas para formar parte del conglomerado fueron ***Klebsiella oxytoca*** y ***Serratia marcescens*** las cuales tiene la propiedad de fijar N₂. En la figura 32 se observa el aspecto macroscópico y microscópico de *Klebsiella oxytoca* y en la Figura 33 el crecimiento de *Serratia marcescens*.

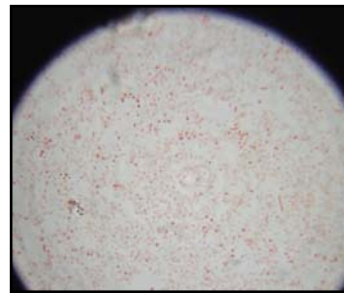
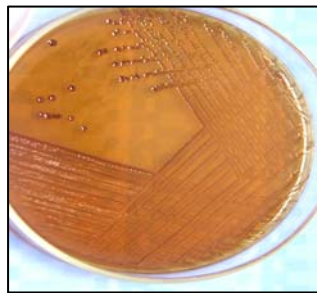


Figura 32. Aspecto macroscópico y morfología microscópica (100X) de *Klebsiella oxytoca*.

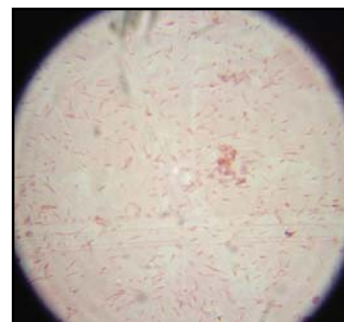
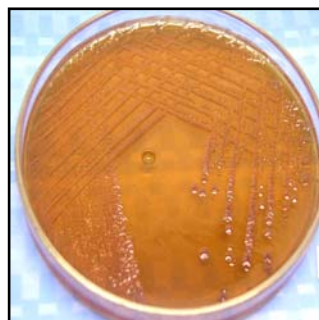


Figura 33. Aspecto macroscópico y microscópico (100X) de *Serratia marcescens*

A continuación se muestran fotos de las bacterias oxigénicas seleccionadas, aspecto macroscópico en medio McK y microscópico (100 X) de las bacterias *Enterobacter agglomerans*, *Alcaligenes denitrificans* y *Acinetobacter calcoaceticus*.

Alcaligenes denitrificans: Crece quimiorganotróficamente a partir de sustratos orgánicos y de CO₂.

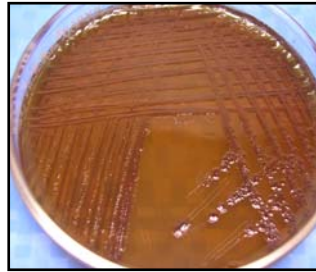


Figura 34. Aspecto macroscópico de *Alcaligenes denitrificans* en agar McK.

Los microorganismos del género *Acinetobacter* tienen su hábitat en el suelo y agua, y ocasionalmente se encuentra como parásito de algunos animales.

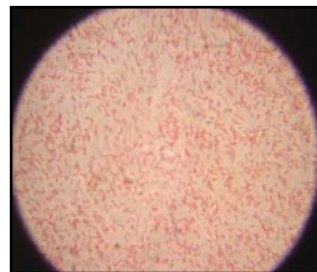
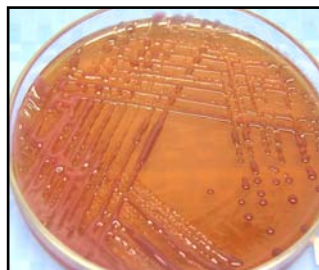


Figura 35. Aspecto macroscópico y microscópico de *Enterobacter agglomerans*.

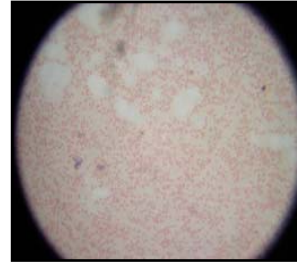
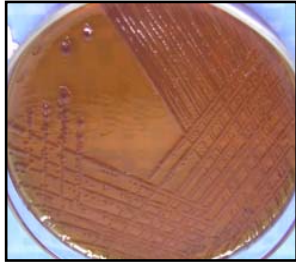


Figura 36. Aspecto macroscópico y microscópico de *Acinetobacter calcoaceticus*

 **Actinomicetos:**

***Nocardia corallina*:** Bacilos irregulares, en pares o aislados o filamentosos ramificados. Son gram positivos o gram variables y a veces se tiñen de manera no uniforme, poseen gránulos metacromáticos. No móviles, no endosporados. Oxigénicos son eficaces en el tratamiento de residuos de degradación difícil como los lignocelulósicos, además es útil frente a compuestos aromáticos como rastros de plaguicidas y herbicidas. (Fig.37)

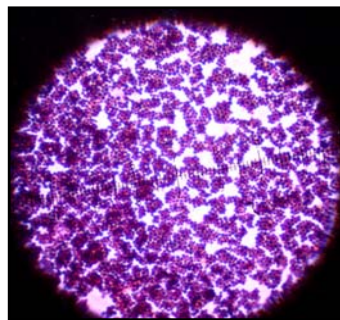


Figura 37. Aspecto microscópico de *Nocardia corallina*

Hongos y Levaduras:

Curvularia spp: pertenece a la familia Dematiaceae presenta colonias de micelio algodonoso al principio blanco y luego negro. El envés de la colonia es negro, algunas veces presentan pigmentos de colores, las hifas son septadas y oscuras, producen macroconidias curvas con célula central mas ancha, sueltas y de color café. Presentan amplia distribución ambiental.

En la figura 38 se observa el aspecto macroscópico de la colonia por el haz y el envés, puede notarse la producción de un pigmento rojo que se difunde en el medio.

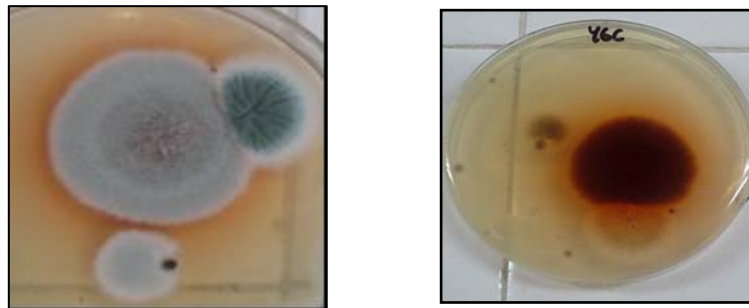


Figura 38. Características del crecimiento macroscópico en medio YGC de *Curvularia spp*

Trichoderma viride: Es un Deuteromiceto perteneciente al grupo de los Hifomicetos, y se caracteriza porque se desarrolla rápidamente y emite gran cantidad de esporas verdes. Se encuentra comúnmente en el suelo cuando se cultivan produce colonias planas aterciopeladas blancas, amarillas, y grises. Es usado en la producción comercial de la enzima celulasa. Efectivo en residuos con altos niveles de material celulosa, además es poderoso agente contra hongos patógenos. Por ser un hongo del suelo es muy activo en procesos de amonificación. En la figura 39 se muestra el crecimiento típico del hongo en Agar extracto de Malta.



Figura 39. Características del crecimiento macroscópico y microscópico de *Trichoderma viride*.

***Aspergillus penicillioides*:** presenta hifas septadas, micelio coriáceo duro, color crema con pequeñas excrecencias redondeadas duras, posee cuerpo fructífero representado por una vesícula globosa y una serie de esterigmatas. En la figura 56 se observa características del crecimiento macroscópico en Agar Extracto de Malta (MEA) y microfotografías. Es de gran importancia económica por que producen sustancias químicas, tipo ácidos orgánicos como el cítrico, degradaciones de desechos lignocelulósicos, producen enzimas, lipasas, pteasas y antibióticos.

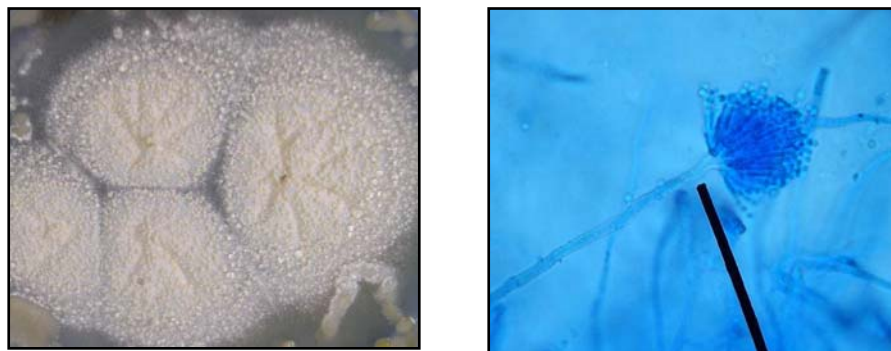


Figura 40. Aspecto macroscópico y microscópico de *Aspergillus penicillioides*

***Saccharomyces cerevisiae*:** Levadura que presenta predominantemente talo unicelular, se reproduce por gemación o brotes, produce colonias blancas-beige de consistencia mucoide. Posee la capacidad de actuar en sustratos con concentraciones elevadas de polisacáridos y buena acción sobre compuestos lignocelulósicos (Banguart, 1981). Además apoya la actividad metabólica de aquellos microorganismos que requieren vitaminas adicionales

para el crecimiento y otras funciones metabólicas. En la figura 40 se observa el aspecto macroscópico de la colonia de levaduras en Agar Extracto de malta.

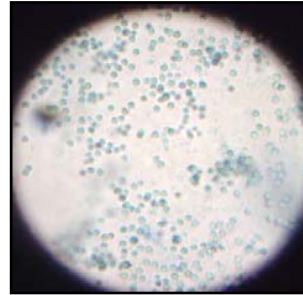


Figura 41. Características del crecimiento macroscópico en Agar Extracto de Malta (MEA) y microscópico a 40X de *Saccharomyces cerevisiae*.

3.4 CURVA DE CRECIMIENTO DEL POOL DE MICROORGANISMOS Y BIOAUMENTACIÓN.

3.4.1 Pruebas preliminares. Según los análisis cualitativos de compatibilidad y competitividad entre especies; de las 19 cepas aisladas, presentaron antibiosis la cepa 4 y la cepa 9 las cuales corresponden según la tabla de clasificación taxonómica de los microorganismos (anexo4) a *Cedecea davisae* y *Proteus vulgaris* debido a esto no fueron incluidos en el conglomerado donde se bioaumentaron.

3.4.2. Cinética de crecimiento.

✓ **Grupo de bacterias aceleradoras:** Para el manejo de las curvas de crecimiento luego de realizar algunos ensayos preliminares con algunas variables como: temperatura, aireación y agitación; se utilizó la curva cuyos parámetros eran 26°C con aireación y agitación constante (Fig. 41), en la cual se obtuvo una concentración celular mayor ($1,40 \times 10^8$ cél/ml) en un tiempo de 24 horas, en comparación con los demás ensayos.

Lo anterior contradice lo citado en la literatura, ya que la mayor temperatura 37°C no fue la variable que determinó la mayor producción celular. Esto podría darse, debido a que, la temperatura acelera el metabolismo de los microorganismos pero agota los nutrientes mucho más rápido.

Al comparar los ensayos preliminares y observar que la variación del tiempo no fue notoria (ya que en el ensayo a 37°C se alcanzó la máxima concentración a las 22 horas, pero no con un número mayor de células), cumple a cabalidad con el objetivo, que es lograr una bioaumentación mayor de microorganismos, para ser adicionados al sustrato a fermentar en el menor tiempo posible.

El número de generaciones para este crecimiento celular fue de 4 y el tiempo aproximado por generación fue de 6 horas.

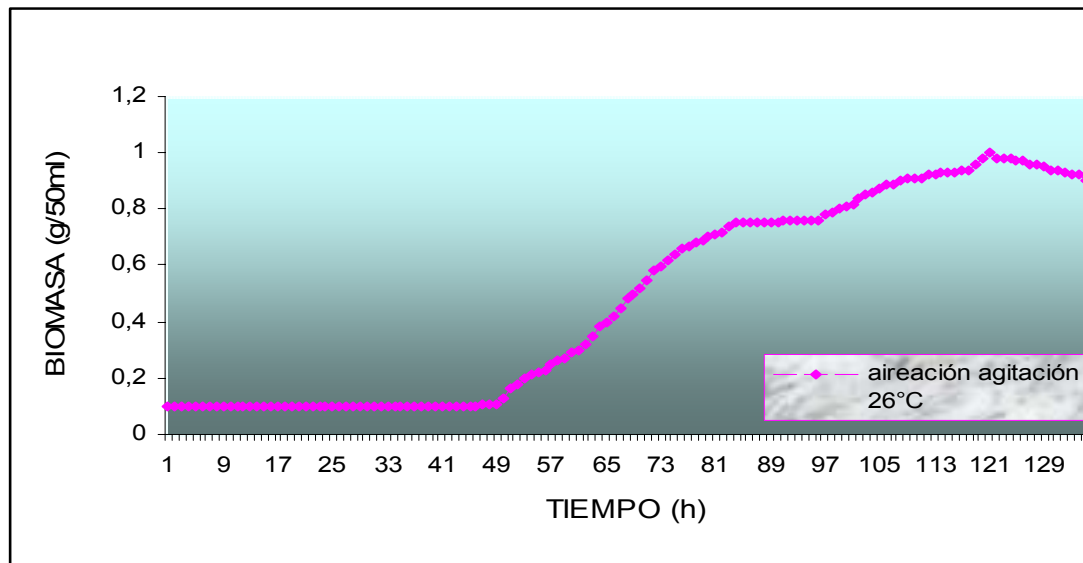


Figura 42. Curva de crecimiento del pool de microorganismos con aireación y agitación a 26°C.

En la curva de crecimiento con aireación se alcanzó la fase de adaptación en menor tiempo comparada con los otros ensayos, lo cual nos demuestra que la adaptabilidad de los microorganismos es más rápida ahorrándonos tiempo y por ende dinero cuando está se realiza a gran escala.

3.5 UTILIZACIÓN SOBRE RESIDUOS AVÍCOLAS

3.5.1 Actuación de los microorganismos: La importancia de la bioaumentación es incrementar la actividad metabólica de los microorganismos seleccionados sobre los residuos orgánicos obteniendo así un producto más higiénico en corto tiempo.

Una prueba eficaz para determinar si el inóculo es eficiente, es comparar los valores de temperaturas obtenidas entre la pollinaza fermentada naturalmente y la pollinaza acelerada con microorganismos durante la etapa termofílica de cada ensayo. (Tabla 20).

Tabla 20. Temperatura y pH de la fermentación natural y acelerado de la pollinaza.

Días	Temperatura °C		pH	
	compostaje natural	Compostaje acelerado	compostaje natural	Compostaje acelerado
1	25,0	25,0	5,8	5,6
2	29,0	31,5	5,5	5,3
3	31,0	38,5	5,3	6,0
4	34,0	43,5	6,0	7,3
5	36,0	52,0	6,1	7,5
6	38,0	57,0	6,2	8,0
7	41,0	63,0	6,2	8,1
8	43,0	68,0	6,2	8,3
9	44,7	72,0	6,1	8,0
10	47,7	68,0	6,2	7,9
11	49,0	67,5	6,3	7,8
12	49,8	66,0	6,4	7,8
13	50,5	64,0	6,5	7,7
14	52,0	66,0	6,4	7,7
15	52,5	68,0	6,7	7,5
16	55,0	65,8	6,9	7,4
17	61,0	69,0	7,1	7,2
18	60,0	70,5	7,2	7,0
19	63,0	69,5	7,5	7,0
20	61,0	72,0	7,6	7,4
21	59,0	70,0	7,5	7,4
22	57,0	66,0	7,3	7,2
23	56,4	53,0	7,1	7,2
24	48,0	49,5	7,0	7,0

25	43,0	35,0	6,9	6,9
26	45,0	28,5	6,7	6,8
27	42,0	27,3	6,8	6,8
28	40,0	26,0	6,7	6,9
29	35,0	26,5	6,5	6,9
30	32,5	26,0	6,2	7,0

Al realizar la curva de los diferentes valores de temperatura de la fermentación bioaumentada y se compara con la de la fermentación natural (Fig.42) se puede decir que el valor máximo de temperatura es de 72°C y ocurre en el noveno día del proceso y en la fermentación natural la etapa termofílica presento su máximo valor (63°C) en el día 19.

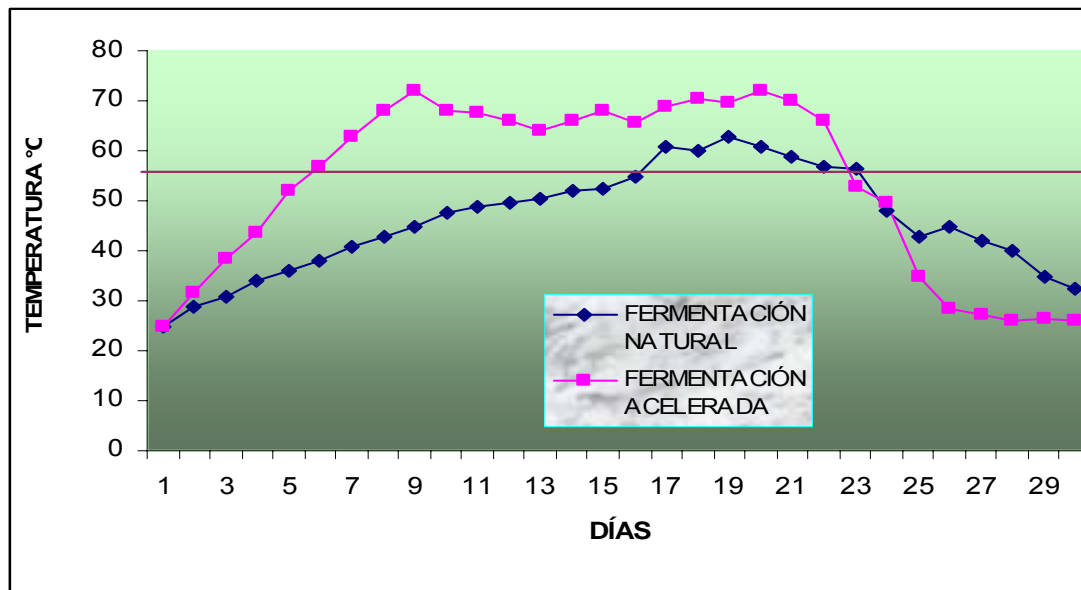


Figura 43. Efecto de la temperatura en el compostaje natural y acelerado.

En la figura 42, se observa que la fermentación natural alcanza la etapa termofílica el día 17 y se estabiliza por 5 días, llegando a la etapa mesofílica el día 24. La duración de la etapa termofílica en la fermentación acelerada tuvo una duración de 17 días más prolongada que en el compostaje natural (desde el día 6 al 22).

La temperatura aumenta debido a la energía liberada por los procesos metabólicos de los microorganismos.

Al aplicar el tratamiento con el pool de microorganismos seleccionados se observa que el proceso alcanza en menor tiempo la fase termofílica. En cuanto a la fase mesofílica 2, cuyo final está determinado por la biodegradación de los residuos, al bioaumentar la concentración de microorganismos, se observó que se logra mayor asimilación de residuos producto de la descomposición de la materia orgánica, estabilizando así el proceso. Esta fase de estabilización se logra en menor tiempo (26 días). Si se compara con el proceso natural se observa que éste se demora 10 días más. Todo esto nos demuestra que la tasa de consumo de nutrientes aumenta en la fase termofílica por lo que se obtiene una biodegradación de la pollinaza más rápida.

Al finalizar del proceso se obtuvo un alimento libre de microorganismos patógenos debido a las altas temperaturas alcanzadas por la pollinaza y su prolongado periodo de exposición, garantizando así que los microorganismos patógenos se eliminen totalmente, según lo recomendado por Tchobanoglous G, 1997, el cual hace referencia que para sanear los residuos orgánicos es necesario exponerlos a altas temperaturas un tiempo superior a 5 días.

En conclusión el compostaje con microorganismos aceleradores hizo que el proceso fuera más corto y eficiente (26 días) comparado con el proceso realizado de forma natural el cual alcanzó su estabilización a los 36 días.

Los resultados de los promedios diarios de pH se resumen en la tabla 20 tanto para el proceso natural como para el acelerado.

En la figura 43 se observa el comportamiento del pH a través del proceso de fermentación de la pollinaza con y sin bioaumentación. En esta gráfica se puede observar que este parámetro tiene un comportamiento similar al de la temperatura el cual aumenta progresivamente desde la fase mesófila 1 a la termófila (de ácido a base), obteniéndose en la curva de fermentación acelerada un pH máximo de 8.3, lo que coincide con el pico máximo de temperatura y un mínimo de 5.3 al inicio de la compostación, en cuanto a la curva de pH de la fermentación natural, se observa un máximo de 7.6 en la fase termófila y un mínimo de 5.3 al inicio de la fase mesófila.

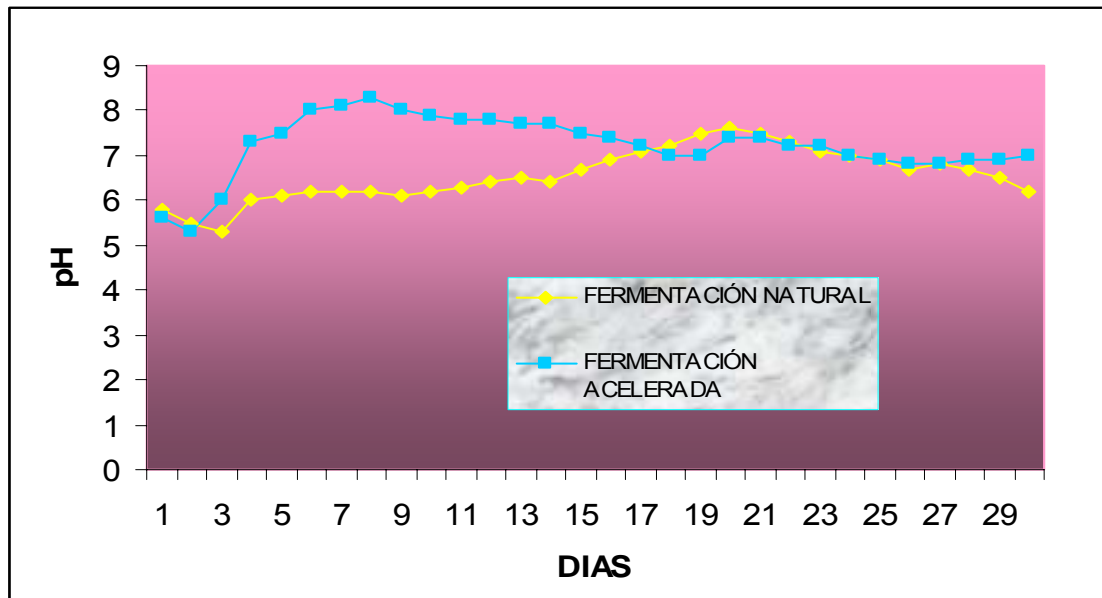


Figura 44. Variación de pH en la fermentación natural y acelerado.

Al término de la fermentación acelerada se obtuvo un valor de pH igual a 7.0 y para el compostaje natural de 6.3.

Al inicio de la fermentación bioaumentada y como consecuencia del metabolismo bacteriano que transforma los complejos carbonados fácilmente descomponibles, en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente, el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto, alrededor de 8,3, coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. En la fase final o de maduración el pH desciende (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica.

Comparando los datos de las propiedades físico-químicas y microbiológicas de la pollinaza antes y después de la fermentación se observa que todas las etapas del proceso se llevaron a cabo correctamente y produciendo así alimento que cumple con todos los requerimientos nutricionales y ambientales para ser usado en los animales.

3.6 UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO Y FORMULACIÓN DE LA DIETA IDEAL

Para el experimento se contó con 21 cabezas de novillos (aproximadamente de 2 años de edad ver figura 44) raza cebú, los cuales se repartieron de la siguiente manera: Para el tratamiento 3 se tomaron 6 cabezas de ganado y para los demás tratamientos y el testigo cada de uno con 5 ejemplares. Estos se seleccionaron y distribuyeron completamente al azar. Un galpón se dividió en 3 secciones a las cuales se le aplicaron cada uno de los tratamientos, el testigo estaba suelto pastoreando y al finalizar la tarde se guardaba en un galpón diferente al de los demás. Todos disponían de bebederos de agua con suficiente cantidad.



Figura 45. Ganado Cebú de aproximadamente 2 años de edad.

Los tratamientos fueron aplicados 2 veces al día (ver figura 45); uno en la mañana y otro en la tarde, para completar la ración diaria por animal (3Kg/cabeza/día).



Figura 46. Disposición de alimento.

Los animales eran pesados cada 15 días la misma hora del día. Se sacaba un promedio de aumento de peso (en Kg)/tratamiento. Los resultados de los incrementos de peso obtenidos en los diferentes períodos de pesaje se muestran en la tabla 21.

La etapa inicial del ensayo donde se observan los cuatro tratamientos: 20% de pollinaza cruda con 1.5% de melaza (Tratamiento 1), 40% de pollinaza acelerada + melaza al 1.5% + torta de ahuyama al 1.0% (Tratamiento 2), 60% de pollinaza acelerada + melaza al 1.5% + torta de ahuyama al 1.0% (Tratamiento 3) y Testigo (heno + melaza al 1.5%) se muestran en la figura 46.





Figura 47. Distribución de animales en los diferentes tratamientos.

Tabla 21. Incrementos de peso en el ganado bajo tres niveles de pollinaza como parte del suplemento alimenticio.

TRATAMIENTO	PERIODO DE SUPLEMENTACIÓN (DÍAS)		
	0-15	15-30	30-45
1.- (20%PC*)	0,07	0,11	0,33
2.- (40%PA**)	0,09	0,19	0,93
3.- (60%PA**)	0,11	0,15	0,85
4.- TESTIGO	0,07	0,09	0,16

* PC= Pollinaza Cruda

** PA= Pollinaza Acelerada

Se puede apreciar en la figura 47 que durante el primer período de 0-15 días de experimentación, el tratamiento 3, con 60% de pollinaza en el suplemento, fue el mejor ($P<0.05$) con relación a los otros tres. Sin embargo durante el resto del período experimental (Ver Figura 48 y Figura 49); el tratamiento 2, con 40% de pollinaza, supero a los demás tratamientos ($P<0.01$), a pesar de que el tratamiento 3 fue más alto en su contenido de proteína cruda que el 2. A su vez, el tratamiento 3 superó al 1.

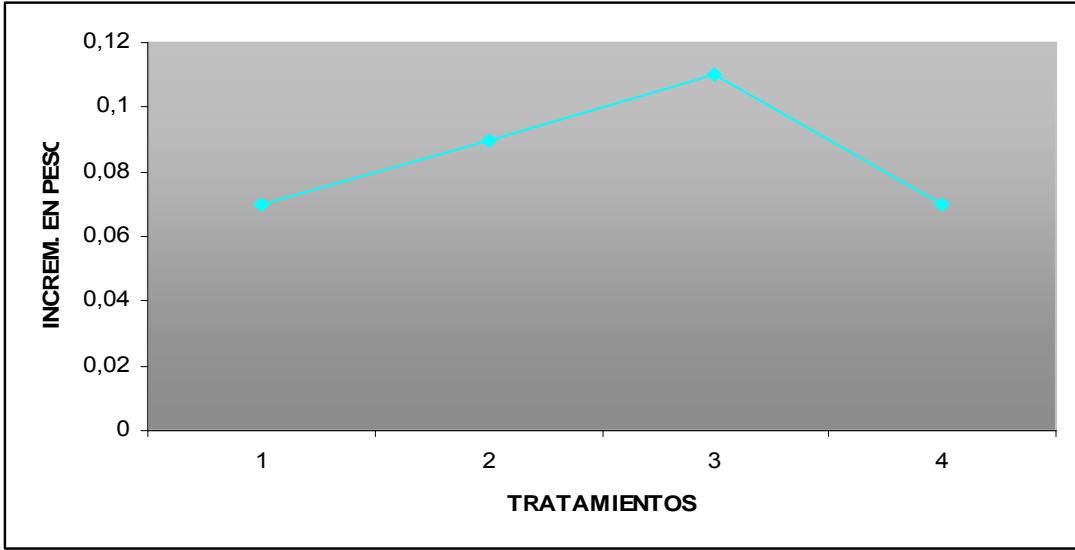


Figura 48. Incremento en peso (Kg/día) del ganado durante el primer período (0-15 días) para los 4 tratamientos.

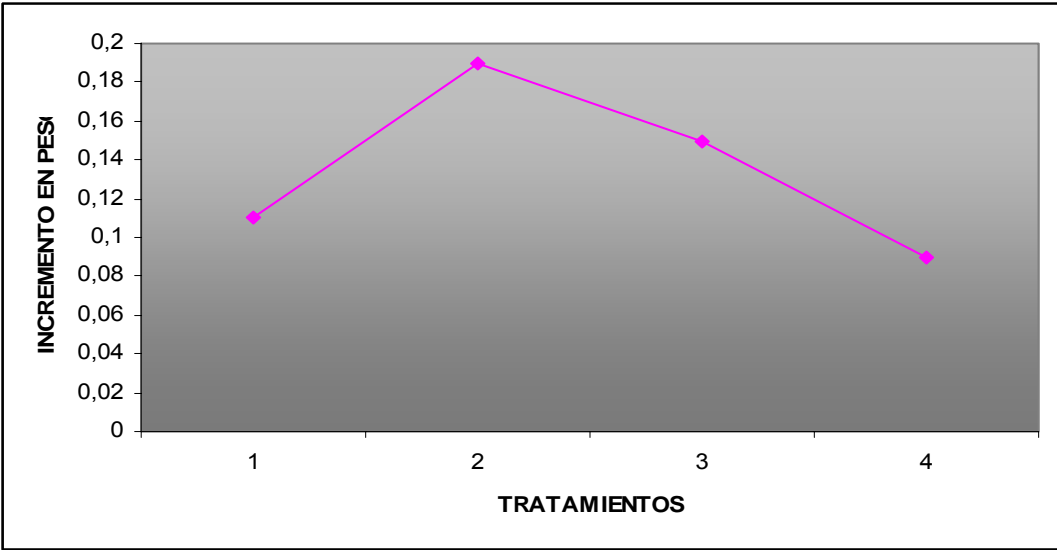


Figura 49. Incremento en peso (Kg/día) del ganado durante el segundo período (15-30 días) para los 4 tratamientos.

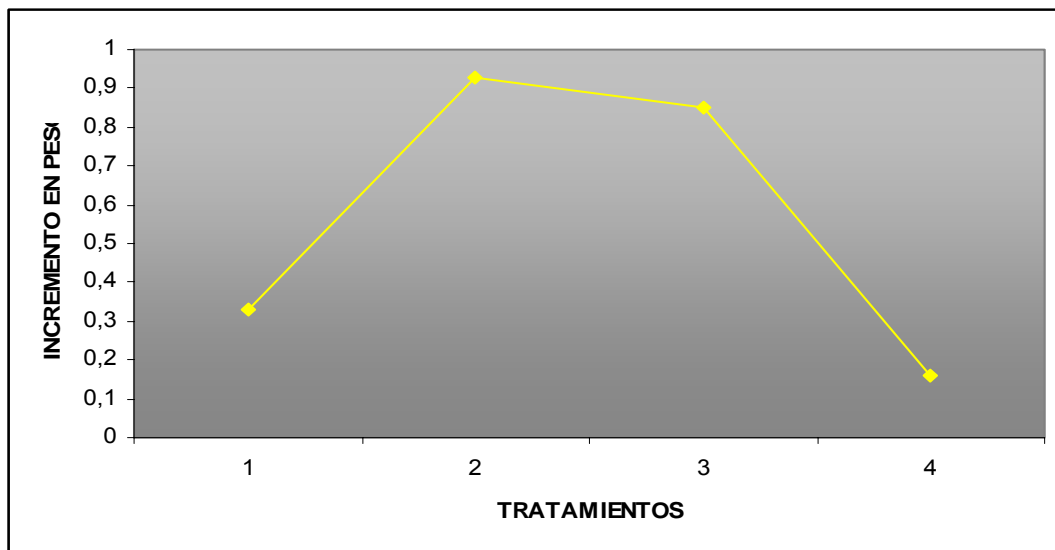


Figura 50. Incremento en peso (Kg/día) del ganado durante el segundo período (30-45 días) para los 4 tratamientos.

Estos resultados concuerdan con Murthy *et al.* (1996), quienes concluyen que las heces fecales de pollo se pueden incorporar a los suplementos concentrados para cabras, ovejas y ganado hasta en un 40%. Los incrementos de peso reportados por ellos son menores a los obtenidos en este trabajo, ya que trabajaron con animales más jóvenes (menores de 1 año).

Sin embargo, los resultados aquí obtenidos, no concuerdan con los reportados por Fenderson (1998), quienes al alimentar vacas Angus durante 111 días concluyó que un nivel de 75% de pollinaza, sería el nivel máximo de utilización del alimento para mantener este tipo de animales y becerras de reemplazo.

Solaiman *et al.* (1989) no encontraron significancia al incluir 0, 20, 40 y 60% de pollinaza en la ración para cabritas en crecimiento, lo cual difiere con los resultados de este trabajo. Sin embargo, si coincide con lo descrito por Fenderson (1989), quien menciona que existe un nivel óptimo de pollinaza en la ración, y que al rebasar este nivel, el consumo disminuye y por lo tanto la producción.

Los resultados obtenidos fueron sustentados estadísticamente utilizando el programa Statistica 6.0, con el cual se hizo análisis de distribución normal

para así construir las matrices de datos para cada tratamiento (1, 2, 3 y testigo).

Se establecieron 2 hipótesis para cada una de las variables: H_0 = los datos de los tratamientos presentan distribución normal y H_A = los datos de los tratamientos no presentan distribución normal.

Para evidenciar la hipótesis de distribución homogénea de los datos se procedió a aplicar el test para normalidad Shapiro-Wilk's ($P=0,05$) dando como resultado para los tratamientos lo que se observa en la figura 50. Todos los tratamientos presentaron probabilidades inferiores a 0,05 por lo cual se rechazó la Hipótesis nula y se aceptó H_A .

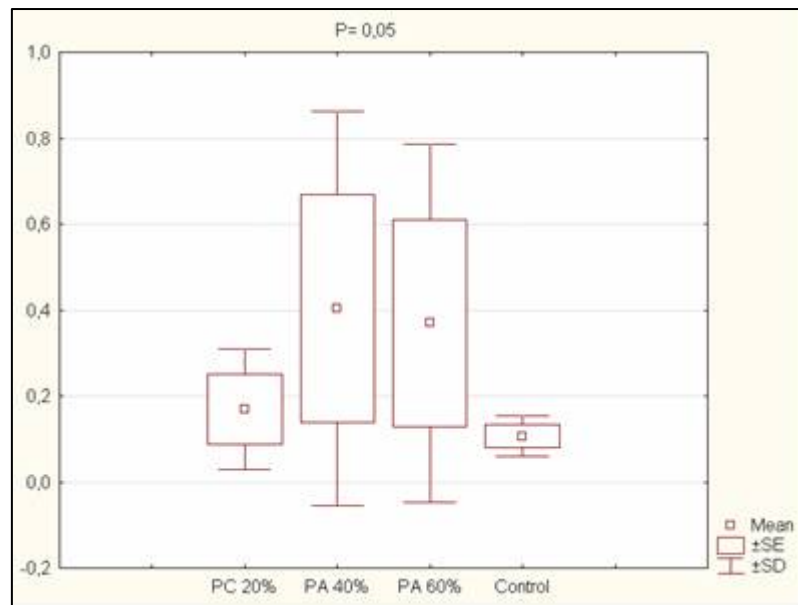


Figura 51. Diferencias estadísticas entre los tratamientos y el testigo.

En la figura 51 se observa que los cuatro tratamientos presentaron probabilidades inferiores a $P=0,05$ por lo cual se rechazó la Hipótesis nula, dando como conclusión las diferencias significativas entre los tratamientos.

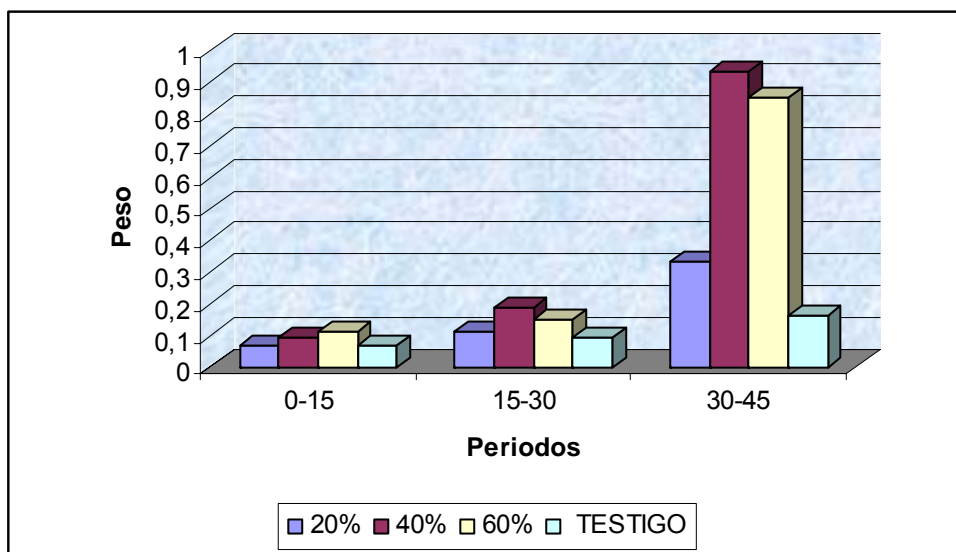


Figura 52. Diferencias en el incremento en peso de los tratamientos 1, 2, 3 y Testigo.

El test de Tukey (Honestly Significant difference test) realizado mostró que la diferencia está marcada por el tratamiento número uno correspondiente a la pollinaza sin compostar, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 22. Resultados test de Tukey para los tratamientos.

	Período de Suplementación (días)		
Tratamiento	0-15	15-30	30-45
1- 20% PC*		0,000149	0,996223
2- 40% P** + Melaza + Torta de ahuyama	0,000149		0,000149
3- 60% P** + Melaza + Torta de ahuyama	0,996223	0,000149	
4- Testigo	0.745228		0,64888

Como se observa en los resultados del test de Tukey y en las graficas de las Anovas se puede deducir que el tratamiento diferenciativo es el de la pollinaza sin compostar.

La razón para demostrar estos resultados es que la aplicación de la pollinaza sin compostar aunque se mezcle con melaza, presenta menor grado de aceptación y palatabilidad, no hay eliminación completa de los microorganismos patógenos y los nutrientes son menores; lo que produce un aumento mucho más lento en el peso.

En cuanto a la aceptación y palatabilidad es muy importante el tiempo que permanece el alimento en el rumen antes de escapar al tracto digestivo, ya que remascar más aumenta la producción de saliva y disminuye la digestión de la pared celular, lo que conlleva a que la celulosa sea digerida más lentamente y exista pérdida de energía y menos espacio para otros alimentos digestibles.⁶⁷

Se ha descrito también que la aplicación de pollinaza sin previo tratamiento produce un descenso en el contenido de oxígeno y del potencial de Oxido-reducción favoreciendo la creación de zonas de anaerobiosis y fuertemente reductoras (Negro y Solano, 1996), además de esto si posteriormente se produce un fuerte aumento de la temperatura puede llegar a provocar daños en el tracto digestivo del animal.

Con relación al tratamiento con pollinaza acelerada al 40%, melaza al 1.5% y torta de ahuyama al 1% que fué el tratamiento que obtuvo mejores resultados se puede decir que éste aumentó la disponibilidad de nutrientes necesarios (alto contenido de glucosa y proteína) para el desarrollo óptimo de los animales, evidenciado por el mejor aspecto de los animales comparados con los testigos.

A su vez este producto al ser netamente natural se asocia con menores concentraciones de amonio en el rumen, eliminando los efectos tóxicos, que indudablemente alteran el desarrollo del animal.

⁶⁷ Ortiz, C. 2003 CAB, Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología N° 114. Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. p.13

4. CONCLUSIONES

El tratamiento biotecnológico de los desperdicios o subproductos orgánicos como la pollinaza es primordial para obtener un producto de excelente calidad libre de microorganismos patógenos, lo cual conseguimos al aumentar la temperatura rápidamente y estabilizar la etapa termofílica. En este proyecto quedo demostrado que los microorganismos varían durante el proceso de fermentación varían y dependen de la temperatura.

Este aprovechamiento biotecnológico ofrece alternativas atractivas para resolver los siguientes problemas de nuestra economía:

- Aumenta la producción de carne del ganado vacuno.
- Aumenta la disponibilidad de alimento y fertilizantes en áreas de bajo rendimiento ganadero y agrícola, ya que gracias a los diferentes procesos de degradación se puede convertir tanto en alimento como en abono.
- Aprovechamiento de residuos orgánicos de la industria avícola y por ende bajar los niveles de contaminación de este material.

El alimento obtenido presentó altos estándares de calidad físico-química y microbiológica, ya que fueron eliminados un 99 % de los microorganismos patógenos (coliformes fecales y Coliformes totales), con lo que podemos emplearlo como un excelente suplemento alimenticio para ganado de engorde sin riesgo patológico.

Se aislaron 33 microorganismos de la pollinaza de los cuales 21 de ellos fueron bacterias (14 Gram negativas pertenecientes a los géneros *Serratia*, *Cedecea*, *Kluyvera*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Citrobacter* y *Pseudomonas* y 7 Gram positivas pertenecientes a los géneros *Bacillus*, *Streptomyces* y *Nocardia*) y 12 hongos

de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Geotricum*, *Cunninghamella*, *Curvularia*, *Trichoderma* y la Levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Esta microbiota hizo parte del pool de microorganismos aerobios aceleradores del proceso de fermentación, al adicionarlos a la pollinaza aumentaron la temperatura mas rápido, logrando así alcanzar en menor tiempo (6 días) la fase termofílica y mantenerla por un largo período, mucho más que el del proceso natural, saneando totalmente la pollinaza. El alimento acelerado mostró un tiempo menor de fermentación de la etapa mesofílica sólo 15 días. La fermentación total se redujo un 30% comparada con la natural.

La fermentación acelerada fue más eficiente en cuanto a niveles de temperatura, pH y tiempo de estabilización comparado con la fermentación natural, demostrado por el metabolismo enzimático degradativo de los microorganismos oxigénicos agregados a la pollinaza, los cuales consumen mas rápidamente la materia orgánica, produciendo un alimento de excelente calidad.

Los principales parámetros evaluados en la cinética de crecimiento del grupo de las bacterias y de los hongos que influyeron en su rápido crecimiento fueron la temperatura y la agitación. Con esto se logro un mejor desarrollo de aquellos microorganismos que degradan la lignina y la celulosa, sobretodo en el pico máximo de temperatura alcanzado (72°C).

El alimento para ser empleado sin ninguna consecuencia debe estar lo adecuadamente maduro, es decir, muy estable, sino es así la materia orgánica seguirá el proceso de descomposición en el animal provocando problemas sanitarios y por ende patológicos.

Los ensayos de respuesta realizados al alimento dieron porcentajes en aumentos de peso superiores a los presentados por los animales en pastoreo y alimentados con pollinaza sin fermentar. Lo cual nos indica que el alimento presenta condiciones óptimas de madurez y nutrición.

En la observación realizada al suministro del alimento, se pudo concluir que una textura uniforme de este induce a una mayor aceptabilidad y por lo tanto mejores niveles nutricionales esenciales para el desarrollo, crecimiento y robustez del espécimen.

Con este proyecto se pudo demostrar la importancia de integrar la ganadería e industria avícola con el fin de generar empleos, minimizar los riesgos financieros, utilización de menor espacio de adecuación y producción simultanea de pollos, carne y siembras agrícolas.

De acuerdo al análisis físico-químico realizado al alimento se concluye que tiene un alto valor en fibra contribuye a que los rumiantes remasquen el bolo alimenticio, secretando saliva que contiene bicarbonato de sodio y potasio y esta por su condición buffer ayuda a controlar la acidez ruminal, lo cual es de vital importancia para la supervivencia de bacterias y hongos celulíticos (flora bacteriana que digiere la fibra), mejorando así la salud del animal, lo que no sucede cuando se aplica pollinaza sin compostar.

5. RECOMENDACIONES

- ✓ Es importante evaluar el efecto de adicionar el alimento a distintas razas de ganado y a diferentes edades de desarrollo, es decir, como varían los diferentes parámetros como aceptabilidad, palatabilidad, digestión y aumento de peso para comparar con los resultados obtenidos.

- ✓ Es primordial estudiar a fondo las características de todo el proceso, para así determinar el tipo de microorganismos que actúa en las diferentes etapas del proceso, y con esto saber que compuestos desaparecerán y cuales no.

- ✓ Es fundamental exigir al alimento elaborado análisis de calidad física-química, análisis bromatológicos y microbiológicos evitando posibles problemas fitosanitarios y patológicos en los animales por suministrar alimentos insuficientemente maduros y que no cumple con las normas sanitarias para su consumo.

- ✓ Sería recomendable realizar el estudio comparando diferentes suplementos al alimento, por ejemplo sorgo, avena, caña de azúcar u otros.

- ✓ Se recomienda realizar un estudio de factibilidad en cuanto costo, operatividad y tiempo para llevar a cabo la producción de alimento a partir de residuos sólidos orgánicos y especialmente de pollinaza, para de esta manera aprovecharla y evitar contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

ALEXOPOULOS, C. and MINS, C. Introductory Mycology. New York, 1979.

BONGCAM, Elkin. Guía para compostaje y manejo de suelos. Ciencia y Tecnología Convenio Andrés Bello. Bogotá, 2003. p.12, 14

CAICEDO, Y. La importancia de los Abonos Orgánicos en la nueva agricultura. Tierra Palmera, FEDEPALMA. 2000. Vol. 9, p.8.

CAICEDO, Yiseth. Efectos del proceso de fermentación sobre la microbiota fúngica de la gallinaza. Testis de Grade, UIS, BUCARAMANGA, 2002. p. 35.

CAMPOS G, José Luís. Avances en Biotecnología Ambiental: Tratamiento de Residuos Líquidos y Sólidos. 2003. p115.

Convenio de Concertización Para una Producción Más Limpia. Ministerio del Medio Ambiente, Fenavi, Fonav y Corporaciones de la Costa Atlántico. 2000

FERMORE, T. Applied aspects of composting and bioconversion of lignocelluloses materials and overview. Internacional Biodeterioration & Biodegradation. Madrid, 1993. Vol. 31, 87-106.

GARZON, M., GUTIERREZ, E. y RIOS, J. Producción a escala de laboratorio de un pool de microorganismos aceleradores de compostaje. Tesis de Grado. Ingeniería Química, UIS, p.28-34.

GRAY, K.R and BIDDLESTONE, A.J. The chemical Engineering. London N° 270. 1973

HAUG, Roger. Composting Engineering, principles and Practice. USA: Ann Aubor science 1980.

HERNANDEZ, J. 2003. Pollinaza, Boletín Informativo sobre el uso de subproductos

HUITRON, M G. Uso de la pollinaza en la engorda de bovinos de corral como principal fuente de energía y proteína. Memorias del primer día del ganadero CEP Vaquería Inifap.1983 p.8

ICA Instituto Colombiano Agropecuario Resolución N° 00150 Por la cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelo. 21 Enero 2003.

KRIEG, Noel and Holt, John, Bergey's manual of systematic bacteriology. Vol. 1 William & Wilkins Baltimore (USA). 1984, Pág. 296-298

M. J. Negro. Producción y Gestión del compost. Tanagosa. Centro de técnicas agrarias.1998

MADIGAN, M., MARTINKO, J., y PARKER, J. Brock Biología de los microorganismos. España: Editorial Prentice Hall, 8a ed. 1998, p. 517-521.

Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en el Sistema de Producción de ganado bovino productor de carne. 1999. p 18.

Manual OXOID limited. Medios de cultivo ingredientes para su preparación y otros elementos de laboratorio. Cuarta edición, 1981

Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos, Presidencia de la República Oficina de Planeamiento y Presupuesto Unidad de desarrollo municipal .p 21

MAYEA, S. y PADRON, J. Producción de composta a partir de la inoculación con microorganismos. Cuba: Ministerio de Agricultura CIDA, 1992. 233p.

MEDRANO, José. Subproductos agrícolas y su utilización en sistemas integrados de producción. Compendio de alternativas no tradicionales para la alimentación de rumiantes. CORPOICA, 1994.p.168-192

MONROY, O. y VINIEGRA, G. Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. México. 1990. p. 47.

MUNEVAR, German. Estiércol que se convierte en plata, Cartagena, 1998. p. 22-25

NEGRO, M y SOLANO, M. Laboratory composting assays of de solid residue resulting from flocculation of oil mill wastewater with different lignocellulosic residues. Compost Science and Utilization, 1996. 4 (4), 62-71.

NEGRO, M. Producción y Gestión del Compost. Zaragoza: Centro de Técnicas Agrarias, 2000. N° 88, p.2-28.

Norma Técnica Colombiana N° 1927 por la cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos.

Norma ICONTEC 2 235 Abonos orgánicos, Gallinaza y productos a base de Gallinaza

Ortíz, C. 2003 CAB, Convenio Andrés Bello Área de Ciencia y Tecnología N°114. Guía Para la Alimentación Animal y Elaboración de Concentrados. p. 4,6-18.

Principales propuestas técnicas agrícolas y pecuarias. 2000. p5

Reglamento sobre el Manejo y Control de Gallinaza y Pollinaza N° 29145-MAG-S-MINAE , Agosto, 1996

REHBERGER, Thumasg. Waster treatment with a combination of denitrifying propionobacterium acidic proposing and protease-producing bacillus. US. patent N° 6,221,650 2001

RESTREPO, R. Elaboración de Abono orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares, 2001 p.13.

RIVERO & CARRACEDO. Efecto del uso de la gallinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. Revista Facultad Agronómica, 1999. Vol. 25 p.83-90

SAMSON, Robert, HOEKSTRA, LL and OLE, S. Introduction to food-borne fungi. The Netherlands: central al bureau boors chimelcultures. 1995. 315 p.

SAWYER, Cair. Bioquímica para Ingeniería Ambiental. Cuarta edición. Colombia: Mc Graw Hill. 2000

SEGURA, V et al. 2000. La pollinaza como fuente de fósforo para rumiantes en pastoreo

SHIGETMITSU, Haruhiro. *Bacillus* descomposting turf pseudos thatchi and thatch, and a microbial material containing the *Bacillus*. Us. Patent N° 6,165,775. 200

SMILL. V. 1997. Abonos nitrogenados. Investigación y Ciencia, septiembre

TCHOBANOGLIOUS, G. Gestión integral de Residuos Sólidos. 1994, España. Ed. Mc Graw-Hill, Madrid. p.10, 47-50, 67.

TCHOBANOGLIOUS, G. Ingeniería de aguas residuales. México. 1997. Tomo II, p. 898-900.

TUCKER, Robert. Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial, Sector Criadero de Aves, Subsector Productores Avícolas. Santiago de Chile. 1998 p.11

VOGEL, Henry. Fermentation and Biochemical Engineering handbook. New Jersey. Noyes publications.1983.

VELEZ, Herta. Curso avanzado de hongos oportunistas. Diagnostico de los agentes más comunes. Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín.1989.

ANEXOS

ANEXO 1

MEDIOS DE CULTIVO PARA MICROORGANISMOS BENÉFICOS

▪ MEDIO DE CULTIVO PARA BACTERIAS NITRIFICANTES (según Lewis and Pramer 1958)

Fosfato de Na.	(Na ₂ HPO ₄)	6.75 gr
Fosfato de K	(KH ₂ PO ₄)	0.35 gr
Sulfato de Mg	(MgSO ₄ *7H ₂ O)	0.05 gr
Carbonato de Na	(NaHCO ₃)	0.25 gr
Sulfato de Amonio	((NH ₄) ₂ SO ₄)	1.25 gr
Cloruro férrico	(FeCl ₃ *H ₂ O)	7.2 mg
Cloruro de Ca	(CaCl ₂ *7H ₂ O)	9.2 mg
Agar agar		7.5 gr
Agua destilada		500 ml
Ajustar el pH a 8.0		

Esterilizar a 15 libras de presión y 121 °C durante 15 minutos.

▪ MEDIO PARA LMA PARA *RHIZOBIUM* (según Allen 1957)

Manitol		10.0 gr
Fosfato de K (KH ₂ PO ₄)		0.5 gr
Sulfato de Mg (MgSO ₄ *7H ₂ O)		0.2 gr
Cloruro de Na (NaCl)		0.1 gr
Carbonato de calcio (CaCO ₃)		3.0 gr
Extracto de levadura (10%)		100 ml
Agua destilada		900 ml

Esterilizar a 15 libras de presión y 121 °C durante 15 minutos

▪ SOLUCION RINGER + GELATINA PARA LA PREINCUBACION

Cloruro de Na (NaCl)	8.6 gr
Cloruro de K (KCl)	0.3 gr
Cloruro de Ca (CaCl ₂)	0.33 gr
Gelatina	0.01% p/v
Agua desionizada	1000 ml

Esterilizar a 15 libras de presión y 121 °C durante 15 minutos

▪ **MEDIOS PARA *AZOTOBACTER***

1. Al medio LMA se le agrega Benzoato en una proporción de 3%.

2. Al medio LMA + NaCl (3%) + Zn (80 mg) + Al (10 mg) +Mn (5mg) + Cu (80 mg). Todo esto es para 1 litro de medio LMA.

▪ **MEDIOS PARA *STREPTOMYCES***

AGAR CASEINA

Leche desnatada	50 gr
Agar agar	10 gr
Agua destilada	1000 ml

Disolver la leche en 500 ml de agua calentando pero sin hervir.

Disolver el agar en 500 ml de agua, llevar a ebullición hasta la digestión del medio.

Autoclavar las dos soluciones por separado a 15 psi. por 15 minutos y dejar enfriar hasta una temperatura de 45 o 50 °C para mezclar las dos soluciones y luego servir en cajas de Pétri estériles.

ANEXO 2

CURVA PATRON DE McFARLAND

Esta curva es un método para cuantificar la concentración celular en una suspensión. Se basa en el grado de turbidez que resulta de la precipitación del BaSO_4 por adición de una solución de BaCl_2 a H_2SO_4 en solución del 1% (Rico, 1998). Cada punto se genera por la variación en el volumen de BaCl_2 añadido al ácido completando siempre un volumen de suspensión de 10 ml. La turbidez de cada suspensión se mide en términos de transmitancia a una longitud de onda determinada.

Datos experimentales para curva McFarland obtenidos a partir de solución H_2SO_4 al 1% con BaCl_2

% T	[]* 10^8 m.o/ml
100	0,1
87,6	0,75
67,1	1,5
55,2	3
32,2	6
22	9
15,2	12
9	15
6,8	18
5,1	21
4,6	24
3,9	27
2,8	30
1,3	33

ANEXO 3

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS MICROORGANISMOS OXIGÉNICOS AISLADOS DE LA POLLINAZA.

Cepa	Dominio	Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
1	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	<i>Serratia</i>	<i>marcescens</i>
2	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	<i>Cedecea</i>	<i>davisae</i>
3	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	<i>Kluyvera</i>	<i>cryocrescens</i>
4	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	<i>Enterobacter</i>	<i>agglomerans</i>
5	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	<i>Enterobacter</i>	<i>aerógenes</i>
6	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	<i>Klebsiella</i>	<i>oxytoca</i>
7	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	<i>Proteus</i>	<i>vulgaris</i>
8	Bacteria	Proteobacteria	Betaproteobacteria	Burkholderiales	Alcaligenaceae	<i>Alcaligenes</i>	<i>denitrificans</i>
9	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Moraxellaceae	<i>Acinetobacter</i>	<i>calcoaceticus</i>
10	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i>	<i>putida</i>
11	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i>	<i>fluorescens</i>
12	Bacteria	Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i>	<i>cepacia</i>
13	Bacteria	Firmicutes	Bacilli	Bacillales	Bacillaceae	<i>Bacillus</i>	<i>subtilis</i>
14	Bacteria	Firmicutes	Bacilli	Bacillales	Bacillaceae	<i>Bacillus</i>	<i>macerans</i>
15	Bacteria	Firmicutes	Bacilli	Bacillales	Bacillaceae	<i>Bacillus</i>	<i>licheniformis</i>
16	Bacteria	Firmicutes	Bacilli	Bacillales	Bacillaceae	<i>Bacillus</i>	<i>megaterium</i>
17	Bacteria	Firmicutes	Bacilli	Actinomycetales	Streptomycetaceae	<i>Streptomyces</i>	<i>griseus</i>
18	Bacteria	Firmicutes	Bacilli	Actinomycetales	Actinomycetaceae	<i>Actinomices</i>	<i>pyogenes</i>
19	Bacteria	Firmicutes	Bacilli	Actinomycetales	Nocardiaceae	<i>Nocardia</i>	<i>corallina</i>

ANEXO 4 DATOS DE ANÁLISIS DE RESIDUOS COMPOSTADOS

25

RESIDUOS COMPOSTADOS Lc. Miguel Angel Pravia

Código	Descripción	Temperatura	C/N	pH	M.O. %	Nutrientes (%)						Total ppm			
						P	Ca	K	Mg	Na	Fe	Mn	Zn		
85	Residuos de cerdos	85	16	7,3	35	7	0,87	2,5	1,3	0,88	0,17	2300	277	346	
80-85	Residuos de cerdos	80-85	15	7,7	33	8	1	2,1	0,98	0,9	0,16	2212	280	325	
80	Residuos de cerdos	80	15	7,8	32	6	0,9	2,8	1	0,97	0,16	2170	275	333	
80	Residuos de cerdos	80	11	6,7	35	9	1,2	3,4	1,2	0,7	0,09	2200	266	360	
80	Residuos de cerdos	80	18	7,8	40	18	1,8	2,4	1,5	0,9	0,21	2165	221	292	
110	Residuos de cerdos	110	17	6,8	42	5	1,7	2,2	1	1,2	0,33	2285	266	332	
90	Residuos de cerdos	90	17	8	41	7	0,9	2,3	1,3	1	0,19	2180	270	273	
120	Residuos de cerdos	120	21	7,1	39	2	0,82	1,34	0,9	0,81	0,08	1820	255	203	
100	Residuos de cerdos	100	19	7,4	37	6	0,9	1,22	0,87	0,93	0,1	1924	247	221	
120	Residuos de cerdos	120	20	7,3	35	54	1,1	1,03	0,7	0,91	0,18	1872	251	231	
90	Residuos de cerdos	90	17	7,7	36	6	1,02	1	0,9	0,88	0,19	1770	235	222	
85	Residuos de cerdos	85	18	7,6	42	3	1,2	1,7	1,5	1,3	1	1832	277	301	
90	Residuos de cerdos	90	17	6,4	32	6	0,9	0,98	1,1	0,77	0,22	1423	288	342	
85	Residuos de cerdos	85	14	6,6	38	4	1,23	1,29	0,92	1	0,13	1725	244	220	
90	Residuos de cerdos	90	19	6,5	37	1	0,77	0,96	1,3	0,7	0,87	1522	195	341	
80	Residuos de cerdos	80	21	7,6	42	3	0,87	2,7	1,5	0,8	0,07	1324	172	201	
90	Residuos de cerdos	90	22	6,6	33	3	1,33	1	1,4	0,88	0,8	1231	183	355	
135	Residuos de cerdos	135	24	7,3	41	2	0,88	2,5	1,6	1,1	0,9	1324	288	346	
100	Residuos de cerdos	100	26	7,8	55	2	1,8	2,7	1,2	0,92	0,9	2297	270	287	
120	Residuos de cerdos	120	21	7,3	45	1	0,91	2	1,2	1	0,7	1240	203	328	
80	Residuos de cerdos	80	16	6,8	34	6	1,5	1	0,87	1,1	0,77	1625	278	346	
90	Residuos de cerdos	90	18	7,3	36	4	0,9	1,1	0,92	1,2	0,83	1723	251	311	
120	Residuos de cerdos	120	20	8,1	32	9	0,3	2,1	0,26	0,97	0,12	1722	170	301	
75	Residuos de cerdos	75	16	8,2	35	7	0,87	2	0,24	0,8	0,11	1742	177	300	

25