

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL  
ABONO ELABORADO A PARTIR DE LOS RESIDUOS GENERADOS  
DURANTE EL PROCESAMIENTO DEL FRUTO DE LA PALMA ACEITERA  
(*Elaeis guineensis*) EN SABANA DE TORRES - SANTANDER**

**JHON JAIRO ACEVEDO VILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL.  
BUCARAMANGA**

**2014**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL  
ABONO ELABORADO A PARTIR DE LOS RESIDUOS GENERADOS  
DURANTE EL PROCESAMIENTO DEL FRUTO DE LA PALMA ACEITERA  
(*Elaeis guineensis*) EN SABANA DE TORRES - SANTANDER**

**JHON JAIRO ACEVEDO VILA**

**Trabajo de aplicación presentado como requisito para optar al título de  
Magíster en Ingeniería Ambiental.**

**Director (a)**

**CAROLINA GUZMÁN LUNA**

**Bacterióloga**

**PhD. Microbiología Ambiental y Biotecnología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL.  
BUCARAMANGA**

**2014**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	20
2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA	21
2.1 MATERIAS PRIMAS	21
2.2 ESTADO ACTUAL DE LOS MICROORGANISMOS EN PLANTA DE PRODUCCIÓN	23
2.3 CARACTERIZACIONES FISICOQUÍMICAS DEL ABONO PALM-MIXTEX	24
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN	25
2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ABONO PALM-MIXTEX	26
2.6 IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA APLICADAS EN EL PROCESO	28
3. HIPÓTESIS	29
4. OBJETIVOS	30
4.1 OBJETIVO GENERAL	30
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
5. MARCO TEÓRICO	31
5.1 ÁREA SEMBRADA DE PALMA AFRICANA EN COLOMBIA	31

5.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE EN LA PLANTA DE BENEFICIO	34
5.3 GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS DURANTE EL PROCESAMIENTO DEL FRUTO DE LA PALMA DE ACEITE UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DEL ABONO PALM-MIXTEX	35
5.3.1 Raquis	39
5.3.2 Cascarilla	42
5.3.3 Cenizas de las calderas	42
5.3.4 Lodos de las piscinas de la planta extractora	43
5.4 PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE LOS ABONOS	45
5.4.1 Temperatura	46
5.4.2 Humedad.	47
5.4.3 pH.	47
5.4.4 Aireación.	48
5.4.5 Grupos de microorganismos	48
5.4.5.1 Microorganismos patógenos.	48
5.4.5.2 Microorganismos fitopatógenos.	50
5.4.5.3 Microorganismos benéficos.	53
5.4.6 Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato	54
5.4.6.1 Tamaño de partícula.	54
5.4.6.2 Relación C/N.	54
5.4.6.3 Nutrientes.	55
5.4.6.4 Materia orgánica.	56
5.4.6.5 Conductividad eléctrica (CE).	56
5.5 COMPOSTAJE	56
5.5.1 Definición	56
5.6 NORMATIVIDAD COLOMBIANA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS	58
6. METODOLOGÍA	62
6.1 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	66

6.1.1 Materiales	66
6.1.2 Toma de muestras	66
6.1.3 Microorganismos patógenos y fitopatógenos	67
6.1.4 Microorganismos benéficos	67
6.2 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS	72
6.2.1 Determinación de los tiempos de muestreo del abono PALM-MIXTEX	72
6.2.2 Protocolo toma de muestras	72
6.2.3 Búsqueda de registros y caracterizaciones físico-químicas	72
6.2.4 Pruebas de homogenización del abono PALM-MIXTEX	73
6.2.4.1 Preparación de mezclas en base húmeda y seca	73
6.2.4.2 Cuantificación de pérdidas durante el proceso	74
6.2.4.3 Pérdidas de materias primas con base a la cantidad en peso que puede contener una carretilla	74
6.2.5 Formulación del abono PALM-MIXTEX	75
6.2.5.1 Caracterizaciones físico-químicas de las materias primas	76
6.2.5.2 Caracterización físico – química del abono PALM-MIXTEX	77
6.2.5.3 Clasificación del abono PALM-MIXTEX de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167	77
6.3 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO	77
6.3.1 Diseño y pruebas de fraccionamiento del abono PALM-MIXTEX	78
6.3.1.1 Hidrosoluble	79
6.3.1.2 Ácidos solubles	79
6.3.1.3 Ácidos húmicos	79
6.3.1.4 Filtración	80
6.3.1.5 Repotenciación	80
6.3.2 Clasificación del abono líquido con respecto a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004	80
6.3.3 Evaluación de Costos de Implementación	81
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82

7.1 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA	82
7.1.1 Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método internacional OMS	82
7.1.2 Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método nacional NTC 5167 de 2004	86
7.1.3 Cuantificación de microorganismos benéficos	92
7.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA	93
7.2.1 Determinación de los tiempos de muestreo del abono PALM-MIXTEX	93
7.2.2 Protocolo toma de muestra	94
7.2.3 Búsqueda de registros y caracterizaciones físico-químicas	94
7.2.4 Pruebas de homogenización	95
7.2.4.1 Preparación de mezclas en base húmeda y base seca	95
7.2.4.2 Cuantificación de pérdidas durante el proceso	106
7.2.4.3 Pérdidas de materias primas con base a la cantidad en peso que puede contener una carretilla	113
7.2.5 Formulación del abono PALM-MIXTEX	116
7.2.5.1 Caracterizaciones físico-químicas de las materias primas	119
7.2.5.2 Caracterización físico-química del producto abono PALM-MIXTEX	121
7.2.5.3 Clasificación del abono PALM-MIXTEX de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004	122
7.3 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO	127
7.3.1 Diseño y pruebas de fraccionamiento del abono PALM-MIXTEX	127
7.3.1.1 Hidrosoluble	128
7.3.1.2 Ácidos solublesPar	129
7.3.1.3 Ácidos húmicos	129
7.3.1.4 Filtración	130
7.3.1.5 Repotenciación	130
7.3.2 Caracterización físico-química, microbiológica y metales pesados del abono líquido	131
7.3.2.1 Caracterización físico-química	132

7.3.2.2 Análisis microbiológico	132
7.3.2.3 Metales pesados	133
7.3.3 Clasificación del abono líquido de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004	133
7.3.4 Costos de producción del abono líquido PALM-MIXTEX	134
8. CONCLUSIONES	141
BIBLIOGRAFIA	143

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Relación de materias primas según forma ICA 3-894	23
Tabla 2. Formato para el control y seguimiento de alimentación de las bacterias benéficas	24
Tabla 3. Resultados físico - químicos realizados al abono PALM-MIXTEX por dos laboratorios de referencia	25
Tabla 4. Equipos utilizados en el proceso de producción del abono PALM-MIXTEX	26
Tabla 5. Municipios de Santander identificados con cultivos de palma de aceite en la zona central, 2011	33
Tabla 6. Plantas de beneficio del fruto de palma de aceite en la zona central	34
Tabla 7. Subproductos sólidos en las plantas de beneficio: Características y usos	37
Tabla 8. Características químicas y físicas de la fibra del raquis	40
Tabla 9. Efecto del cubrimiento de palmas inmaduras con raquis vacíos sobre los rendimientos de racimos de fruta fresca	42
Tabla 10. Características químicas de las aguas lodosas	44
Tabla 11. Efecto de los lodos de la planta extractora de aceite de palma sobre los rendimientos de racimos de fruta fresca (RFF)	45
Tabla 12. Microorganismos patógenos aislados de los abonos y las enfermedades y/o síntomas causados por los mismos	49
Tabla 13. Materiales de laboratorio. Insumos, reactivos y medios de cultivo	66
Tabla 14. Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método internacional de la Organización Mundial de la Salud y el método Mexicano NOM-001.ECOL. 1996	83

Tabla 15. Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método nacional NTC 5167 de 2004 en cuatro lotes de producción del abono PALM - MIXTEX.	86
Tabla 16. Determinación cuantitativa de <i>Rhizobium spp.</i> , <i>Azotobacter spp.</i> , y <i>Azospirillum spp.</i>	92
Tabla 17. Análisis físico-químicos del abono PALM – MIXTEX en diferentes lotes de producción.	100
Tabla 18. Fases de proceso en las que ocurren pérdidas de materias primas y producto PALM-MIXTEX	107
Tabla 19. Comparación físico-química del abono PALM-MIXTEX con pérdidas en el proceso y sin ellas	111
Tabla 20. Diferencia de peso en las carretillas cargadas con materias primas utilizadas en la formulación del abono	114
Tabla 21. Formulación de macronutrientes, silicio y elementos secundarios durante el proceso de producción del abono PALM-MIXTEX	117
Tabla 22. Resultados de los análisis físico-químicos de las materias primas utilizadas en la formulación de abono PALM-MIXTEX	120
Tabla 23. Parámetros físico-químicos definitivos del abono orgánico mineral sólido PALM-MIXTEX	121
Tabla 24. Clasificación del abono PALM-MIXTEX con respecto a la NTC 5167 de 2004	124
Tabla 25. Análisis físico-químico del abono líquido PALM-MIXTEX	131
Tabla 26. Metales pesados encontrados en el abono líquido PALM-MIXTEX	133
Tabla 27. Clasificación del abono PALM-MIXTEX con respecto a la NTC 5167 de 2004	136
Tabla 28. Costos de producción de 1 litro de abono líquido PALM-MIXTEX	139

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso de producción del abono PALM-MIXTEX	27
Figura 2. Zonas productoras de palma de aceite	32
Figura 3. Diagrama de flujo de flujo esquemático de una planta extractora de aceite de palma (Se resalta en rojo los residuos utilizados para la producción del abono).	38
Figura 4. Balance de masas de los racimos de fruta fresca en la extracción.	41
Figura 5. Parámetros relacionados con la calidad de los abonos.	46
Figura 6. Sustratos y productos de la actividad microbiana en un montón de compost.	57
Figura 7. Documentos normativos referenciados según el año de aparición indispensable para la aplicación de la NTC 5167.	59
Figura 8. Metodología	65
Figura 9. Metodología para la determinación de microorganismos benéficos.	69
Figura 10. Caracterización microbiológica del abono	70
Figura 11. Protocolo internacional NTC 5167 de 2004 para la determinación microbiológica.	71
Figura 12. Cálculo para la formulación de los elementos de entrada	76
Figura 13. Fraccionamiento del abono líquido y las sustancias húmicas	80
Figura 14. Evaluación de costos.	81
Figura 15. Representación del balance de macronutrientes, silicio y elementos secundarios durante el proceso de producción del abono PALM-MIXTEX	118
Figura 16. Equipo de fraccionamiento y filtración del abono líquido	128
Figura 17. Solución de ácidos húmicos extraídos del abono PALM-MIXTEX	130

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Curva de temperatura, pH y humedad del abono PALM-MIXTEX	93
Gráfica 2. Comparación de los análisis físico-químicos realizados en los años 2008, 2009 y 2012 al abono PALM-MIXTEX	95
Gráfica 3. Comparación de los resultados físico-químicos en base húmeda del abono PALM-MIXTEX	96
Gráfica 4. Comparación de los resultados físico-químicos en base seca del abono PALM-MIXTEX	97
Gráfica 5. Comparación de los valores obtenidos de NPK obtenidos en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas	98
Gráfica 6. Comparación de los valores obtenidos de pH y humedad en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas	102
Gráfica 7. Comparación de los valores obtenidos de cenizas, relación carbono – nitrógeno y carbono orgánico oxidable en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas	103
Gráfica 8. Comparación de los valores obtenidos de capacidad de intercambio catiónico, conductibilidad eléctrica y sílice en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas	105
Gráfica 9. Elementos nutricionales de entrada en el abono PALM-MIXTEX con pérdidas y sin ellas	108
Gráfica 10. Elementos nutricionales de salida esperados en el abono PALM-MIXTEX con pérdidas y sin ellas	110
Gráfica 11. Diferencias promedios de peso de las carretillas con materia prima.	115

## RESUMEN

**TITULO** EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL ABONO ELABORADO A PARTIR DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESAMIENTO DEL FRUTO DE LA PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN SABANA DE TORRES - SANTANDER\*

**AUTOR:** JHON JAIRO ACEVEDO VILA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Microbiología, Abono, Residuos, Palma aceitera, Sabana de Torres

La empresa PALM – MIXTEX produce un abono orgánico mineral utilizando los residuos generados durante el procesamiento del fruto de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*). En el presente trabajo de aplicación se evaluó la calidad microbiológica del abono mediante la búsqueda de microorganismos patógenos y fitopatógenos utilizando protocolos nacionales (norma técnica Colombiana NTC 5167) e internacionales (organización mundial de la salud) para su identificación. No se encontraron microorganismos patógenos y fitopatógenos en las muestras. Además, se realizó la evaluación de la calidad físico – química del abono, para lo cual, fue necesario caracterizar físico – químicamente las materias primas y determinar los tiempos de muestreo del abono haciendo seguimiento de parámetros mediante la realización de curvas de pH; humedad y temperatura, las cuales, presentaron valores de 6, 18% y 32°C respectivamente, en un tiempo de compostaje de 45 días. Para evitar diferencias significativas en los valores de macronutrientes, elementos secundarios y parámetros físicos del abono en los diferentes lotes de producción, se calcularon las pérdidas de las materias primas ocurridas en la maquinaria durante el proceso productivo. Se pierden 78 kilogramos de materias primas por tonelada procesada. Las únicas pérdidas que afectan la calidad físico – química del abono, son las que se presentan antes del mezclado. Con los resultados microbiológicos y físico – químicos obtenidos se clasificó el abono teniendo en cuenta la norma técnica Colombiana NTC 5167. Finalmente, como un proceso alternativo, se generó un fertilizante foliar, el cual, se obtiene a partir del abono sólido producido por la empresa PALM – MIXTEX. Para la elaboración de éste nuevo producto es necesario someter el abono sólido a diferentes etapas de fraccionamiento químico con ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) e hidróxido de potasio (KOH). Las concentraciones óptimas encontradas del ácido y el álcali fueron 0,5 molar y 0,1 molar respectivamente.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías fisicoquímicas, escuela de ingeniería química, maestría en ingeniería química, Directora PhD Carolina Guzman Luna

## ABSTRACT

**TITLE** EVALUATION OF THE MICROBIOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF THE CREDIT ELABORATED From THE RESIDUES GENERATED DURING THE PROCESSING OF THE FRUTO OF THE PALM OIL BOTTLE (*Elaeis guineensis*) IN SHEET OF TOWERS - SANTANDER\*

**AUTHOR:** JHON JAIRO ACEVEDO VILA\*\*

**KEY WORDS:** Microbiology, Credit, Residues, Palm oil bottle, Saban of Towers

PALM - MIXTEX produces mineral using compost waste generated during processing of the fruit of the oil palm (*Elaeis guineensis*). In this paper the application of the fertilizer microbiological quality was assessed by searching for pathogens and plant pathogenic microorganisms using national protocols international (Colombian technical standard NTC 5167) and (World Health Organization) for identification. Phytopathogenic and non-pathogenic microorganisms in the samples were found. In addition, the physical quality assessment was performed - chemical fertilizer , for which it was necessary to characterize physical - raw and chemically determine the sampling times of the fertilizer materials by monitoring parameters by performing pH curves , moisture and temperature , which , with values of 6, 18 % and 32 ° C respectively, in a time of 45 days of composting . To avoid significant differences in the values of macronutrients, secondary elements and physical parameters of the fertilizer in the different production batches, the losses of raw materials occurred in the machinery during the production process were calculated. 78 kilograms of raw materials processed are lost tone. The only losses that affect the physical quality - chemical fertilizer are presented prior to mixing. Microbiological and physical results - obtained chemical fertilizer was classified considering the Colombian technical standard NTC 5167. MIXTEX - Finally, as an alternative process, a foliar fertilizer, which is obtained from the solid manure produced by the company generated PALM. For the development of this new product is necessary to subject the solid fertilizer at different stages of chemical fractionation with phosphoric acid (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) and potassium hydroxide (KOH). Found optimal concentrations of acid and alkali were 0.5 molar and 0.1 molar respectively.

---

\* Work of degree

\*\* Faculty of physicochemical Engineerings, school of chemical engineering, mastery in chemical engineering, Director PhD Carolina Guzman Luna

## INTRODUCCIÓN

En el mundo, los residuos vegetales son el recurso renovable más grande que existe y se considera que más del 85% de los residuos considerados agrícolas y un gran porcentaje de residuos agroindustriales, incluyendo la palma de aceite son de este tipo (SZTERN, D. y PRAVIA, M. 1996). Colombia, en el año 2012 se ubicó como el primer país de Latinoamérica y el quinto del mundo en producción de aceite de palma con un área sembrada de 452 mil hectáreas y una producción de frutos estimada en 5658554 toneladas (FEDEPALMA, 2012), de las cuales, los residuos representan un 31.6%; es decir, que en Colombia en el año 2012 se generaron 1788103 toneladas de residuos de palma de aceite, desglosada de la siguiente manera: Raquis de palma 1001564 toneladas; cenizas de las calderas 40413 toneladas y 31926 toneladas de cascarilla. Por otra parte, se producen 600 kilogramos de efluentes por cada 1000 kilogramos de aceite de palma, lo que constituye un residuo importante para ser tratado. De las 452 mil hectáreas de palma de aceite sembradas, el departamento de Santander sembró 33402 hectáreas (FEDEPALMA, 2012).

Los suelos en los que se ha sembrado la palma de aceite en América tropical, en general, han sufrido un manejo deficiente que ha afectado desfavorablemente sus características físicas, químicas y biológicas a través de los años (CHINCHILLA, C. y DURAN, N. 1997). La recuperación de los suelos agrícolas implica entre otras cosas, aumentar el contenido de materia orgánica, para mejorar las características físicas y biológicas. Por otra parte, los residuos del procesamiento de los frutos de la palma de aceite (raquis, efluentes, lodos, fibras, cascarilla, etc.) pueden ser fuentes importantes de contaminación ambiental, además de un problema económico, debido a los volúmenes altos (1788103 toneladas en el 2012) de material que deben ser movilizados para su descarte. La alternativa de estabilizar

estos residuos generados durante el procesamiento del fruto de la palma de aceite y su conversión en un abono orgánico, una enmienda o un acondicionador tiene el potencial de solucionar tanto el problema ambiental, como el de la degradación de suelos (TORRES, R., ACOSTA, A., y CHINCHILLA, C. 2004).

Los residuos generados durante el procesamiento del fruto de la palma de aceite, una vez estabilizados, constituyen un producto valioso y su demanda aumentará en la medida que se destinen más tierras en el país para implementar nuevos cultivos y especialmente el cultivo de palma de aceite. La práctica de estabilizar dichos residuos es muy conocida, pero se realiza de forma empírica para producir abonos orgánicos, y en otras ocasiones son utilizados directamente por los pequeños productores de palma de aceite. La producción de abonos en Colombia está regulada, entre otras normas, por NTC 5167 de 2004; NTC 1927 del 2001; NTC – ISO 8633 y 8634 de 1995 que definen los documentos normativos, definiciones, su clasificación, y métodos de muestreo simple para lotes pequeños y grandes para producir abonos a partir de residuos agroindustriales. En este sentido, es importante caracterizar microbiológica y físico – químicamente el abono producido por la empresa PALM-MIXTEX. Adicionalmente, el conocimiento de los microorganismos patógenos y fitopatógenos es de vital importancia para comercializar de forma segura el abono producido por la empresa; garantizando así, la inocuidad del producto en las personas, animales y las plantas que están en contacto directo con el mismo.

El conocimiento de las características físico – químicas del abono y las materias primas usadas en la elaboración de este, permite garantizar que los parámetros nutricionales: macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio); elementos secundarios (calcio y magnesio) y algunos atributos físicos como el pH; la relación carbono nitrógeno (C/N); el contenido de materia orgánica entre otros se mantengan homogéneos durante el tiempo. Además, la caracterización físico – química se considera una herramienta importante durante la formulación del

abono, puesto que permite tomar decisiones, acerca de las cantidades de materiales que deben ingresar a la mezcla para alcanzar los parámetros prometidos del abono en el proyecto de etiquetado que exige la norma técnica Colombiana NTC 40 del año 2003.

## 1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PALM – MIXTEX es una empresa Santandereana ubicada en el corregimiento La Gómez, vereda La Moneda km 32 + 800 la Fortuna – San Alberto, del municipio de Sabana de Torres. PALM-MIXTEX produce un abono para suelos (según resolución ICA 000040 del 13 de enero del 2009) a partir de residuos agrícolas obtenidos del procesamiento del fruto de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*); estos residuos corresponden a los raquis, fibras, cascarilla, cenizas de las calderas y los lodos de las piscinas de la planta extractora de aceite (Ver tabla 1 forma ICA 3-894). Actualmente en la planta se está trabajando por la homogenización de este material para mejorar la comercialización.

Las características físico – químicas heterogéneas y el desconocimiento microbiológico del abono PALM-MIXTEX genera desconfianza al momento de su comercialización y utilización. Una de las causas para que se presente el problema, puede ser la ausencia de una caracterización de microorganismos benéficos y patógenos en el producto terminado que garantice la seguridad de las personas, animales y plantas que entraran en contacto directo con el producto. En segundo lugar, la dificultad en la formulación durante el proceso de fabricación debido a la ausencia de caracterizaciones físico químicas de las materias primas y el producto terminado, que genera un abono heterogéneo en cuanto a sus parámetros químicos y físicos.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La empresa PALM – MIXTEX tiene invertido un gran capital en equipos industriales, materias primas, arriendos y empleados contratados con todas las prestaciones legales, con el único objetivo de producir el abono orgánico. Sin embargo, los parámetros de macronutrientes, elementos secundarios y los físicos reportan cambios en los parámetros físico-químicos en cada análisis del producto, lo que se traduce en un abono heterogéneo. La caracterización físico – química de la materia prima y del producto terminado es una herramienta que permite realizar una formulación homogénea del producto, ya que es posible observar en los análisis con claridad la cantidad exacta de nutrientes que entran al proceso de mezcla del abono (materias primas) y la cantidad que resulta de estos al final del proceso (abono terminado).

Por otra parte, el conocimiento de los microorganismos patógenos y fitopatógenos en el abono genera confianza en el momento de comercializar el producto, pues se tiene certeza que no se causará daños en la salud de las personas y animales que entran en contacto con el producto. Además, la tranquilidad para el productor y el empresario puesto que no se inocularán hongos, bacterias, nematodos, helmintos y cualquier otro organismo potencialmente dañino que pueda afectar la productividad de los diferentes cultivos donde será aplicado el abono PALM – MIXTEX.

Finalmente, cuando se produce un abono homogéneo en sus características físico – químicas e inocuo en lo referente a su carga microbiológica, es posible buscar alternativas que permitan potenciar el uso del mismo en otro proceso, por ejemplo, la producción de hongos endomicorrizicos usando como sustrato base el abono PALM – MIXTEX, abonos peletizados e incluso fertilizantes foliares basados en la extracción de compuestos húmicos y fúlvicos a partir del contenido de materia orgánica de abonos producidos a partir de residuos vegetales o animales.

## **2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA**

La producción de abonos orgánicos, orgánico – minerales, enmiendas orgánicas húmicas y no húmicas están reguladas en Colombia por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y su producción se apoya en el seguimiento de la norma técnica Colombiana (NTC 5167 de 2004). La empresa PALM-MIXTEX se encuentra actualmente registrada como productora de acondicionadores orgánicos por proceso de compostaje a partir de lodos de piscinas de oxidación de plantas extractoras de aceite de palma africana según resolución ICA No. 000040 de 2009.

Actualmente, se produce un acondicionador para la aplicación al suelo. Este producto puede ser utilizado en diferentes cultivos según las recomendaciones de un ingeniero agrónomo, con base en el análisis de suelos o del tejido foliar. El producto está registrado con licencia de venta ICA No. 6651. Las materias primas utilizadas son obtenidas de los residuos generados durante el procesamiento del fruto de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*).

Por otra parte la empresa cuenta con contratos de control de calidad para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con laboratorios certificados.

### **2.1 MATERIAS PRIMAS**

Los diferentes subproductos del procesamiento de la palma de aceite llegan en volquetas que descargan el producto en un patio a cielo abierto y con piso en tierra, el cual, tiene un área de 600 m<sup>2</sup>. Los raquis se ubican cerca de una banda transportadora que los llevará a la primera molienda.

Los lodos provenientes de las piscinas de oxidación de la planta extractora son también depositados al igual que los raquis en el patio a cielo abierto, pero, se cubren con plástico negro calibre seis.

Otros subproductos del beneficio de la palma de aceite, tales como la cascarilla y las cenizas provenientes de las calderas de la planta de extracción de aceite llegan a la empresa en pequeñas cantidades, y debido a ello, se depositan al interior de la planta de producción, la cual, está totalmente techada, lo que probablemente conlleva a que estos subproductos mantengan sus condiciones físico químicas inalteradas al no estar expuestas al sol y la lluvia.

Otras materias primas utilizadas durante la fabricación del acondicionador orgánico son cal agrícola y roca fosfórica. La cal es un producto que comercialmente se encuentra principalmente en dos presentaciones: cal viva ( $\text{CaO}$ ) y cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ); estos productos generan un aumento de la temperatura y producen iones hidroxilo que aumentan el pH (ANDREOLI, C. V., *et al.* 2001).

La roca fosfórica está recomendada en la producción de abonos orgánicos como fuente de fósforo en Colombia debido al carácter ácido de la mayoría de nuestros suelos. Estos suelos tienen generalmente bajo contenido de fósforo (P) disponible para las plantas y a menudo tienen una alta capacidad de fijación de fósforo, lo que resulta en una baja eficiencia de uso de los fertilizantes fosfóricos solubles en agua como el súper fosfato triple (SFT) y el fosfato diamónico (DAP). En estos casos, la aplicación al producto de roca fosfórica se justifica como alternativa en producción por su bajo costo y porque es una fuente importante de calcio (CHIEN, S.H. 2003).

De acuerdo a la forma ICA 3-894 en el numeral cuatro (4), referente al uso de materias primas, se exige realizar la relación de estas en la fabricación o

formulación. Al revisar dicho documento encontramos que en el proceso, durante la mezcla, se utilizan medidas tales como “carretadas” y en otras ocasiones número de bultos de ciertos productos. Hay que tener en cuenta, que en la mayoría de las ocasiones la cantidad de material que se carga en una carreta varía de medida a medida, lo cual, puede ocasionar cambios en las características físico químicas del producto. En la tabla 1 se muestra la relación de materias primas requerida por la forma ICA 3-894.

**Tabla 1. Relación de materias primas según forma ICA 3-894**

Nombre	Cantidad	Nacional	Importada
lodos provenientes de las piscinas de oxidación de la planta extractora	100 carretadas	X	
Cascarilla + tusas vacías	24 carretadas	X	
Ceniza proveniente de las calderas	8 carretadas	X	
Cal agrícola	6 bultos x 50 kg	X	
Roca fosfórica	4 bultos x 50 kg	X	
Cloruro de potasio (KCl)	12 bultos x 50 kg	X	

**Fuente:** Tomado de la forma ICA 3-894 presentada por PALM – MIXTEX.

## **2.2 ESTADO ACTUAL DE LOS MICROORGANISMOS EN PLANTA DE PRODUCCIÓN**

Los microorganismos benéficos que se adicionan se encuentran en tanques de 2000 litros cada uno y se potencializan mensualmente con fuentes de carbono, nitrógeno y oligoelementos (Tabla 2).

**Tabla 2. Formato para el control y seguimiento de alimentación de las bacterias benéficas**

Fecha	Hora	Descripción componente de alimentación	Cantidad	Costo en pesos
15/04/2013	9:00 AM	Levadura	6 libras	36 000
		Fuente de carbono	36 unidades	39 000
		Fuentes minerales	30 libras	19 500
		Fuente de nitrógeno	24 litros	37 500
		Fuente lipídica	12 litros	19 200
			<b>Valor total</b>	<b>151.200</b>

**Fuente:** Tomado del formato GC-F-06 de la empresa PALM – MIXTEX.

La empresa PALM-MIXTEX, soporta la presencia de microorganismos nitrificantes, de acuerdo con el análisis de laboratorio No. 45770 realizado el 28 de marzo del 2012; en dicho análisis, reportan la existencia de la bacteria nitrificante *Rhizobium spp* con una población de  $75 \times 10^3$  UFC/mL.

### 2.3 CARACTERIZACIONES FISICOQUÍMICAS DEL ABONO PALM-MIXTEX

De acuerdo con los decretos y resoluciones vigentes, la empresa PALM-MIXTEX tiene registro de venta ICA número 6651 del producto denominado abono biorgánico PALM-MIXTEX. El producto tiene la siguiente composición garantizada: nitrógeno total (N) 3,5%; fosforo total ( $P_2O_5$ ) 2%; potasio total ( $K_2O$ ) 3,5%; silicio ( $SiO_2$ ) 40%; carbono orgánico oxidable total 11%; relación carbono nitrógeno (C/N) 3%; cenizas 60%; humedad máxima 10%; pH 5,85; densidad  $0,95 \text{ g/cm}^3$ ; capacidad de intercambio catiónico 38,9 meq/100g y conductibilidad eléctrica 314 dS/m. No presenta metales pesados y están ausentes las enterobacterias totales y *Salmonella spp*.

Durante los años 2008 y 2009 se realizaron pruebas fisicoquímicas y los valores de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) cambiaron con respecto a la composición garantizada en el registro de venta. En el 2013, se realizaron dos mezclas en base húmeda y seca en donde las variaciones en la composición fueron menores (Ver tabla 3).

**Tabla 3. Resultados físico - químicos realizados al abono PALM-MIXTEX por dos laboratorios de referencia**

PARÁMETRO	RESULTADOS					
	2008	2009	18/01/2013			
			Base seca		Base húmeda	
			Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
Nitrógeno total (N)	3,15%	3,03%	1,44%	0,71%	1,18%	1,07%
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2,17%	1,71%	0,98%	0,67%	0,80%	0,56%
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	6,29%	3,31%	0,55%	0,71%	0,45%	0,59%
Relación C/N	3	1,92	3,62	4,42	3,62	4,42
Carbono orgánico oxidable	9,20%	5,84%	5,21%	5,66%	4,26%	4,71%

**Fuente:** Tomado del formato GC-F-07 de la empresa PALM - MIXTEX

## 2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

La planta de producción tiene un área total de 1880 m<sup>2</sup> en la cual, en diferentes etapas durante la fabricación, se combinan procesos físicos, químicos y biológicos para obtener un volumen de producción de 2000 sacos mensuales. Este producto es empacado en sacos de polipropileno laminado internamente con polietileno con capacidad de 40 kilogramos cada uno. Los equipos utilizados para el proceso se observan en la tabla 4.

**Tabla 4. Equipos utilizados en el proceso de producción del abono PALM-MIXTEX**

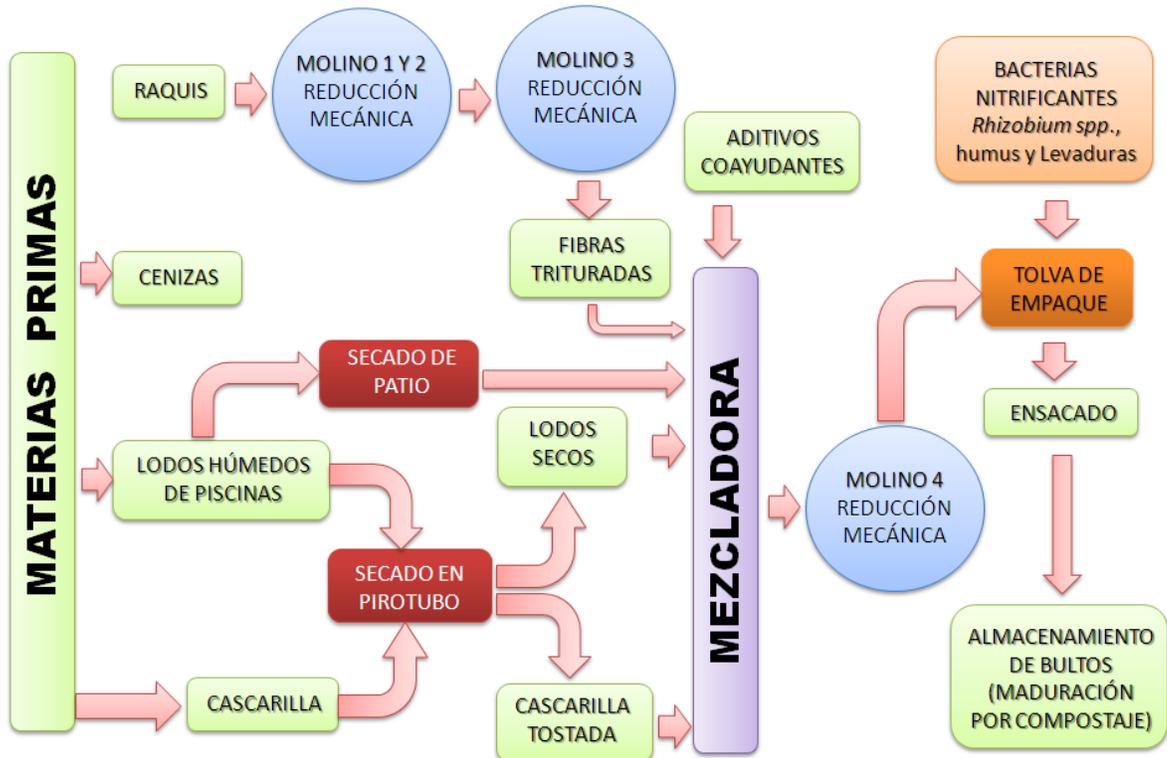
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	CANTIDAD
1	Transportador de banda	0,60 m x 12 m	4
2	Transportador de tornillo	0,60 m x 10 m	1
3	Transportador de tornillo	0,40 m x 6 m	1
4	Molinos de martillo	0,70 m x 0.70 m	4
5	Mezcladora	6 m <sup>3</sup>	1
6	Batería de bacterias	tanques de 2000 litros	6
7	Pirotubo	1,2 m de diámetro x 10 m de largo	1
8	Tolva de empaque	4 m <sup>3</sup>	1
9	Banda saca bultos		1

**Fuente:** Tomado de la forma ICA 3-834 presentado por PALM - MIXTEX

## **2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ABONO PALM-MIXTEX**

Los diferentes residuos generados a partir del beneficio de la palma de aceite llegan a la planta de producción (Ver figura 1). El raquis es conducido a través de una banda transportadora, la cual, sube este material a dos molinos de martillo en serie que mejoran el tamaño de partícula del raquis. Luego, un transportador tipo tornillo eleva el raquis ya triturado a un tercer molino de martillos, del cual, salen fibras trituradas que a su vez son llevadas por un transportador tipo tornillo a la mezcladora.

Figura 1. Proceso de producción del abono PALM-MIXTEX



Por otra parte, los lodos húmedos provenientes de las piscinas de oxidación son secados de dos formas diferentes: una parte es secado por un método llamado solarizado, en el cual, los lodos se extienden en un patio de secado de 400 m<sup>2</sup> y la otra parte de los lodos, son secados a través de un pirotubo. Los lodos secos son llevados por una banda transportadora hacia el mezclador.

Al igual que una parte de los lodos, la cascarilla es pasada por el pirotubo y sale de éste como cascarilla tostada, que luego, es llevada a la mezcladora a través de una banda transportadora. Las cenizas se adicionan directamente a la mezcladora.

Cuando las materias primas se encuentran en la mezcladora, se añaden al proceso roca fosfórica y cal agrícola con el fin de mejorar el fósforo disponible y

estabilizar el pH, respectivamente. Una vez obtenida la mezcla de los componentes anteriormente mencionados, estos, son llevados a una cuarta molienda a través de un transportador tipo tornillo y de allí salen y otro transportador tipo tornillo conduce este material con un nuevo tamaño de partícula hacia la tolva de empaque de 4 m<sup>3</sup>.

Finalmente, antes de ser empacado el producto es inoculado con microorganismos degradadores de celulosa, los cuales inician su función en el mismo instante en que se realiza el ensacado. Cada saco es pesado por una báscula y luego son retirados de la zona de pesaje por una banda transportadora hacia un carrito que luego los conducirá a la zona de estibado. El tiempo de maduración una vez estibado el abono es de 45 días, tiempo en el cual los microorganismos habrán mineralizado los componentes por un proceso de compostaje facultativo.

## **2.6 IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA APLICADAS EN EL PROCESO**

Existen formatos para el registro de producción y mantenimiento de los equipos, sin embargo, no se evidencian protocolos que estén asociados con cada una de las actividades que se realizan en producción. Además, la planta de producción no está señalizada como lo exige la forma ICA 3-895 del Instituto Colombiano Agropecuario.

### **3. HIPÓTESIS**

Determinando la calidad microbiológica y fisicoquímica del abono PALM-MIXTEX e implementando alternativas de aprovechamiento del producto asociado con la implementación de mejoras técnicas en el proceso se genera un producto estable y seguro ajustado a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad microbiológica y físico-química del abono PALM-MIXTEX elaborado a partir de residuos generados durante el procesamiento del fruto de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Sabana de Torres, Santander.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Caracterizar fisicoquímicamente el abono PALM-MIXTEX que se genera durante el procesamiento del fruto de la palma aceitera.
- ▶ Caracterizar microbiológicamente el abono PALM-MIXTEX en términos de microorganismos fitopatógenos y benéficos.
- ▶ Identificar alternativas de aprovechamiento del abono PALM – MIXTEX que maximice las posibilidades de uso y comercialización del mismo.
- ▶ Proponer mejoras técnicas en el proceso de producción.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 ÁREA SEMBRADA DE PALMA AFRICANA EN COLOMBIA**

Se estima que el área sembrada en 2011 aumentó 6% hasta alcanzar 427368 hectáreas, 23264 más que en 2010 (Ver figura 2). Este comportamiento es inferior al registrado en 2010, cuando el área sembrada en el país aumentó alrededor del 12,1% respecto a 2009. Se estima que 62,5% del área se encuentra en producción y el 37,5% restante en desarrollo, distribución que no ha cambiado significativamente en los últimos cinco años (FEDEPALMA, 2012).

**Figura 2. Zonas productoras de palma de aceite**



**Fuente:** La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo. Bogotá D.C. Diciembre, 2012.

En 2011 el incremento del área en desarrollo fue 4,6%, cifra inferior a la correspondiente para el área en producción, que fue 6,5%. Esta mayor dinámica de crecimiento de las áreas en producción respecto de las áreas en desarrollo, guarda relación con mejoras en los niveles de productividad. Durante los últimos cinco años, la zona Oriental se ha consolidado como la de mayor participación en el área total sembrada, alcanzando en 2011 un peso relativo de 38,2%.

Adicionalmente, al cierre de 2011 las zonas Norte y Central (Ver tabla 5) exhiben una participación similar entre sí, con valores de 29% y 28,4%, respectivamente.

**Tabla 5. Municipios de Santander identificados con cultivos de palma de aceite en la zona central, 2011**

Departamento	Municipio	Población	Superficie m <sup>2</sup>
Santander	Barrancabermeja	191625	1274
	Betulia	5211	441
	Bucaramanga	525119	154
	Girón	161545	681
	Puerto Wilches	31492	1588
	Río Negro	27989	1253
	Sabana de Torres	19202	1163
	San Vicente de Chucurí	34116	1104
	Simacota	8217	982

**Fuente:** FEDEPALMA. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2012.

Si bien la zona suroccidental participó con tan solo 4,3% del área sembrada en el país, en ese mismo año, es de resaltar la recuperación del área sembrada, luego de que los cultivos de palma de aceite prácticamente desaparecieron como resultado del fenómeno sanitario de la Pudrición del Cogollo (PC), que golpeó dicha zona. En la zona central existen seis municipios con trece plantas de beneficio construidas para atender el volumen de fruto que se produce en los cultivos, siendo el departamento de Santander, con ocho plantas construidas, el que más plantas de beneficio posee (Tabla 6).

**Tabla 6. Plantas de beneficio del fruto de palma de aceite en la zona central**

<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Empresa</b>
Cesar	Aguachica	Agroindustrias del Sur del Cesar Ltda. y Cía. S.C.A. - Agroince Ltda.
	San Alberto	Industrial Agraria La Palma Ltda. - Indupalma Ltda.
	San Martín	Palmas del Cesar S.A.
Norte de Santander	El Zulia	Cooperativa Palmas Risaralda Ltda. - Coopar Ltda.
Santander	Puerto Wilches	Extractora Central S.A.
		Extractora Monterrey S.A.
		Oleaginosas Las Brisas S.A. Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A. Palmeras de Puerto Wilches S.A.
Sabana de Torres	Extractoras San Fernando S.A	

**Fuente:** FEDEPALMA. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia 2012.

## **5.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE EN LA PLANTA DE BENEFICIO**

El proceso de extracción de aceite de palma y otros posteriores, son procesos que se podrían retrotraer hasta la actividad de cortar la fruta, el amontonamiento y transporte posterior a la planta de extracción. Para comprender de donde se obtienen las materias primas utilizadas en la producción del abono PALM – MIXTEX se presenta la secuencia del proceso en la figura 3. Cuando los camiones llegan a la planta extractora llenos de fruta, son pesados y luego descargados para obtener por diferencia el peso neto de la fruta. Luego se evalúa la calidad de la fruta, la cual, es llevada a las góndolas. El siguiente paso es la esterilización de la fruta fresca por vapor húmedo.

Luego de haber esterilizado los racimos se procede a separar el fruto del raquis en un proceso denominado desfrutado, el cual, se hace en un tambor rotatorio, el

fruto se separa para luego enviarlo al digestor por medio de un elevador y el raquis es llevado al campo. Se produce el raquis como desecho que representa 23%. Durante la etapa de digestión, el fruto es depositado en un digestor el cual presenta unas paletas que maceran el fruto por medio de la agitación circular. Además, se aplica vapor a 45 psi. El fruto ya digestado se procede a prensarlo. Del prensado se producen dos efluentes uno sólido y otro líquido, el sólido está compuesto por la semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado, el líquido va a ser una mezcla aceite – agua – lodos. Representa el 60% sobre fruta, además se produce 6% de semilla (4% almendra y 2% de cáscara) el 9% es fibra.

En la siguiente fase, la clarificación, el aceite crudo de palma, proveniente del prensado del mesocarpio del fruto contiene cantidades variables de impurezas de tipo vegetal (solubles e insolubles), arena y agua que deben ser removidos. Los lodos de la clarificación son depositados en un tanque para luego procesarlos en las centrífugas y así recuperar el aceite contenidos en ellos (aceite recuperado), este lodo centrifugado es mandado a los florentinos donde se trata de recuperar el aceite residual, y luego se manda a las lagunas de tratamiento. Finalmente, en la palmistería, la mezcla sólida del prensado es separada por medio de una columna de aire la cual, clasifica las fibras y las envía a la caldera por medio de un transportador sinfín y la semilla o nuez es mandada a los quebradores donde se clasifica por tamaño y se procede a separar la almendra del cuesco por medio de un ciclón, la almendra es mandada a un secador donde se le elimina la humedad para luego ser almacenada con una humedad no mayor del 5% y la cascarilla es enviada por medio de un transportador sinfín a la caldera para ser utilizada como combustible. La almendra producida se prensa y se extrae el 40% de aceite sobre almendra y 50% de harina sobre almendra y un 10% de humedad sobre almendra.

### **5.3 GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS DURANTE EL PROCESAMIENTO DEL FRUTO DE LA PALMA DE ACEITE UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DEL ABONO PALM-MIXTEX**

Los principales productos de la agroindustria de la palma de aceite son el aceite y la almendra, los cuales, representan en promedio un 21% y 5%, respectivamente del peso de racimos de fruta fresca (RFF) que se procesan en una planta extractora. Adicionalmente, el proceso genera volúmenes importantes de biomasa, que constituyen aproximadamente el 41% en el peso de los racimos de fruta fresca; esto plantearía que las plantas son de manera general más productoras de biomasa que de aceite. El total, la biomasa residual producida está conformada por 22% de raquis, 13% de fibra, 4,5% de cascarilla y, aproximadamente, 0,80 toneladas de efluentes por tonelada de racimos de fruta fresca.

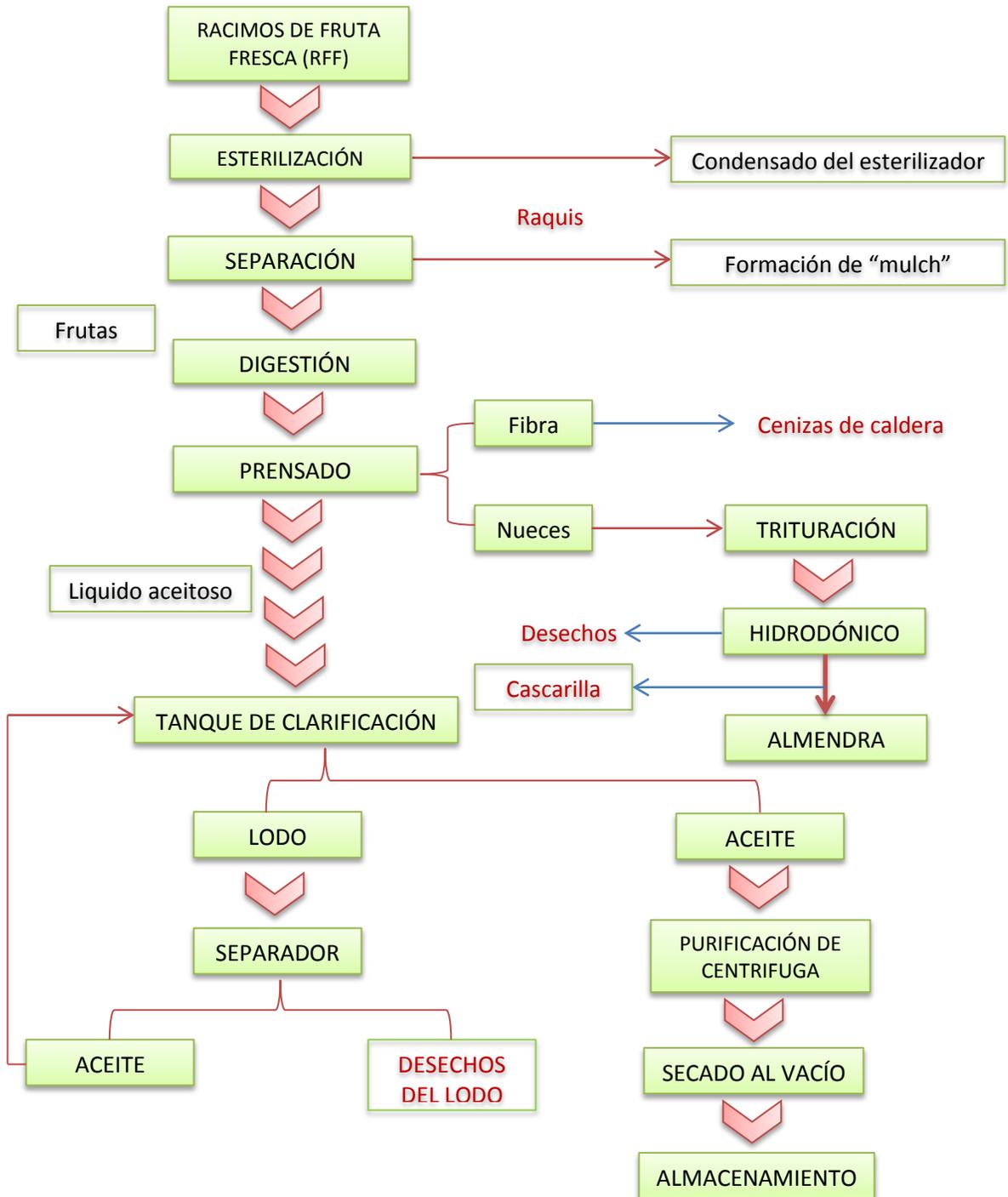
En forma permanente, durante las diferentes actividades de la agroindustria de la palma de aceite, hay relaciones de efecto por el uso de los recursos naturales renovables y el manejo de los subproductos sólidos, efluentes líquidos y emisiones atmosféricas que requieren ser identificados y valorados para establecer su magnitud e importancia. Los subproductos sólidos generados por el proceso de extracción son de gran importancia por su composición para ser utilizados en su totalidad en los mismos cultivos de palma como bioabonos y como combustibles principalmente. La proporción equivalente en porcentajes, sus características y valores se presentan en la figura 4, y en la tabla 7.

**Tabla 7. Subproductos sólidos en las plantas de beneficio: Características y usos**

Subproducto	Humedad %	Peso equivalente al fruto procesado	Composición química ppm			Uso principal
			N	P	K	
Tusa o raquis	23 – 65	22	0,8	0,2	2,9	Abono orgánico en las plantaciones
Fibra	12 – 42	13	1,4	2,8	9,0	Combustible en calderas y abono
Cascarilla o cuesco	7 – 15	6	0,6	3,3	12,7	Combustible y para adecuación de vías

**FUENTE:** FEDEPALMA. Guía Ambiental para el Subsector de la Agroindustria de la Palma de Aceite. 2002.

**Figura 3. Diagrama de flujo de flujo esquemático de una planta extractora de aceite de palma (Se resalta en rojo los residuos utilizados para la producción del abono).**



**FUENTE:** BASIRON, Y., y DARUS, A. Revista palmas 1997. Vol. 18, No. 1, p. 51-65.

**5.3.1 Raquis** El reciclaje de nutrientes, la fijación de nutrientes y los abonos verdes son elementos muy importantes para un manejo sostenible de los sistemas. La aplicación del raquis (1001564 toneladas producidas en Colombia, 2012) al cultivo es una de las maneras de retornar nutrientes al sistema, y éste puede aplicarse en forma de ceniza, fresco o luego de un periodo previo de descomposición apilado en el lugar cercano al sitio de extracción. Los raquis son una fuente importante de potasio al sistema y de mucho interés, debido a que la palma demanda altos niveles de este mineral para su producción.

Los raquis se componen de 45 a 50% de celulosa y aproximadamente cantidades iguales (25 - 35%) de hemicelulosa y lignina (DEREMAN, M. 1993). Estos son fibrosos, y las fibras se adhieren juntas para formar los haces vasculares. Un método común utilizado para reducir el tamaño de las tusas vacías antes de iniciar el proceso de degradación es la molienda en molinos de martillo.

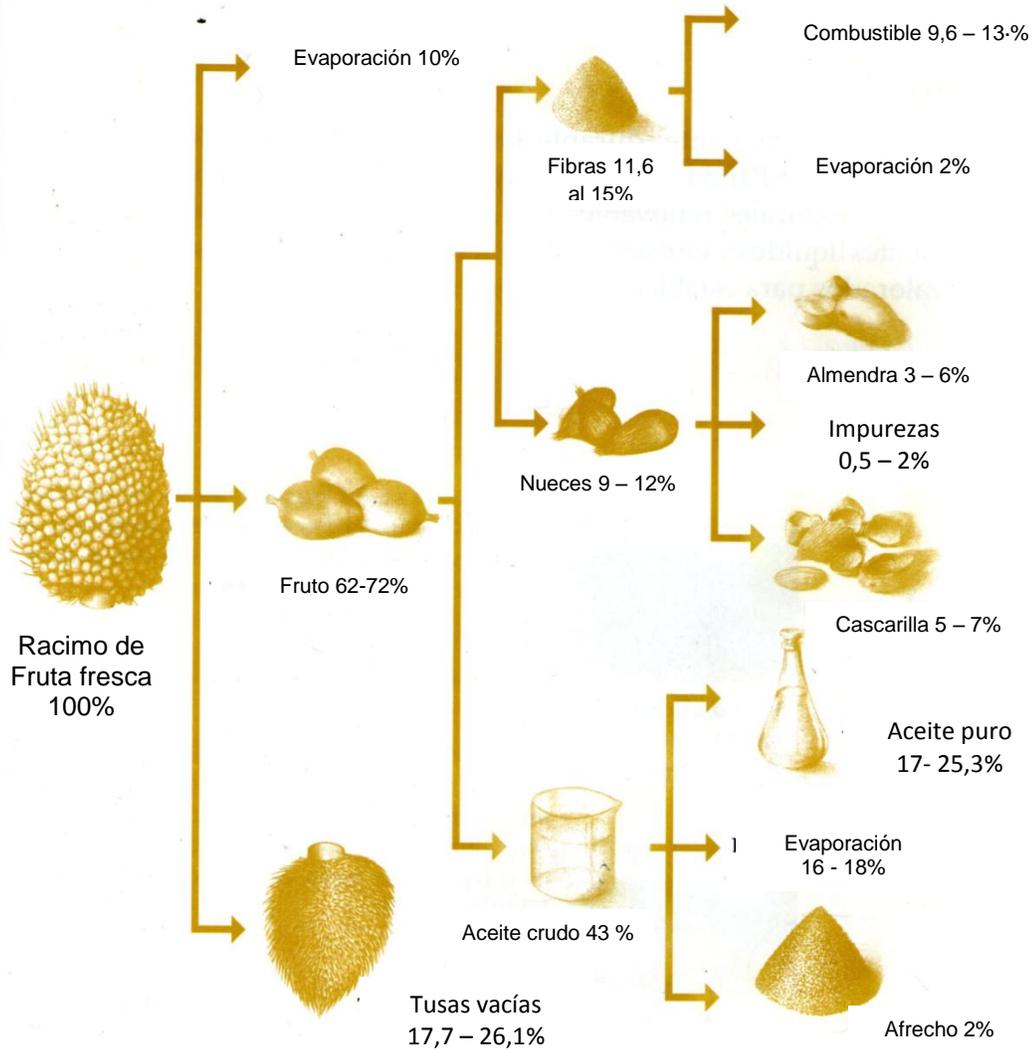
La degradación natural de los raquis es lenta debido a los altos contenidos de fibra y lignina (Tabla 8). La digestibilidad de este material es de sólo 35%, comparado con un 60-70% de la mayoría de los pastos. La alta capacidad calórica (energía bruta 4570 Kcal/kg) del sustrato, provoca temperaturas entre 70 y 75<sup>0</sup>C, lo cual limita el desarrollo de varios microorganismos descomponedores importantes durante el proceso de degradación. La inoculación con microorganismos provenientes de los lodos de las lagunas donde se depositan los efluentes, da una solución económica al problema.

**Tabla 8. Características químicas y físicas de la fibra del raquis**

Composición química	%			ppm					
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Fibra neutro	0,73	0,18	0,29	0,18	0,49	1440	27	21	42
Fibra ácido detergente	70%								
Lignina	54,2%								
Sílice	20,0%								
Hemicelulosa	4,1%								
Celulosa	16,2%								
Digestibilidad in vitro	28,5%								
Extracto etéreo	35,0%								
Energía bruta	8,0%								
(Kcal/kg)	4570								
Densidad kg/m <sup>3</sup>	250								

**FUENTE:** TORRES, R., ACOSTA, A., y CHINCHILLA, C. 2004

**Figura 4. Balance de masas de los racimos de fruta fresca en la extracción.**



**FUENTE:** VARGAS, C. *et al.*, 2009.

Los raquis son una buena fuente de materia orgánica y nutrientes para la planta. LOONG, S.; MOHD, N. y LETCHUMANAN, A. 1998 han reportado aumentos significativos en el rendimiento cuando las palmas son cubiertas con tusas vacías (Tabla 9).

**Tabla 9. Efecto del cubrimiento de palmas inmaduras con raquis vacíos sobre los rendimientos de racimos de fruta fresca**

Tratamiento	Año de cosecha y rendimiento (RFF/ha/año)		
	1	2	% de aumento
Programa inorgánico	13,7	24,2	-
Cubrimiento con raquis vacíos	16,3	27,5	+16

**Fuente:** LOONG, S.; MOHD, N. y LETCHUMANAN, A. 1998

**5.3.2 Cascarilla** Es un residuo abundante en la producción agroindustrial de palma aceitera, para el cual, se buscan en la actualidad aplicaciones tecnológicas ambientalmente limpias. Una de estas aplicaciones es la producción de abonos orgánicos, debido a que actúa como mordiente y posee un alto contenido de carbono 51,8% y un aporte considerable de nitrógeno 5% (CARDONA, M., 2010). Por su alto contenido de material volátil, facilita la combustión y el alto contenido de carbono le confiere un buen poder energético. La cascarilla tiene un alto valor calorífico (4890 kcal/kg seco) y puede ser usado como combustible doméstico en estufas diseñadas especialmente para aprovecharlo correctamente.

**5.3.3 Cenizas de las calderas** Desde el punto de vista químico, el elemento más importante es el contenido de Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en las cenizas. Las cenizas de las calderas poseen 80,33% de sílice, cercano a experiencias previas (VISVESVARAYA, H.C., 1986). El Silicio, en la fase soluble, se encuentra en forma de ácido orto silícico [ $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ], y da lugar a silicatos. Promueven la creación de gradientes de nutrientes minerales desde el suelo a los tejidos de la planta, incide en la acumulación y movilización de reservas de carbohidratos y producción de fitoquímicos. La extracción de silicio orgánico es posible mediante la técnica de pirólisis, el material base es la quema de las fibras provenientes del mesocarpio del fruto de la palma africana. Desde el año 1972 el silicio está reconocido como esencial (RENATO, V., 1992).

**5.3.4 Lodos de las piscinas de la planta extractora** Las aguas lodosas contienen sustancias químicas provenientes de los nutrientes y fertilizantes que se suministran a las palmas y que se concentran especialmente en las frutas. Según GARCIA, J., y URIBE, D., 1997 el contenido de nutrientes de los efluentes líquidos sin tratar es el siguiente: Nitrógeno (N) 948 ppm; fósforo (P) 154 ppm; potasio (K) 1958 ppm y magnesio (Mg) 345 ppm. El contenido de nutrientes en la materia seca tiene los siguientes rangos: Nitrógeno (N) 1,8 – 2,3%; fósforo (P) 0,5 – 0,9%; potasio (K) 2,1 – 4,0% y magnesio (Mg) 0,8 – 1,5%. Esto equivale a muchos kilogramos de nutrientes por día. Si se supone un área productiva de palma de aceite en Colombia de 120000 ha, con un rendimiento de 20 toneladas de racimos/ha/año, el contenido de nutrientes de las aguas lodosas sería 1680 toneladas de nitrógeno; 672 toneladas de fósforo y 2520 toneladas de potasio. Como las aguas lodosas provienen de la clarificación y de los esterilizadores en donde han estado bajo temperaturas superiores a 80<sup>0</sup>C, estas aguas son biológicamente estériles y requieren inoculación cuando se usan como medio de cultivo.

La cantidad de nutrientes contenidos en las aguas lodosas es suficiente para que ellas sean un medio de cultivo adecuado para bacterias anaerobias. Este hecho se aprovecha en el diseño de sistemas de tratamiento de las aguas lodosas. Los sólidos de las aguas lodosas de la planta de extracción de aceite de palma se concentran y luego se secan con los gases de combustión de la caldera. Los lodos así obtenidos se utilizan como fertilizante y no es conveniente utilizarlo como componente de alimentos para animales por su alto contenido de cenizas. La alta demanda bioquímica de oxígeno, junto con las grasas y aceites que contiene las aguas lodosas (Tabla 10), hacen que sea de lenta degradación.

**Tabla 10. Características químicas de las aguas lodosas**

Demanda química de oxígeno (mg/l).....	39,650
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l).....	20,040
Sólidos totales (mg/l).....	31,306
Sólidos suspendidos (mg/l).....	10,500
Sólidos sedimentables (mg/l).....	950
Grasas y Aceites (mg/l).....	4,196
Nitrógeno total (mg/l).....	494
Fosfato (mg/l).....	368
Hierro (mg/l).....	76
Cobre (mg/l).....	2,7
Magnesio (mg/l).....	244
Manganeso (mg/l).....	2,9
Zinc (mg/l).....	42
Calcio (mg/l).....	149,6
Potasio (mg/l).....	1350
pH (Unidades de pH).....	4,5

**FUENTE:** Torres, R., Acosta, A. y Chinchilla, C. 2004. Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera.

Cuando se aplican los lodos de las piscinas de la planta extractora de aceite de palma al suelo las plantaciones aumentan los rendimientos significativamente. GURMIT *et al*, 1989 han reportado aumento en los rendimientos entre el 16 al 29%, comparados con programas inorgánicos normales (Tabla 11). Los lodos de las piscinas de la planta extractora de aceite de palma también se pueden secar para producir fertilizantes orgánicos, los cuales, también se pueden aplicar a las palmas para mejorar los rendimientos.

**Tabla 11. Efecto de los lodos de la planta extractora de aceite de palma sobre los rendimientos de racimos de fruta fresca (RFF)**

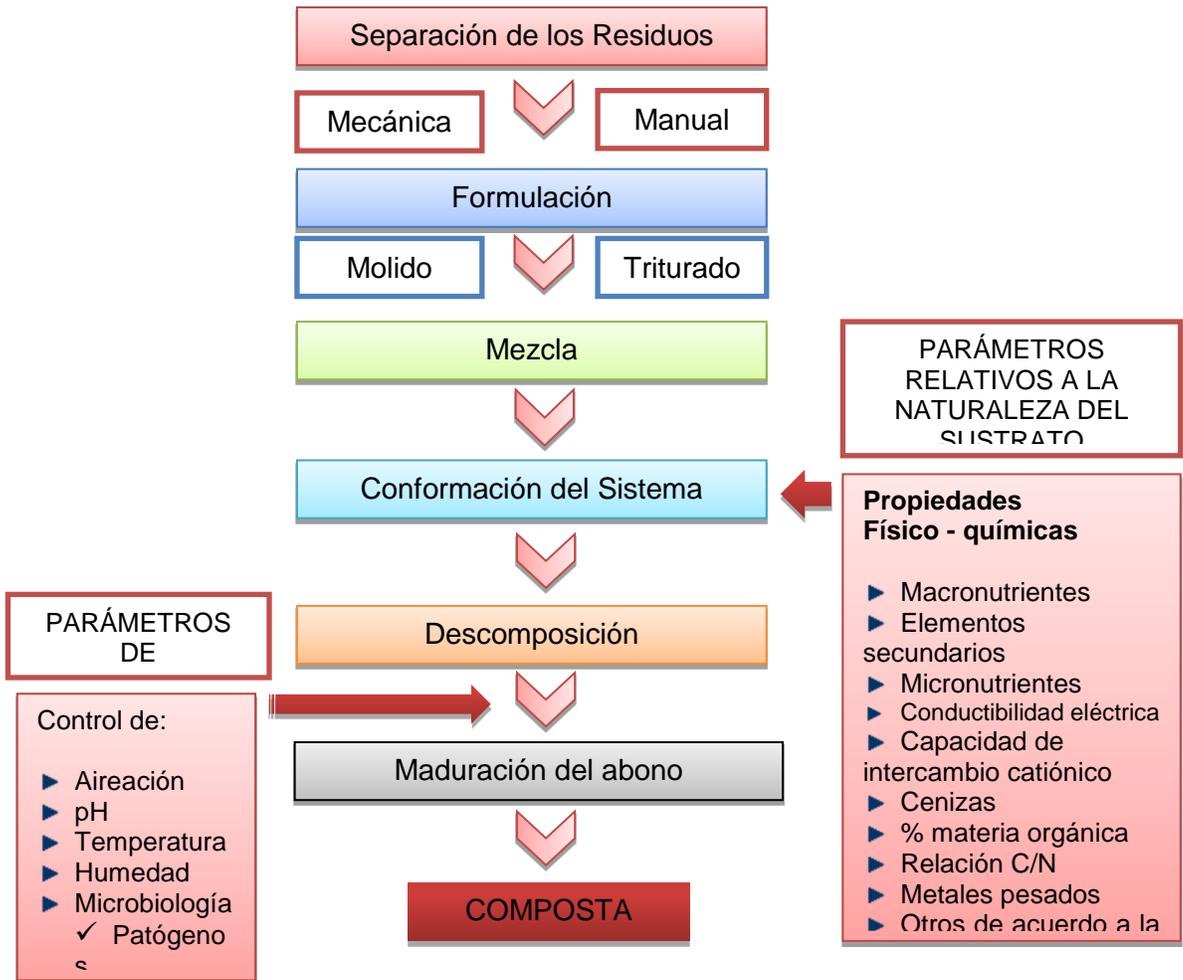
Tratamiento	Rendimiento de RFF/ha (t)	
	Julio de 1988 – Junio de 1989	% de aumento
Programa inorgánico	22,3	-
Lodos de la planta extractora	28,8	29,1

Fuente: GURMIT *et al*, 1989

#### **5.4 PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE LOS ABONOS**

De acuerdo a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 en la producción de abonos es necesario controlar dos tipos de parámetros. El primero hace referencia a aquellos relativos a la naturaleza del sustrato, estos son los parámetros físico – químicos, dentro de los cuales, se destacan el tamaño de partícula; la relación carbono – nitrógeno (C/N); los macronutrientes, elementos secundarios y micronutrientes; el contenido de materia orgánica expresado a través del carbono orgánico oxidable y la conductibilidad eléctrica (CE). El segundo tipo, denominado parámetros de seguimiento, involucra el control de la temperatura; la humedad; el pH y la aireación, todos ellos durante la etapa de descomposición de las materias primas que hacen parte de la mezcla inicial en la formulación de los abonos (Ver figura 5).

**Figura 5. Parámetros relacionados con la calidad de los abonos.**



**Fuente:** PRIETO, F., *et al.*, 2009. Tropical and Subtropical Agrosystems.

**5.4.1 Temperatura** Por la evolución de la temperatura se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización al que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica. Asimismo, existe una relación directa entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta. A veces la temperatura puede llegar a ser tan alta que inhibe el crecimiento de los propios microorganismos, conociéndose este fenómeno como *suicidio microbiano*. Cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva: 15 - 40°C para los microorganismos mesófilos y 40 - 70°C

para los termófilos (SULER, D. y FINSTEIN, S., 1977). Los microorganismos que resulten beneficiados a una temperatura concreta son los que principalmente descompondrán la materia orgánica del residuo, produciéndose un desprendimiento de calor.

**5.4.2 Humedad.** La presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de deshecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso. Algunos autores (HAUG, R., 1980) consideran que la humedad de los materiales es la variable más importante en la descomposición de los residuos y ha sido calificada como un importante criterio para la optimización del compostaje.

La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%; la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; por encima del 70% el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis. Cuando las condiciones se hacen anaerobias se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso. El exceso de humedad puede ser reducido con una mayor aireación (HAUG, R., 1980). A su vez, con un buen control de la humedad y de la aireación, puede llevarse a cabo el control de la temperatura.

**5.4.3 pH.** Mediante el seguimiento del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH.

SULER, D. y FINSTEIN, S., 1977 establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación

adecuada conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro. Posteriormente estos mismos autores estudiaron las relaciones pH-aireación-microorganismos existentes en el proceso, y dedujeron que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos, por lo que si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso es síntoma de una buena descomposición.

**5.4.4 Aireación.** Para el correcto desarrollo de la producción de abonos es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores. El exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos.

La aireación es una variable de operación muy importante y la que más incide en los costes de operación, ya que suponen el 32-46% de los costes totales. La medida de la concentración de oxígeno requiere equipos costosos, pero puede también realizarse de una manera indirecta mediante las medidas de temperatura y humedad (SUNDBERG, C., SMARS, S., y JONSSON, H., 2004). Durante el proceso de maduración no deben hacerse aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos.

#### **5.4.5 Grupos de microorganismos**

**5.4.5.1 Microorganismos patógenos.** El contacto con los microorganismos patógenos presentes en los abonos ocurre por dos vías fundamentales: Contacto directo y por contacto indirecto. El contacto directo tiene lugar al caminar a través

del área donde ha sido aplicado el abono, al tocar con las manos la tierra tratada y por inhalación de las bacterias durante la aplicación y diseminación de estos productos (WHITMORE, T., y ROBERTSON, L., 1995). El contacto indirecto puede ocurrir de las siguientes formas: Ingestión de alimentos cultivados en las áreas fertilizadas con el abono, consumir productos lácteos obtenidos a partir de la leche de animales que se alimentan en estos suelos, por tomar agua contaminada con los microorganismos patógenos producto del escurrimiento de la tierra fertilizada con estos compuestos y finalmente, al ingerir pescado cocinado inadecuadamente proveniente de estas aguas contaminadas. En la tabla 12 se muestran los microorganismos patógenos que pueden encontrarse en un abono tratado inadecuadamente y las enfermedades causadas por cada uno de ellos.

**Tabla 12. Microorganismos patógenos aislados de los abonos y las enfermedades y/o síntomas causados por los mismos**

Microorganismos patógenos	Enfermedades/Síntomas
<b>BACTERIAS</b>	
<i>Salmonella sp.</i>	Salmonelosis, gastroenteritis, fiebre tifoidea
<i>Shigella sp.</i>	Disentería bacilar
<i>Yersinia sp.</i>	Gastroenteritis
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
<b>VIRUS ENTÉRICOS</b>	
<i>Hepatitis A</i>	Hepatitis infecciosa
<i>Rotavirus</i>	Gastroenteritis epidémica con diarreas severas
<i>Enterovirus</i>	Gastroenteritis con diarreas severas
<b>POLIOVIRUS</b>	
<i>Virus poliomyelitis</i>	Meningitis, neumonía, hepatitis, fiebre, entre otros
<i>Coxsackie</i>	Infecciones respiratorias, gastroenteritis
<i>Reovirus</i>	Gastroenteritis epidémica

Microorganismos patógenos	Enfermedades/Síntomas
---------------------------	-----------------------

<i>Astrovirus</i> <i>Calicivirus</i>	Gastroenteritis epidémica
---	---------------------------

### PROTOZOOS

<i>Cryptosporidium</i>	Gastroenteritis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Gastroenteritis aguda
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis (diarrea, dolor abdominal, pérdida de peso)
<i>Balantidium coli</i>	Diarrea y disentería
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmosis

### HELMINTOS

<i>Ascaris lumbricoides</i>	Trastornos digestivos y nutricionales, dolor abdominal, vómitos
<i>Ascaris suum</i>	
<i>Trichuris trichiura</i>	Dolor abdominal, fiebre, entre otros.
<i>Toxocara canis</i>	Dolor abdominal, diarrea, anemia y pérdida de peso.
<i>Taenia saginata</i>	Fiebre, síntomas neurológicos
<i>Taenia solium</i>	Insomnio, anorexia, dolor abdominal, problemas digestivos.
<i>Necator americanus</i>	Enfermedad de Hookworm
<i>Hymenolepsis nana</i>	Taeniasis

**FUENTE:** D' ANGELO, Y., 2004. Revista electrónica de la agencia de medio ambiente

**5.4.5.2 Microorganismos fitopatógenos.** Los agentes que causan enfermedades en las plantas se caracterizan por ser infecciosos (bióticos o vivos) y no infecciosos (abióticos o no vivos). Los agentes infecciosos incluyen las bacterias, hongos, micoplasmas, nemátodos y virus. Los agentes no infecciosos incluyen, desbalances nutricionales, estrés ambiental y toxicidad química (causada por plaguicidas y contaminantes del aire. Los agentes patógenos más comunes en las plantas son los hongos, aunque las bacterias y los nemátodos también son importantes.

Los hongos atacan las plantas hospederas susceptibles a través del movimiento de sus estructuras reproductivas, como lo son los esclerocios y las esporas. Las esporas se diseminan fácilmente por medios mecánicos y en el viento y el agua. En los abonos la norma técnica Colombiana NTC 5167 busca la presencia de los géneros *Fusarium spp*, *Botrytis sp*, *Rhizotocnia sp* y *Phytophthora sp*.

*Fusarium oxysporum* es un hongo cosmopolita que existe en muchas formas patogénicas, parasitando más de 100 especies de plantas Gimnospermas y Angiospermas, gracias a los diversos mecanismos que tiene el hongo para vencer las defensas de muchas plantas. Se caracteriza por producir colonias de rápido crecimiento, con una tasa diaria cercana a un centímetro en medio agar papa-dextrosa (ADP) a 25°C. La morfología de las colonias es muy variable y puede presentar dos tipos: una de tipo micelial caracterizada por la producción de abundante micelio aéreo, algodonoso, con una coloración variable, de blanco a rosado durazno, pero usualmente con un tinte púrpura o violeta más intenso en la superficie del agar y pocas microconidias y una de tipo pionotal con la formación de poco o ningún micelio aéreo y abundantes microconidias.

*Botrytis sp* produce en las hojas y las flores lesiones pardas y en los frutos tiene lugar una podredumbre blanda (más o menos acuosa según el tejido), en los que se observa el micelio gris del hongo (GOVRIN, E. y LEVINE, A., 2000). Para su aislamiento es necesario inducir a la esporulación. Una vez producida la esporulación, se colectan las conidias mediante estilete estéril, las cuales son sembradas en placas Petri conteniendo agar papa dextrosa (APD), con 100 µg/mL de sulfato de estreptomina (SE) y repicadas hasta obtener cultivos puros. Luego, son almacenados en tubos de ensayo con agar papa dextrosa (APD) inclinado y mantenidos a 4°C hasta su uso (MOLINA, G., *et al.*, 2006)

*Rhizoctonia sp* causa marchitez y daño en los órganos reproductores de las plantas. Para su aislamiento se debe diluir la muestra de abono (10 g) en 200 mL

de agua estéril y se agita por 10 minutos. Después la suspensión se debe diluir ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ ). Cada dilución con la muestra de abono se debe sembrar en superficie en agar agua (AA). Posteriormente, se transfieren en agar papa – dextrosa (APD) para su posterior identificación (ULACIO, D., *et al.*, 2003)

*Phytophthora sp* es un hongo patógeno necrotrófico que ataca a más de 200 especies diferentes de plantas. El hongo produce dos tipos de daño, uno directo sobre las plantas. En las hojas y las flores produce lesiones pardas; en la base del tronco produce una lesión llamada chancro, que es una exudación a manera de goma; finalmente, genera la defoliación y seca las ramas de las plantas atacadas. El daño indirecto se manifiesta por el debilitamiento del árbol con reducción de la producción en cantidad y calidad, e incluso la muerte.

Las bacterias fitopatógenas son unicelulares, microscópicas y no producen esporas. No pueden producir su energía y dependen de una planta hospedera para su sostenimiento. Hay varios géneros principales: *Salmonella spp*, *Escherichia coli*, *Agrobacterium spp*, *Corynebacterium spp*, *Erwinia spp*, *Pseudomonas spp* y *Xanthomonas spp*. La mayoría de las enfermedades en plantas son causadas por las tres últimas. Las bacterias entran a las plantas por aberturas naturales como las estomas y los hidatodos o por heridas. Estas sobreviven en el tejido por cierto tiempo de forma inactiva y afectan la planta cuando las condiciones ambientales son favorables. Las bacterias se transfieren de una planta a otra por medios mecánicos (en las manos y en los instrumentos de corte) y son comúnmente diseminadas en el agua de salpicado.

Los nemátodos son los organismos más grandes causando enfermedades en plantas. Son gusanos redondos no segmentados y usualmente microscópicos, aunque algunos pueden observarse a simple vista. Los nemátodos se mueven hacia las raíces de la planta o pueden ser diseminados en tiestos, en el suelo o en el agua y en partes de la planta que estén contaminadas. La mayoría de los

nemátodos fitopatógenos se alimentan de las plantas penetrando la superficie de la raíz y absorbiendo el contenido celular. Algunos viajan de un lugar a otro de la raíz para alimentarse, mientras que otros, como los nemátodos noduladores se fijan a un lugar específico de la raíz permanentemente y allí se alimentan y reproducen. Se han desarrollado muchos insecticidas nematicidas para ayudar en el control de los nemátodos fitoparasíticos.

**5.4.5.3 Microorganismos benéficos.** Los microorganismos benéficos del abono, son los componentes más importantes de este. Constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo. Estos microorganismos benéficos que se encuentran en el suelo, son bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios. Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutritivos disponibles para la planta, o una población microbiana que libere nutrientes que permitan un buen desarrollo vegetal. Pero estos microorganismos actúan a la vez como agentes de control biológico, con lo que reducimos aquellos microorganismos indeseables en el suelo y favorecemos los organismos útiles para los cultivos, con lo que aumentamos la producción de la planta. En los abonos es importante la presencia de *Rhizobium sp*, *Azospirillum spp* y *Azotobacter spp* como fijadores de nitrógeno. Además, la presencia de hongos tipo Zigomicetes encargados de la solubilización del fósforo.

*Azotobacter spp* es el género que ha demostrado tener el rendimiento de absorción más alto de nitrógeno (72,64%) a nivel de la rizosfera comparado con microorganismos como *Azospirillum spp* y *Rhizobium spp*, los cuales son utilizados para la producción de bio-fertilizantes. El componente biológico más numeroso de los abonos son las bacterias (EPA, 1999). Las bacterias más ampliamente encontradas en los abonos son *Azotobacter sp* la cual, produce fitohormonas (ácido indolacético y citoquininas) capaces de acelerar y potenciar el crecimiento de las plantas; *Rhizobium spp* y *Azospirillum spp* promueven la formación de sideróforos, sustancias anti-fúngicas y generan enzimas que favorecen la

solubilización de fosfatos y oligoelementos facilitando la asimilación de estos compuestos.

#### **5.4.6 Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato**

**5.4.6.1 Tamaño de partícula.** El tamaño inicial de las partículas de las materias primas en los abonos es una variable importante para la optimización del proceso, ya, que cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será la reacción. Por lo tanto, el desmenuzamiento del material facilita el ataque de los microorganismos y aumenta la velocidad del proceso.

Pero aunque un pequeño tamaño de partícula provoca una gran superficie de contacto para el ataque microbiano, también se reduce el espacio entre partículas y aumentan las fuerzas de fricción (HAUG, R., 1980); esto limita la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior, lo cual restringe la proliferación microbiana y puede dar lugar a un colapso microbiano al ser imposible la aireación por convección natural. Por otra parte, un producto muy fino no es aconsejable por riesgos de compactación.

**5.4.6.2 Relación C/N.** Para una correcta elaboración del abono en la que se aproveche y retenga la mayor parte del Carbono y del Nitrógeno, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el proceso de degradación de un producto es de 25-35 (JHORAR, B.S., PHOGAT, V., y MALIK, E., 1991).

La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante la degradación de los materiales; si la relación

C/N es mayor que 40, la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de nitrógeno para la síntesis proteica de los microorganismos. Para eliminar el exceso de carbono (en forma de anhídrido carbónico) es necesaria la aparición sucesiva de diversas especies microbianas. Al morir estos microorganismos el nitrógeno contenido en su biomasa se recicla y la relación C/N tiende a disminuir. Si el residuo tiene una alta relación C/N, pero la materia orgánica es poco biodegradable, la relación C/N disponible realmente para los microorganismos es menor y el proceso evolucionará rápidamente, pero afectará sólo a una proporción de la masa total. La relación C/N ideal para un abono totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus.

**5.4.6.3 Nutrientes.** Entre los elementos que componen el sustrato destacan el carbono, nitrógeno, y el fósforo, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico; es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha demostrado que la calidad de un abono como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de nitrógeno. El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. Se comprueba que, en general, entre el inicio y el final de la incubación se produce un aumento de las concentraciones de los distintos nutrientes, debido a la pérdida de materia orgánica de la masa a degradar (DÍAZ, Z., y COL, M., 2009).

Además de carbono, nitrógeno y fósforo existen otros nutrientes presentes en menor cantidad (micronutrientes). Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular.

**5.4.6.4 Materia orgánica.** El conocimiento del contenido de materia orgánica en los abonos es fundamental, pues se considera como el principal factor para determinar su calidad agronómica (KIEHL, F.J., 1985). La materia orgánica constituye la fracción más activa y dinámica del suelo, incrementando su potencial productivo y mejorando su actividad biológica.

**5.4.6.5 Conductividad eléctrica (CE).** La conductividad eléctrica de un abono está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (SÁNCHEZ, M.A., *et al.*, 2001).

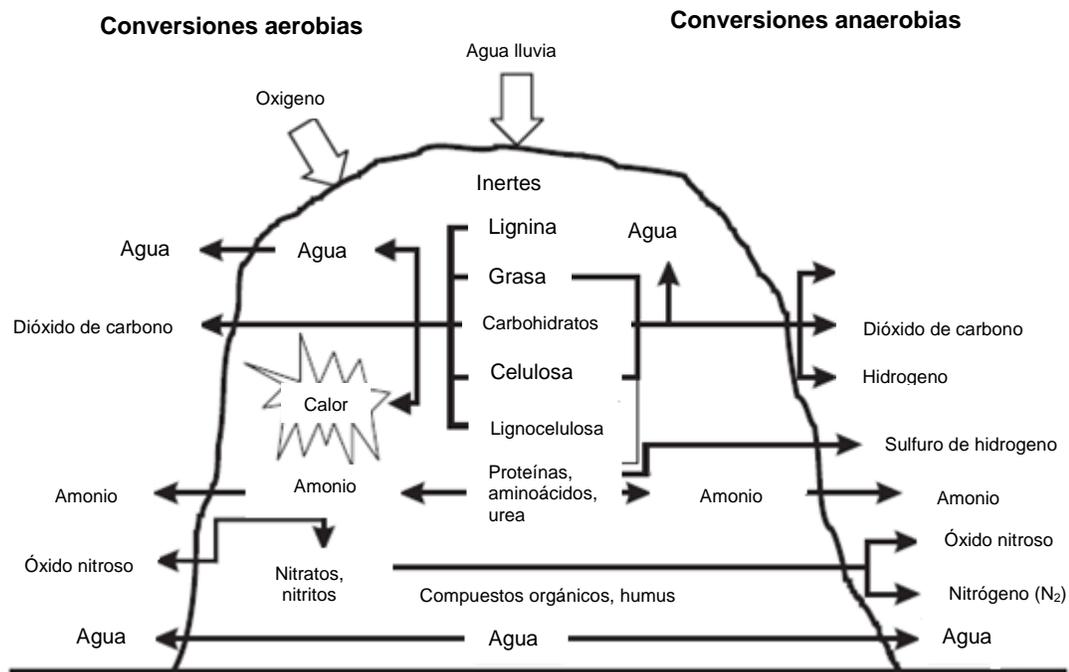
La dosis de abono que puede añadirse a un suelo debe ser proporcional a la conductibilidad eléctrica del mismo. Un exceso de salinidad en la solución del suelo dificulta la absorción de agua por las raíces de las plantas, de modo que en algunos casos, en esas condiciones, sólo prosperan las especies resistentes.

## **5.5 COMPOSTAJE**

**5.5.1 Definición** El compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios (HAUG, Roger Tim., 1980), que actúan de manera sucesiva, sobre la materia orgánica original, en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen y el peso de los residuos y provocando su humificación y oscurecimiento (NAKASAKI, K., 2005).

Los materiales de desecho en descomposición, incluso, durante un compostaje bien aireado, se caracterizan por presentar procesos microbianos aerobios y anaerobios al mismo tiempo (Figura 6) (SMITH, D., y HUGHES, J., 2001). La relación entre el metabolismo aeróbico y anaeróbico depende de las propiedades físicas de los residuos y del compost (ZUBILAGA, M. y LAVADO, R., 2003), incluyendo la estructura de la pila, o la estructura de la caja, su porosidad, su contenido de agua y la capacidad, su espacio aéreo libre, y la disponibilidad de nutrientes.

**Figura 6. Sustratos y productos de la actividad microbiana en un montón de compost.**



**Fuente:** SMITH, D., y HUGHES, J., 2001. Composting engineering: principles and practice. 2 ed. Michigan. Science Publishers, p. 87-133.

Los microorganismos aerobios en el material en descomposición necesitan agua libre y el oxígeno para su actividad. Los productos finales de su metabolismo son agua, dióxido de carbono, NH<sub>4</sub> (o, a mayor temperatura y pH > 7, NH<sub>3</sub>), el nitrato, el

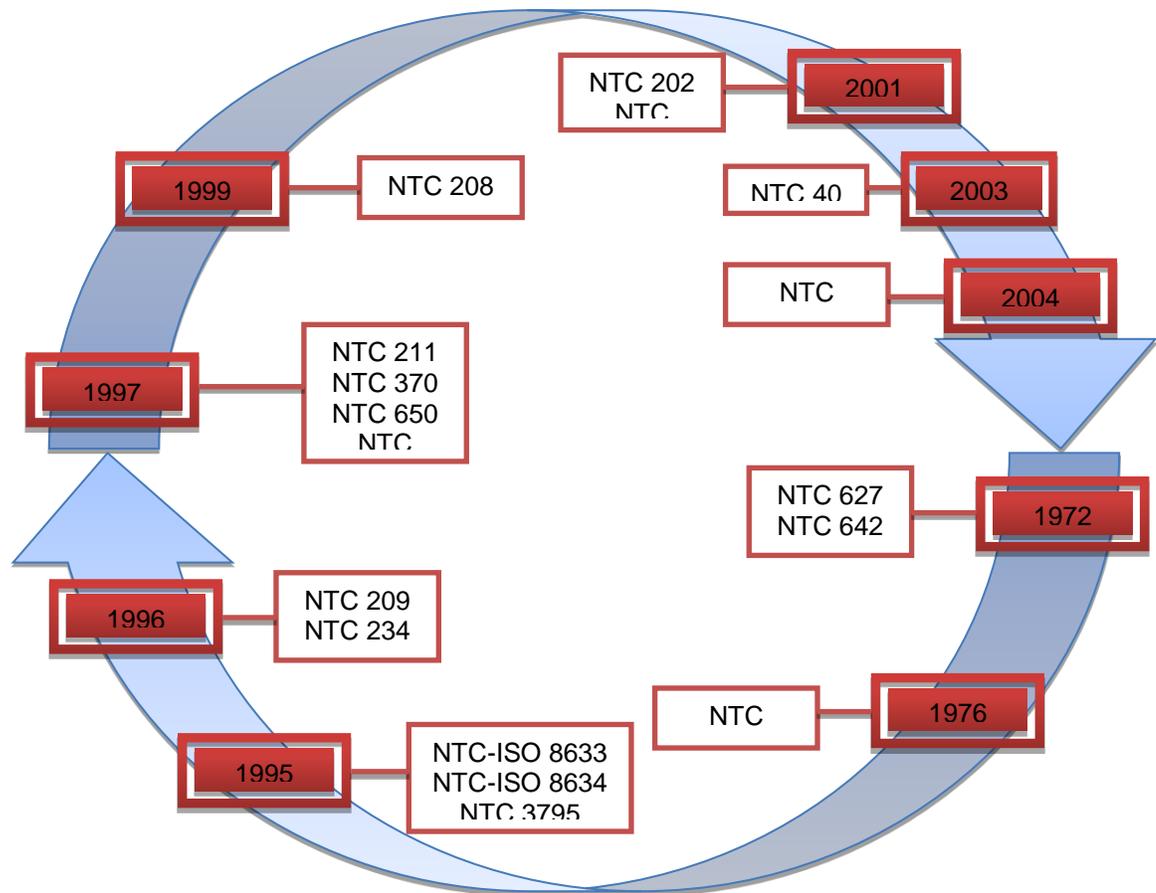
nitrito (óxido nitroso como un producto de la nitrificación), el calor y humus o humus y productos similares. El aire de los residuos del metabolismo aerobio en el compost contiene cantidades de vapor de agua, dióxido de carbono, amoníaco, y óxido nitroso. Los productos finales de los microorganismos anaerobios son el metano, dióxido de carbono, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, óxido de nitrógeno, gas nitrógeno (ambos de la desnitrificación) y agua como líquido (PROVENZANO, M., *et al.*, 2001).

La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales del proceso dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por estas razones, que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de ciertos metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos (ROE, 1998).

## **5.6 NORMATIVIDAD COLOMBIANA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS**

En Colombia la norma técnica colombiana NTC 5167 de 2004 regula la producción de compostaje y por lo tanto, los patrones de calidad que deben seguir los productores del sector (Ver figura 7).

**Figura 7. Documentos normativos referenciados según el año de aparición indispensable para la aplicación de la NTC 5167.**



**FUENTE:** NTC 5167 de 2004.

- ✓ NTC 5167: 2004. Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo
- ✓ NTC 40:2003. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Etiquetado
- ✓ NTC 202:2001. Métodos cuantitativos para la determinación de potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes de materias para su fertilización.

- ✓ NTC 208: 1999. Abonos o fertilizantes. Método cuantitativo de determinación de nitrógeno nítrico.
  
- ✓ NTC 209: 1996. Abonos o fertilizantes. Método de ensayo cuantitativo para la determinación del nitrógeno amoniacal y de nitratos.
  
- ✓ NTC 211: 1997. Abonos o fertilizantes. Método cuantitativo de determinación del nitrógeno amoniacal por destilación.
  
- ✓ NTC 234: 1996. Abonos o fertilizantes. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de fósforo.
  
- ✓ NTC 370: 1997. Abonos o fertilizantes. Determinación del nitrógeno total.
  
- ✓ NTC 627: 1972. Abonos o fertilizantes. Determinación de cobre.
  
- ✓ NTC 642: 1972. Abonos o fertilizantes. Determinación del cobalto.
  
- ✓ NTC 650: 1997. Abonos o fertilizantes. Determinación del boro.
  
- ✓ NTC 1369: 1976. Fertilizantes. Determinación de cinc, cobre, hierro, manganeso, calcio y magnesio por absorción atómica.
  
- ✓ NTC 1860: 1997. Productos químicos para uso agropecuario. Abonos o fertilizantes. Método de ensayo para determinar el contenido de boro. Método de Azometina-h.
  
- ✓ NTC 1927: 2001. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas.

✓ NTC-ISO 8633: 1995. Fertilizantes sólidos. Método de muestreo simple para lotes pequeños.

✓ NTC-ISO 8634: 1995. Fertilizantes sólidos. Plan de muestreo para la evaluación de una entrega grande.

## 6. METODOLOGÍA

El proyecto está dividido en cuatro fases, una de campo; otra fase de laboratorio; la alternativa de aprovechamiento, que depende de los resultados físico-químicos del abono y la socialización del documento (Ver figura 8). La etapa de campo se realizó en las instalaciones de PALM-MIXTEX en el corregimiento La Gómez, vereda La Moneda km 32 + 800 la Fortuna – San Alberto, del municipio de Sabana de Torres, que posee las siguientes condiciones: Ubicación al norte 7° 21' 28" al este 73° 33' 19,7" altitud 163 msnm, temperatura media anual esta entre 28°C y la máxima 38°C, una precipitación promedio de 2000 mm/año. La etapa de laboratorio, relacionada con la caracterización microbiológica se realizó en los laboratorios de la escuela de Bacteriología de la Universidad industrial de Santander, los análisis físicoquímicos se contrataron con un laboratorio de referencia ya certificado en Colombia. En la fase de campo se determinaron los tiempos de muestreo haciendo seguimiento de parámetros como la humedad, temperatura y pH. Con esta prueba se definió si existe la presencia de un proceso de compostaje y el tiempo de maduración de abono PALM-MIXTEX. Posteriormente, se implementó el protocolo de toma de muestras planteado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las normas técnicas NTC-ISO 8633 y 8634 de 1995 para lotes pequeños y grandes, respectivamente.

En la fase de campo se realizó la prueba de homogenización del producto, que determinó las causas por las cuales, se presentaron cambios físico-químicos notables de un lote de producción al siguiente. Para ello se implementaron la preparación de mezclas de materias primas, evitando al máximo las pérdidas durante el proceso. Además, se determinó la pérdida de las materias primas durante el proceso, pero, hasta la etapa de mezclado. Con las pruebas de homogenización se hallaron las diferencias en peso de materias primas que se

aportan al proceso de mezclado cuando estas son transportadas y dosificadas con carretillas.

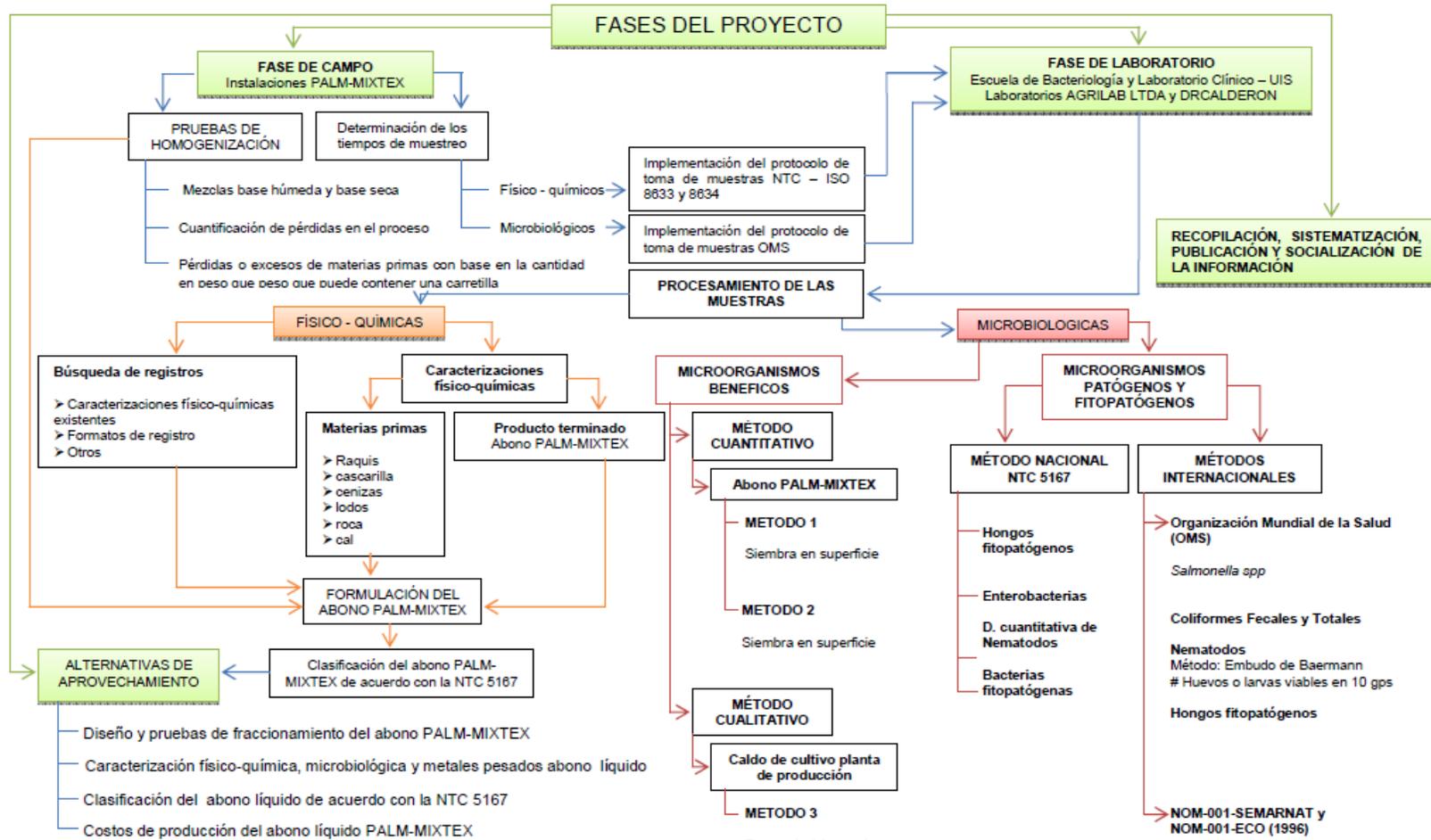
Las muestras microbiológicas se analizaron por métodos internacionales y la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004. Unos de los métodos internacionales utilizados es el planteado por la Organización Mundial de la Salud, el cual, incluye los siguientes análisis: *Salmonella spp*, Coliformes fecales y totales, nemátodos y hongos fitopatógenos. El otro método internacional, la norma Mexicana NOM-001-ECO (1996) incluye el análisis de huevos de helmintos. Finalmente, la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 contempla los análisis para hongos fitopatógenos, enterobacterias, determinación cuantitativa de nemátodos y bacterias fitopatógenas.

Se determinó además, la presencia de microorganismos benéficos *Rhizobium spp.*, *Azotobacter spp* y *Azospirillum spp* en el abono PALM-MIXTEX y el caldo de cultivo que se prepara en la planta de producción. Para la determinación de estos microorganismos se aplicaron métodos cuantitativos y cualitativos al abono sólido y el caldo de cultivo respectivamente.

Las caracterizaciones físico-químicas se realizaron a las materias primas (raquis, cascarilla, cenizas de las calderas, lodos provenientes de las piscinas de oxidación, roca fosfórica y cal magnesiana) y al producto terminado. Con los resultados de las caracterizaciones, se realizó la formulación del producto, prestando atención a nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y silicio. Con los resultados físico-químicos, se clasificó el producto de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004. Con estos resultados y con los registros físico-químicos de años anteriores del abono PALM-MIXTEX se implementó la alternativa de aprovechamiento.

En la alternativa de aprovechamiento, se analizó el diseño del equipo para el fraccionamiento del abono sólido PALM-MIXTEX y la metodología de producción del abono líquido. Se contempló realizar caracterizaciones de tipo físico-químico completa, metales pesados y análisis microbiológicos. Dos alternativas se tuvieron en cuenta, la producción de endomicorrizas y la producción de fertilizantes foliares a partir del abono terminado.

Figura 8. Metodología



## 6.1 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

**6.1.1 Materiales** Los materiales utilizados provienen de la planta de extracción de aceite. Estos materiales están constituidos por raquis, cenizas de las calderas, lodos húmedos de las piscinas y cascarilla. Otros materiales como la roca fosfórica y cal agrícola son adicionados como coayudantes (Ver tabla 13)

**Tabla 13. Materiales de laboratorio. Insumos, reactivos y medios de cultivo**

Insumos	Reactivos	Medios de cultivo
Erlenmeyer	Coloración de	Agar Cromocult
Cajas Petri	Gram	Agar nutritivo
Frascos de vidrio tapa rosca	Tween 80%	Agar YDC
Crisol	Agua destilada	Agar PDA
Embudo	Agua peptonada	Agar YMA
Pipetas automáticas de 10 – 100 µl	0,1% Buffer de fosfato	Agar Jugo V8
Pipetas automáticas de 100 – 1000 µl	estéril 0,1% (PBS)	Agar Rappaport-Vassiliadis
Top-line Tip 1-10 µl	Agua peptonada 2x	Agar XLD
Top-line Tip 100-1000 µl	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Agar Hektoen
Asas de Hockey		Bacteria bioquímica <i>Salmonella sp.</i>
Laminas portaobjeto		
Laminas cubreobjeto		
Gasas		

**6.1.2 Toma de muestras** Protocolo establecido por la organización mundial de la salud (OMS). Inicialmente inspeccionar que el lote sea uniforme, si la producción en bultos es más de 50 unidades, tomar una muestra del 10%, siendo ésta representativa. Después de perforar el empaque en el centro en forma de equis, inspeccionar las características del producto, lo que incluye: Características organolépticas, presencia de material extraño, insectos entre otros, posteriormente realizar mezcla homogénea, tomar muestra de 500 gramos, y depositar en bolsas de muestreo.

**6.1.3 Microorganismos patógenos y fitopatógenos** Para todos métodos microbiológicos se realizaron diferentes muestras así: Se analizaron muestras con 1 día de almacenamiento, 30, 150, 154 y 210 días de almacenamiento. Esto obedece a la necesidad de determinar si en realidad existe un proceso de compostaje. Los microorganismos mesófilos facultativos presentan sucesiones en la medida que se dan cambios de temperatura, humedad y pH en el abono almacenado.

Cada muestra es analizada al final del proceso de maduración del producto. Para dicho análisis se realizan las siguientes determinaciones: aerobios mesófilos (unidades formadoras de colonias por gramo de peso seco UFC/gps), hongos y levaduras (Unidades formadoras de colonias por gramo de peso seco UFC/gps), Coliformes totales y fecales (número más probable por gramo NMP/g, actinomicetos unidades formadoras de colonias por gramo de peso seco UFC/gps), la búsqueda de microorganismos nitrificantes (número más probable por gramo NMP/g).

Los análisis se realizaron de acuerdo al protocolo NTC 5167 de 2004 y a los protocolos internacionales de la Organización Mundial de la Salud y la norma Mexicana NOM-001-ECO (1996). Las metodologías utilizadas para efectuar los análisis microbiológicos aparecen condensadas en la figuras 10 y 11.

**6.1.4 Microorganismos benéficos** Los microorganismos benéficos fueron determinados en una sola muestra, la cual, se dividió en dos. La primera, corresponde al abono estibado con 150 días de almacenamiento y la segunda, la muestra tomada del caldo microbiano desarrollado en planta de producción, que es usado para inocular el abono PALM-MIXTEX antes de ser empacado. La figura 9 muestra la metodología utilizada para determinar los microorganismos benéficos. Los microorganismos benéficos fueron determinados cuantitativa y cualitativamente por diferentes métodos.

El género *Rhizobium spp.*, fue evaluado por la metodología propuesta por GRAHAM, P. H. 1969. Como medio de cultivo se utilizó Agar YMA y para su identificación se utilizó la batería bioquímica catalasa, oxidasa, motilidad, fermentación de azúcares (dextrosa, lactosa, glucosa), crecimiento con ramnosa, producción de gas y H<sub>2</sub>S, descarboxilación de la peptona.

El género *Azotobacter spp.*, se evaluó por la metodología descrita por RIDVAN, K., 2009. Como medio de cultivo se utilizó Agar Ashby y para su identificación se utilizó la batería bioquímica catalasa, oxidasa, motilidad, acidificación de azúcares (maltosa, glucosa, arabinosa, sacarosa), citrato de sodio, citrato malonato, descarboxilación (lisina, arginina, ornitina), producción de H<sub>2</sub>S, Voges-Proskaver, Indol.

Finalmente, el género *Azospirillum spp.*, se determinó por la metodología descrita por KANMOZHI, K., y PANNEERSELVAM, A., 2010. El medio de cultivo utilizado fue Agar semisólido NFB y la identificación se realizó con la batería bioquímica catalasa, motilidad, fermentación de azúcares (lactosa, glucosa, arabinosa, xilosa), urea, indol y citrato de sodio.

**Figura 9. Metodología para la determinación de microorganismos benéficos.**

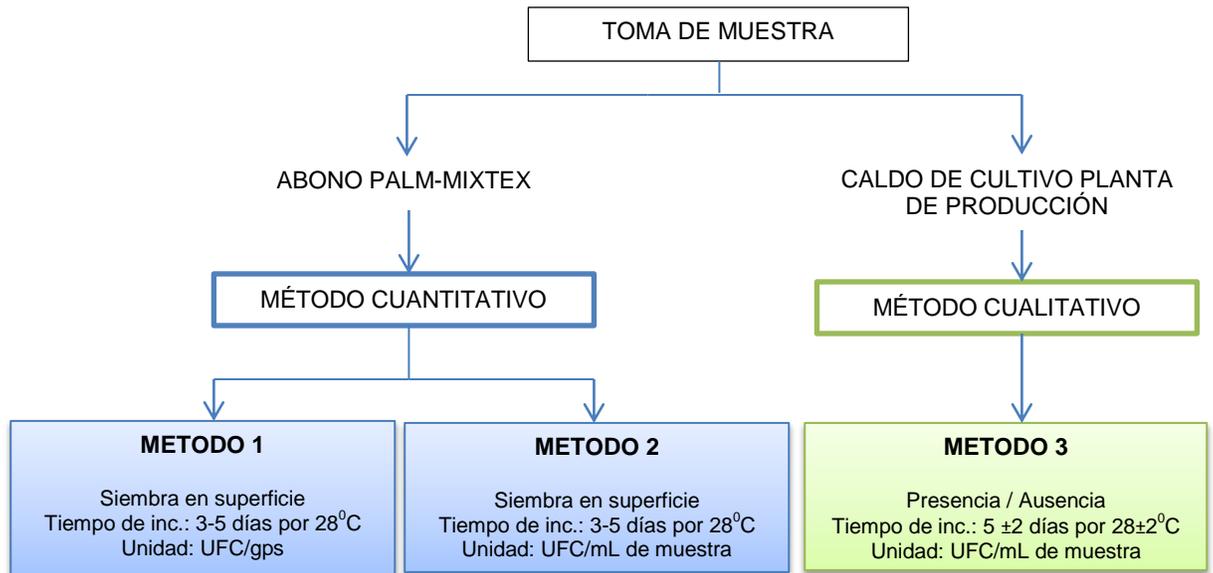


Figura 10. Caracterización microbiológica del abono

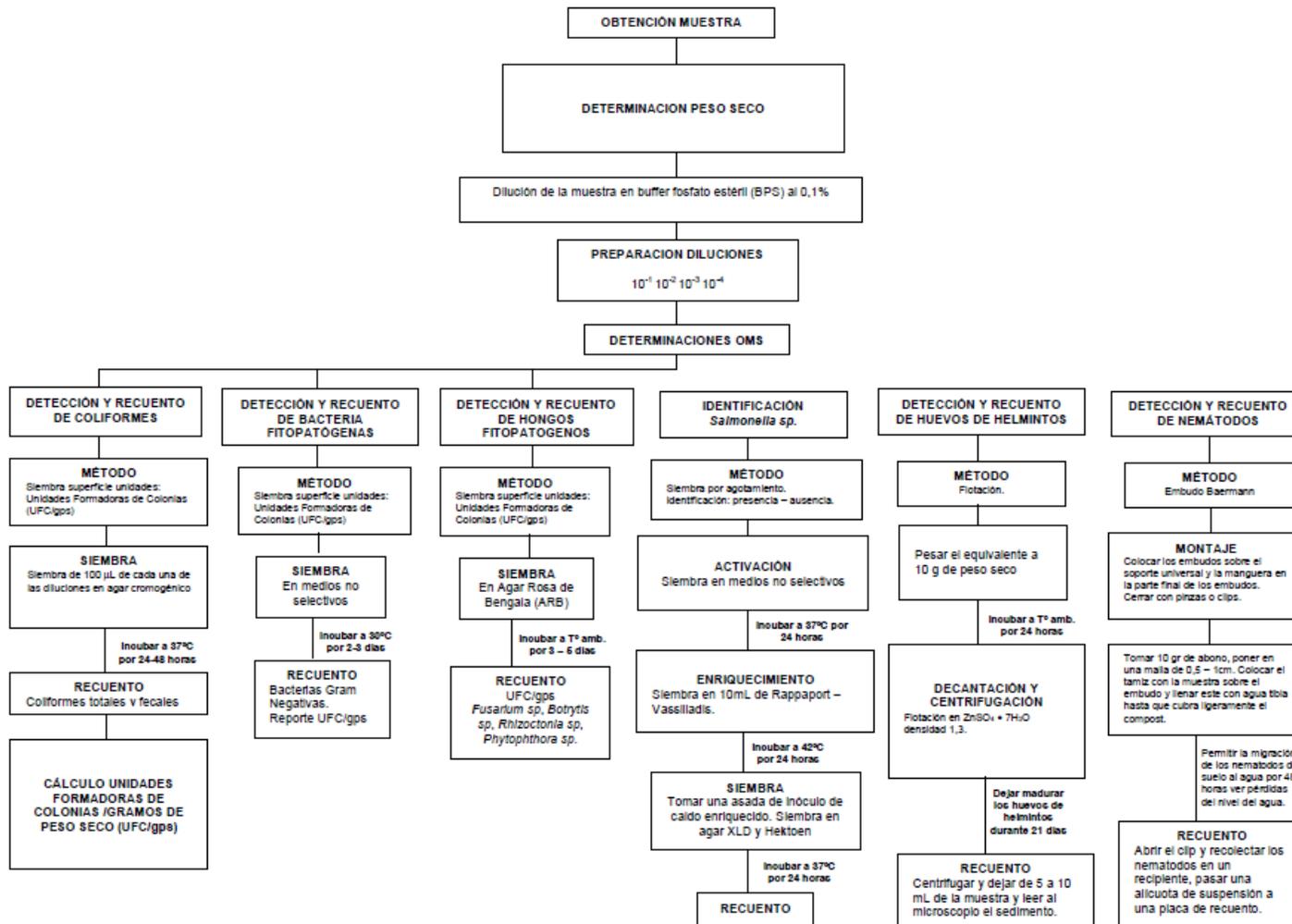


Figura 11. Protocolo internacional NTC 5167 de 2004 para la determinación microbiológica.

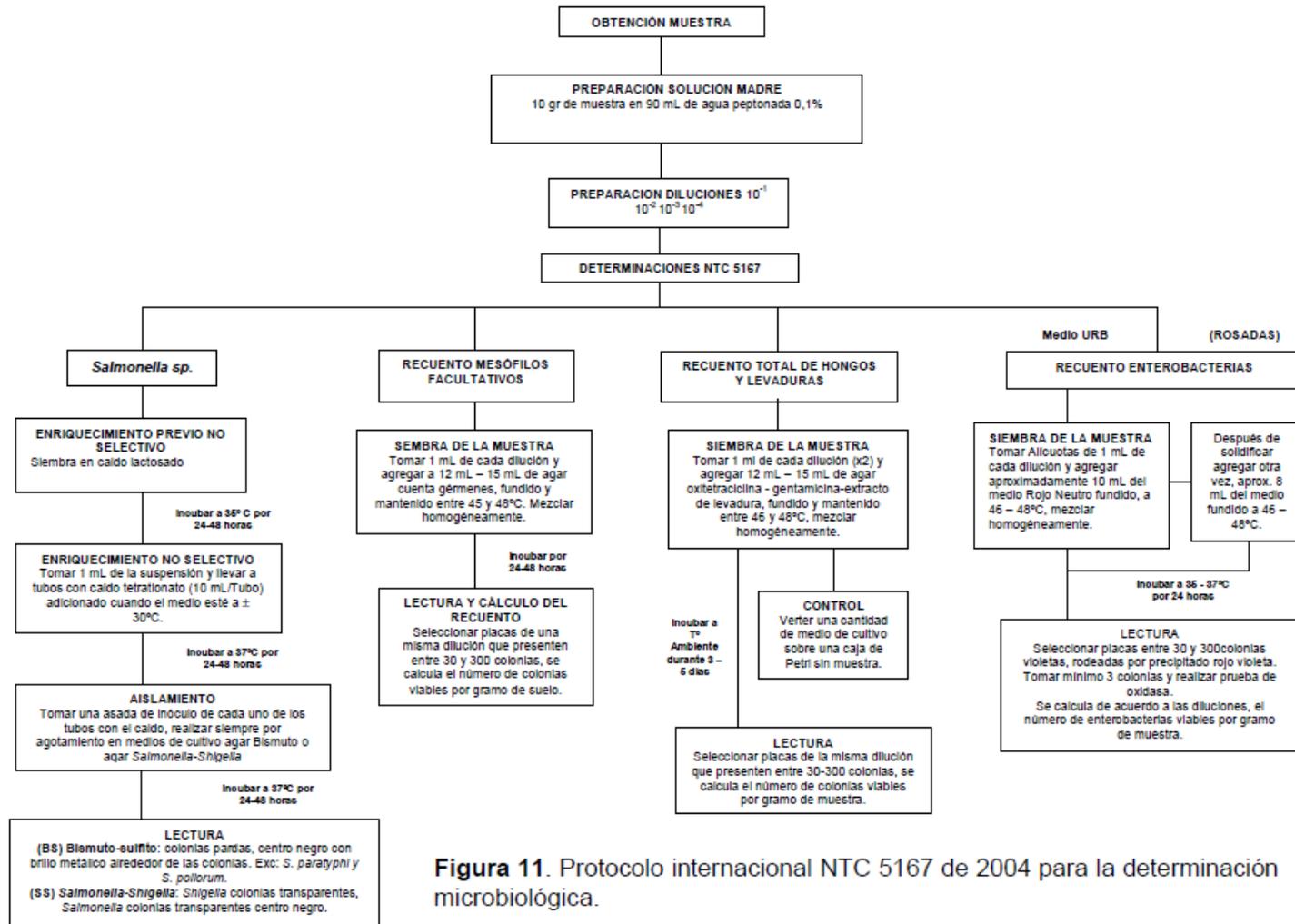


Figura 11. Protocolo internacional NTC 5167 de 2004 para la determinación microbiológica.

## **6.2 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS**

### **6.2.1 Determinación de los tiempos de muestreo del abono PALM-MIXTEX**

Para determinar el momento exacto en el cual, se deben tomar las muestras del producto terminado, se realizó una curva de temperatura, humedad y pH. Con esta información se pudo comprobar que el producto almacenado sufre un proceso de compostaje, que tiene un tiempo de maduración de 45 días aproximadamente. Finalizado este tiempo se procedió a tomar las muestras del abono.

**6.2.2 Protocolo toma de muestras** Para los análisis físico-químicos del producto terminado se aplicó el protocolo para la toma de muestra establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, el protocolo para la toma de muestras descrito en las normas técnicas NTC-ISO 8633 y 8634 de 1995. Estas normas tienen en cuenta los criterios de aceptación o rechazo de los lotes de producción.

**6.2.3 Búsqueda de registros y caracterizaciones físico-químicas** Se realizó una minería de datos correspondientes a los análisis físico-químicos realizados al abono PALM-MIXTEX previos a la ejecución de este proyecto. Además, se buscó información adicional como tablas de registros en cada una de las fases del proceso e información pertinente acerca de la formulación del abono.

Los análisis físico-químicos se realizaron al producto terminado, es decir, con 45 días de maduración (estibaje) después de empacado y a las materias primas provenientes de la planta extractora, exactamente los lodos provenientes de las piscinas de oxidación, las cenizas de las calderas, los raquis triturados en la planta de producción y a la cascarilla pirolisada también en la planta de producción.

Los análisis fisicoquímicos que se realizaron están enfocados a lo que exige la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004. En esta se encuentra descrita la

metodología que debe realizarse para los siguientes análisis: pH por el método potenciométrico; contenido de humedad por gravimetría; cenizas por gravimetría, capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) por volumetría, nitrógeno total por suma de nitrógenos, potasio total (NTC 202 de 2001); fósforo total (NTC 234 de 1996), relación carbono – nitrógeno (C/N); carbono orgánico oxidable por Walkley-Black y silicio total.

**6.2.4 Pruebas de homogenización del abono PALM-MIXTEX** Las pruebas de homogenización se realizaron para confirmar que la variabilidad en los resultados físico-químicos se presenta durante la dosificación de las materias primas en el proceso de mezclado. Además, para determinar la influencia en las diferencias físico-químicas del abono cuando se pierden materias primas durante la fabricación utilizando la maquinaria disponible en planta. Así mismo, determinar la influencia en las diferencias físico-químicas del abono cuando se dosifican las materias primas con base a la cantidad en peso que puede contener una carretilla.

**6.2.4.1 Preparación de mezclas en base húmeda y seca** En los meses de octubre y noviembre del año 2012 en la planta de producción de PALM-MIXTEX se pesaron 500 kilogramos de materias primas así: Lodos 300 kilogramos; 100 kilogramos de raquis picado; 45 kilogramos de cascarilla, de los cuales, 22,5 kilos son tostadas en el piro tubo y el restante se aporta como cascarilla “cruda”; 25 kilogramos de cenizas provenientes de las calderas de la planta de extracción de aceite de palma; 15 kilogramos de roca fosfórica y 15 kilogramos de cal magnesiana. El lote de octubre y el de noviembre fueron nombrados como mezcla 1 y mezcla 2 respectivamente. Estos lotes se analizaron en base húmeda. Además, estos mismos lotes, fueron analizados en base seca, y fueron llamados como mezcla 3 (lote de octubre) y mezcla 4 (lote de noviembre).

La mezcla de estos lotes se realizó sin el uso de la maquinaria instalada en planta, por el contrario, se hizo con el esfuerzo de los obreros utilizando palas y evitando

al máximo perder materias primas durante el proceso. Después de mezclado, se empaco el producto en sacos de 40 kilogramos y fue estibado por un tiempo de 45 días mientras ocurre la maduración del abono. Finalizado el tiempo de maduración del abono, se tomaron las muestras de los lotes de octubre y noviembre de acuerdo a los protocolos ya establecidos y se enviaron a un laboratorio de referencia para analizar los parámetros físico-químicos.

**6.2.4.2 Cuantificación de pérdidas durante el proceso** Para esta prueba se pesaron 500 kilogramos de materias primas con las cantidades declaradas en la forma ICA 3-894 así: Lodos 60%; raquis 20%; cascarilla 9%; cenizas provenientes de las calderas de la planta de extracción de aceite de palma 5%; roca fosfórica 3% y cal magnesiana 3%.

Todas las materias primas ingresaron a cada una de las fases del proceso previamente pesadas. Al final de cada fase del proceso se detuvo la maquinaria y se pesaron nuevamente las materias primas para determinar la pérdida. Para calcular la pérdida total de cada materia prima, se sumaron las pérdidas encontradas en cada una de las fases del proceso y se determinó la cantidad del abono PALM-MIXTEX producido.

Con los valores de las pérdidas se calcularon los porcentajes reales de las materias primas que ingresaron a la fase de mezcla y, con base en esto, se calculó la cantidad de elementos nutricionales que entran y los que salen al final del proceso, determinando así la nueva formulación. Finalmente, los cambios en la composición físico-química del abono PALM-MIXTEX con pérdidas y sin ellas fueron comparados.

**6.2.4.3 Pérdidas de materias primas con base a la cantidad en peso que puede contener una carretilla.** En una jornada de trabajo de la empresa PALM-MIXTEX, se pesaron todas las materias primas que son dosificadas y

transportadas en carretillas durante el proceso de mezcla. Por cada obrero se determinó dos veces el peso del material transportado en la carreta, es decir, lodos, raquis, cascarilla y cenizas. En la planta en estos momentos hay cuatro obreros trabajando, por lo cual, cada materia prima se pesó ocho veces. La roca fosfórica y la cal magnesiana no se pesaron, debido a que vienen empacadas con exactitud en sacos de 50 kilogramos. Por tal razón, no se presentan pérdidas durante el transporte de la roca fosfórica y la cal magnesiana. Para la determinación de las pérdidas o excesos de materias primas se pesaron previamente las carretillas vacías y luego, se pesaron las carretillas cargadas con las materias primas. Finalmente, se calculó las diferencias de peso para cada una de las materias primas dosificadas en carretillas.

**6.2.5 Formulación del abono PALM-MIXTEX** Para la formulación del abono PALM-MIXTEX se caracterizaron fisicoquímicamente las materias primas utilizadas cascarilla tostada y molida, raquis picados, lodos, cenizas, roca fosfórica y cal magnesiana. Los parámetros caracterizados que se tuvieron en cuenta para la formulación del abono fueron los macronutrientes (Nitrógeno, fósforo y potasio), los elementos secundarios (calcio y magnesio) y el contenido de sílice. Los macronutrientes y los elementos secundarios se tomaron en consideración debido a que son los que presentan mayores valores de heterogeneidad en el producto terminado y por otra parte, la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 exige que en el proyecto de etiquetado estos parámetros se mantengan homogéneos, es decir, que no cambien sus valores de un análisis a otro. El contenido de sílice se incluyó en la formulación por petición del gerente de la empresa PALM-MIXTEX.

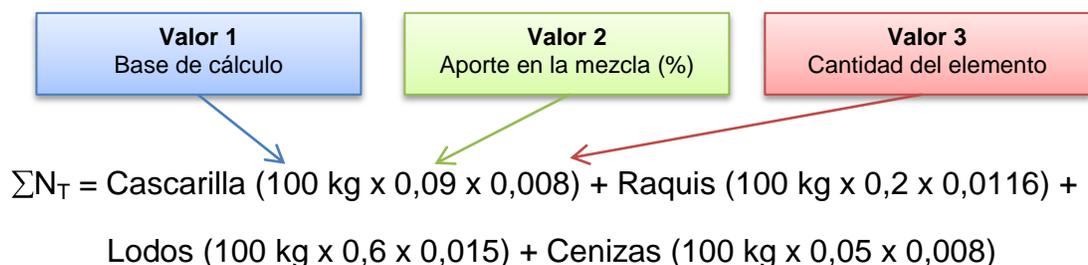
Los resultados obtenidos de la caracterización físico-química de las materias primas se denominaron elementos de entrada. Estos elementos de entrada son aportados cuando se integran las materias primas a la mezcla inicial en la preparación del abono. Además, para la formulación del abono, se tuvieron en

cuenta los porcentajes de las materias primas que se utilizan durante la formulación (Ver tabla 21).

Después de transcurrido el tiempo de maduración del abono, se realizó la caracterización físico-química del producto terminado (abono PALM-MIXTEX). Los parámetros tenidos en cuenta son los mismos de las materias primas, estos son: Macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio); elementos secundarios (calcio y magnesio) y el contenido de sílice. Los resultados obtenidos de la caracterización se denominaron en el proceso de formulación como elementos de salida (Ver tabla 21). Para la formulación de los elementos de entrada se realizó la sumatoria de cada uno de los elementos reportados en el análisis físico - químicos de las materias primas, tales como: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, silicio y magnesio. La base de cálculo usada fue de 100 kilogramos y se tuvo en cuenta el porcentaje de cada materia prima usada en la formulación del abono. Ver figuras 12 y 16, además la tabla 21. Los elementos de salida se analizaron teniendo en cuenta la base de cálculo de 100 kg de abono (Peso de la solución), el porcentaje peso a peso del elemento, en nuestro ejemplo el nitrógeno 1,35 %P/P (Ver tabla 21).

Finalmente se calculó el peso del soluto con la fórmula:  $Psto = \frac{\%P}{100} \times Psln$

**Figura 12. Cálculo para la formulación de los elementos de entrada**



**6.2.5.1 Caracterizaciones físico-químicas de las materias primas** Un kilogramo de cada una de las materias primas fueron seleccionadas y procesadas para enviarlas al laboratorio de la siguiente manera: Los raquis fueron triturados por los

molinos 1 y 2 en la planta de producción; los lodos se secaron en el pirotubo; la cascarilla se quemó en el pirotubo y luego fue molida y las cenizas no recibieron ningún tratamiento antes de enviarlas al laboratorio. Para determinar las características físicas y químicas de la roca fosfórica y la cal magnesiana se utilizó la información de la ficha técnica que entregaron los proveedores.

**6.2.5.2 Caracterización físico – química del abono PALM-MIXTEX** Una muestra compuesta de un kilogramo de abono PALM-MIXTEX fue tomada del lote de producción del 29 de mayo de 2013, después de transcurridos 45 días de maduración. La muestra se envió al laboratorio de referencia para realizar los análisis físico – químicos correspondientes.

**6.2.5.3 Clasificación del abono PALM-MIXTEX de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167** Los resultados obtenidos de la caracterización físico – química realizada al abono PALM-MIXTEX, fueron utilizados para comparar los parámetros reportados en el análisis con respecto a los exigidos por la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004. De esta manera, se incluyó al abono PALM-MIXTEX en una de las categorías descritas por la norma anteriormente mencionada.

### **6.3 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO**

Una vez revisados los parámetros iniciales del proceso de producción del abono y las características físico-químicas y microbiológicas, se decidió como alternativa de aprovechamiento la producción de un fertilizante foliar (Líquido) obtenido a partir del abono sólido PALM-MIXTEX mediante un proceso de fraccionamiento o separación por medios físicos y químicos de los componentes del abono (GÓMEZ, J., 2000) y así obtener los siguientes productos: Sustancias hidrosolubles, ácidos solubles y sustancias húmicas, que tienen funciones diferentes a los del producto

de origen. Se presentaron diferentes alternativas de aprovechamiento como producción de Micorrizas Vesículo-arbusculares (MVA) usando como base el abono PALM-MIXTEX y la producción del fertilizante foliar. La decisión fue tomada teniendo en cuenta la maximización del uso de los recursos materiales y mano de obra locales, minimización del uso de energía y del impacto ambiental, rentabilidad económica, factibilidad de operación y mantenimiento y disminución del riesgo para la salud de los trabajadores y el público.

**6.3.1 Diseño y pruebas de fraccionamiento del abono PALM-MIXTEX** En los últimos años ha tomado auge la investigación de los lombricompostos y abonos orgánicos y sus extractos (Ácidos húmicos y fúlvicos), haciéndose énfasis en el grado de humificación, la riqueza en la actividad enzimática, el poder quelatante y los importantes contenidos nutricionales, que en los abonos sólidos son muy bajos. También, se enfatiza en los efectos observados al ser aplicados al suelo y las plantas demostrando excelentes respuestas en la calidad productiva y en la actividad fisiológica vegetal, utilizándose como fracción importante en la elaboración de fertilizantes orgánicos.

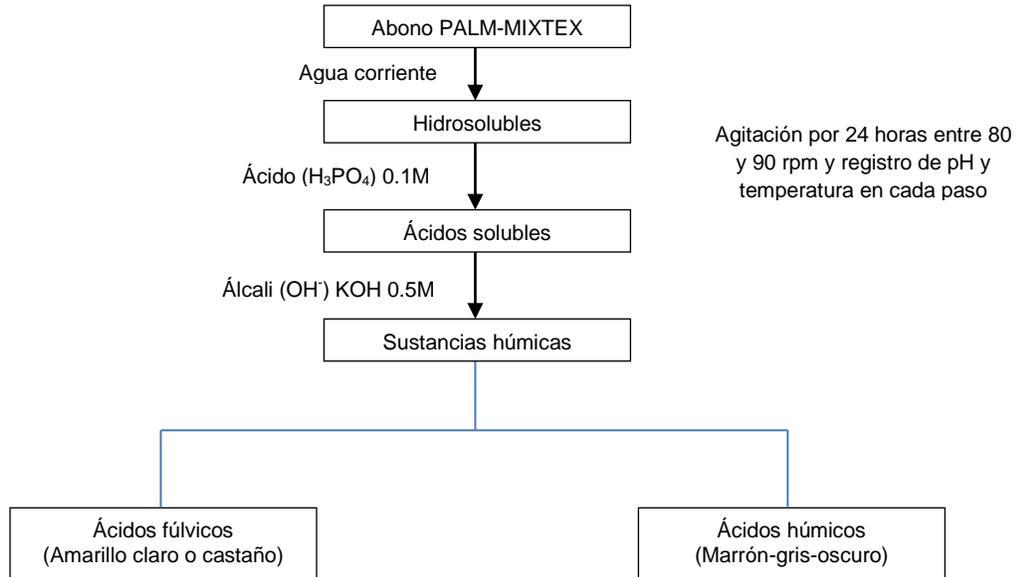
Tres aspectos deben tenerse en cuenta para una buena extracción: Las propiedades del sustrato húmico (Abono PALM-MIXTEX) y su interacción con el disolvente, las características de este último y las condiciones experimentales en el proceso extractivo. Aparte del disolvente, ha de considerarse también el tamaño de partícula del sustrato, la relación sustrato/extractante, el tiempo y la temperatura de extracción, factores que afectan la calidad y rendimiento de las sustancias húmicas solubilizadas y otros componentes como los hidrosolubles y los ácidos solubles. Los materiales utilizados en el proceso de extracción de los componentes hidrosolubles, ácidos solubles y ácidos húmicos incluyen el abono PALM-MIXTEX como materia prima, soluciones extractantes como ácido fosfórico e hidróxido de potasio, equipo de mezcla continua para cada una de las siguientes fases de proceso:

**6.3.1.1 Hidrosoluble** El hidrosoluble compuesto por azúcares, aminoácidos, purines y minerales en donde predomina el potasio (GÓMEZ, J., 2000) se obtiene a partir de la mezcla de una unidad de peso del abono orgánico con diez unidades volumétricas de agua corriente, formando un lodo el cual se agita por 24 horas continuas.

**6.3.1.2 Ácidos solubles** Para la obtención de los ácidos solubles: Calcio, potasio, manganeso, fósforo, magnesio y trazas de otros elementos, se procede a adicionar una solución ácida de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) a una concentración de 0,1M (LUNA, L., 2001). El proceso continúa la etapa de mezcla por otras 24 horas. En este momento se hace necesario medir el valor de pH y la temperatura.

**6.3.1.3 Ácidos húmicos** Las sustancias húmicas (SH), constituyen una complejísima muestra, fuertemente coloreada, de compuestos predominantemente aromáticos, hidrofílicos, considerados polielectrólitos con altos pesos moleculares (CEGARRA, R.J., 1992). Usualmente se diferencian en tres grupos: Ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (Figura 13). Las sustancias húmicas se obtienen mediante soluciones alcalinas, adicionando una base, en este caso hidróxido de potasio (KOH) 0,5M. La solución debe agitarse por 24 horas continuas en un rango de 80 a 90 rpm como en las etapas anteriores. Se debe medir la temperatura y el pH.

**Figura 13. Fraccionamiento del abono líquido y las sustancias húmicas**



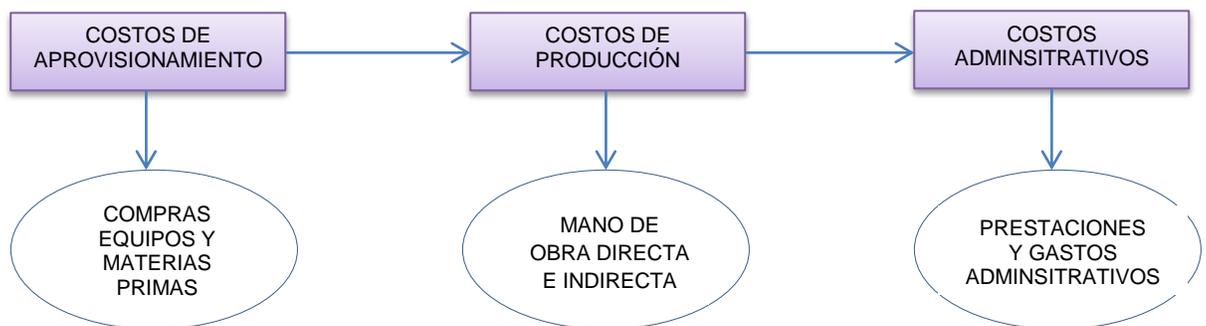
**6.3.1.4 Filtración** Mediante un filtro de anillos es necesario retirar los sólidos del producto con el fin de clarificarlo un poco y evitar sedimentos no deseables en los sistemas de fertirrigación donde será usado el producto.

**6.3.1.5 Repotenciación** Es importante completar los niveles de macronutrientes. En las etapas anteriores se aplicó fósforo y potasio, pero el nitrógeno es indispensable para el producto, así que se hace necesario aplicar urea en una dosis que llegue a los 15g/L. Además, se requiere aplicar fitoreguladores a partir de productos comerciales en concentración del 1%.

**6.3.2 Clasificación del abono líquido con respecto a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004** Con los resultados físico-químicos del fertilizante, e identificando cómo se obtienen y cuáles son los componentes principales del abono líquido, se clasifica el producto comparándolo frente a los parámetros de la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004. De esta manera se define si el producto es un abono orgánico mineral líquido o una enmienda húmica líquida.

**6.3.3 Evaluación de Costos de Implementación** La evaluación de costos se realizó basada en la estructura del proceso de producción y el cálculo de los costos (DONOSO, R., y DONOSO, A., 2010). La actividad productiva que tiene lugar en el proceso de producción del abono líquido se desarrolla mediante tres funciones básicas: Costo de aprovisionamiento, costo de producción y costo administrativo, funciones que representan las etapas del itinerario que sigue la materia prima hasta su transformación en el producto terminado por la empresa. El aprovisionamiento está relacionado con la compra de equipos y materias primas, los costos de producción incluyen la mano de obra directa e indirecta y el costo administrativo está ligado al pago de prestaciones, y gastos administrativos relacionados con la producción del abono líquido (Ver figura 14)

**Figura 14. Evaluación de costos.**



**Fuente:** DONOSO, R., y DONOSO, A., 2010

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA

**7.1.1 Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método internacional OMS** Una vez realizadas las pruebas microbiológicas por duplicado y en fechas diferentes encontramos que el abono PALM-MIXTEX cumple con los requerimientos exigidos por la norma internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en lo referente a microorganismos patógenos y fitopatógenos (Ver tabla 14)

La cuantificación de bacterias coliformes totales y fecales basados en el método de siembra por superficie en medio selectivo y diferencial, en las cuatro muestras, presenta valores por debajo del límite detectable  $2 \times 10^6$  UFC/gps. Sin embargo, en la muestra uno (15 de febrero de 2013), en la que se realizaron dos muestreos en lotes diferentes, el primero con un día de almacenamiento y el segundo con siete meses de almacenamiento, evidenció la presencia de coliformes totales para el primer día de almacenamiento del abono con un valor de  $2,2 \times 10^5$  UFC/gps y  $3,8 \times 10^2$  UFC/gps para los siete meses de almacenamiento. En ninguno de los casos, se excede los límites permitidos.

Para el caso del género *Salmonella spp.*, evaluada por el método de presencia ausencia, no se evidenció su presencia en 25 gramos de peso seco en ninguna de las muestras analizadas.

La prueba realizada en las cuatro muestras del abono PALM-MIXTEX para la identificación de nemátodos con el método embudo de Baermann, demuestra la ausencia de huevos o larvas de vida libre en 10 gramos de peso seco, lo que

indica que la aplicación de este producto a las plantas no ocasionará ningún tipo de daño a nivel radicular.

Por otra parte, no se evidencia la presencia de helmintos en el abono PALM-MIXTEX utilizando el método de flotación, protocolo utilizado en la norma oficial Mexicana NOM-001.ECOL-1996. Para las cuatro muestras analizadas se reporta la ausencia de huevos y larvas de tipo Rábditiformes y Filariformes en 15 gramos de peso seco. La ausencia de Helmintos como *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taenia saginata* y otras especies más, garantiza que el producto no causara trastornos digestivos y nutricionales a personas o animales que entren en contacto con el abono.

**Tabla 14. Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método internacional de la Organización Mundial de la Salud y el método Mexicano NOM-001.ECOL. 1996**

<b>Descripción de la muestra:</b> Abono Palm-Mixtex, Planta Sabana de Torres					
	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>	<b>MUESTRA 4</b>	
	<b>Fecha:</b> 15/02/2013	<b>Fecha:</b> 05/04/2013	<b>Fecha:</b> 24/06/2013	<b>Fecha:</b> 11/10/2013	
<b>PARÁMETRO BACTERIOLOGICO</b>	Determinación cuantitativa de Coliformes totales y fecales. <b>Método:</b> Siembra en superficie en un medio selectivo y diferencial con sustratos cromogénicos definidos				
<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Coliformes totales	2,2x10 <sup>5</sup>	3,8x10 <sup>2</sup>	< LD	< LD	< LD
Coliformes fecales	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Observaciones:</b> Los Coliformes son bacterias que habitan en el intestino de animales de sangre caliente. Los Coliformes fecales es un grupo que está asociado con residuos de origen humano o animal. <i>Escherichia coli</i> es el mejor indicador de este grupo y representa riesgo a la salud.					

PARAMETRO <i>Salmonella spp.</i>	<b>Método:</b> Presencia / ausencia. Protocolo utilizado:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pre-enriquecimiento a <math>35 \pm 2^{\circ}\text{C}</math>.</li> <li>2. Enriquecimiento selectivo a <math>42 \pm 2^{\circ}\text{C}</math> por 16 horas <math>\pm 2^{\circ}\text{C}</math></li> <li>3. Cultivo agares selectivos y diferenciales, incubados por 16 horas <math>\pm 2^{\circ}\text{C}</math> a</li> <li>4. Identificación bioquímica</li> <li>5. Identificación serológica con antisueros polivalentes "O"</li> </ol>				
<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Presencia de <i>Salmonella spp</i> en 25 gps	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
PARAMETRO HUEVOS DE HELMINTOS	<b>Método:</b> Flotación. <b>Protocolo utilizado:</b> Norma oficial Mexicana NOM-001.ECOL-1996. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 3-4 semanas a temperatura ambiente. <b>Unidad:</b> Número de huevos viables por gramo de peso seco. <b>Criterio de viabilidad:</b> Presencia de la larva dentro del huevo en 1, 2 o 3 estadio.				
	<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>
Número de huevos o larvas viables en 15 gps	ahH alRF	ahH alRF	ahH al alRF	ahH alRF	ahH alRF
<b>ahH:</b> Ausencia de huevos de Helminetos					
<b>alRF:</b> Ausencia de larvas Rabditiformes y Filariformes					

**Descripción de la muestra:** Abono Palm-Mixtex, Planta Sabana de Torres

	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		MUESTRA 4			
	Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:			
	15/02/2013		05/04/2013		24/06/2013		11/10/2013			
PARAMETRO NEMÁTODOS	<b>Método:</b> Embudo de Baermann. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 48 horas a temperatura ambiente. <b>Unidad:</b> Presencia de huevos y larvas de Nemátodos fitopatógenos por gramo de peso seco									
<b>Tiempo almacenamiento</b>	1 día		7 meses		150 días		154 días		30 días	
Presencia de huevos o larvas viables en 10 gps	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl	
<b>ahlvl:</b> Ausencia de huevos o larvas de vida libre										
PARAMETRO HONGOS FITOPATÓGENOS	<b>Método:</b> Siembra en superficie. <b>Protocolo utilizado:</b> Salgado y Cepero, 2005. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 3 días a temperatura ambiente. <b>Unidad:</b> Número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de peso seco.									
<b>Tiempo almacenamiento</b>	1 día		7 meses		150 días		154 días		30 días	
Hongos fitopatógenos (UFC/gps)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	

**Fuente:** Autor

Finalmente, no se reportaron hongos fitopatógenos (*Fusarium spp.*, *Botrytis spp.*, *Rhizoctonia spp* y *Phytophthora spp*) por el método de siembra en superficie en el

abono PALM-MIXTEX en ninguna de las cuatro muestras analizadas. Los valores encontrados están por debajo del límite de detección.

**7.1.2 Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método nacional NTC 5167 de 2004** Los resultados microbiológicos del abono PALM-MIXTEX obtenidos bajo norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 indican que el producto es apto para su uso agrícola y no representa ningún peligro para las personas y los animales que están en contacto directo durante su aplicación al suelo. De acuerdo a la norma, los fertilizantes y acondicionadores orgánicos de origen no pedogenético, deberán demostrar que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: *Salmonella spp.*: ausente en 25 g de producto final; Enterobacterias totales: menos de 1000 UFC/g de producto final. Además, si alguna de las materias primas es de origen vegetal, deberán estar exentos de fitopatógenos de los géneros: *Fusarium spp.*, *Botrytis spp.*, *Rhizoctonia spp.*, *Phytophthora spp.* y de nemátodos fitopatógenos. La tabla 15 muestra los resultados microbiológicos obtenidos en las diferentes muestras del abono PALM-MIXTEX

**Tabla 15. Cuantificación de microorganismos patógenos y fitopatógenos por el método nacional NTC 5167 de 2004 en cuatro lotes de producción del abono PALM - MIXTEX.**

Descripción de la muestra: Abono Palm-Mixtex, Planta Sabana de Torres				
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
	Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
	15/02/2013	05/04/2013	24/06/2013	11/10/2013
PARAMETRO DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE MESÓFILOS FACULTATIVOS	<b>Método:</b> Protocolo NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Editada 2004. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 24 horas a 32 ± 2°C.			

	<b>Unidad:</b> Número de unidades formadoras de colonia (UFC) por gramos de peso seco.				
<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Determinación de mesófilos facultativos (UFC/gps)	4x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>7</sup>	4x10 <sup>4</sup>	5,2x10 <sup>6</sup>	4,2x10 <sup>5</sup>

**Descripción de la muestra:** Abono Palm-Mixtex, Planta Sabana de Torres

<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>	<b>MUESTRA 4</b>
<b>Fecha:</b> 15/02/2013	<b>Fecha:</b> 05/04/2013	<b>Fecha:</b> 24/06/2013	<b>Fecha:</b> 11/10/2013

<b>PARÁMETRO DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE HONGOS Y LEVADURAS</b>	<b>Método:</b> NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Editada 2004. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 3 días a temperatura ambiente. <b>Unidad:</b> Número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramos de peso seco.
---	---

<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Determinación de hongos fitopatógenos (UFC/gps)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< **LD:** Menor al límite detectable.

<b>PARAMETRO DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE ENTEROBACTERIAS</b>	<b>Método:</b> Siembra en doble capa. Protocolo utilizado NTC 5167. Presencia / ausencia. <b>Protocolo utilizado:</b> Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Editada 2004. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 24 horas a 37 <sup>0</sup> C ± 2 <sup>0</sup> C.
--	--

	<b>Unidad:</b> Número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramos de peso seco.				
<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Determinación de Enterobacterias (UFC)/gps	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
< <b>LD:</b> Menor al límite detectable.					
<b>PARAMETRO DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE HUEVOS DE HELMINTO</b>	<b>Método:</b> Flotación. <b>Protocolo utilizado:</b> Norma oficial Mexicana NOM-001.SEMARNAT-1996. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 3-4 semanas a temperatura ambiente. <b>Unidad:</b> Número de huevos viables por gramo de peso seco. <b>Criterio de viabilidad:</b> Presencia de la larva dentro del huevo en 1, 2 o 3 estadio.				
<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Número de huevos o larvas viables en 15 gps	ahH aIRF	ahH aIRF	ahH al aIRF	ahH aIRF	ahH aIRF
<b>ahH:</b> Ausencia de huevos de Helminetos					
<b>aIRF:</b> Ausencia de larvas Rabditiformes y Filariformes					

**Descripción de la muestra:** Abono Palm-Mixtex, Planta Sabana de Torres

	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>	<b>MUESTRA 4</b>
	<b>Fecha:</b> 15/02/2013	<b>Fecha:</b> 05/04/2013	<b>Fecha:</b> 24/06/2013	<b>Fecha:</b> 11/10/2013
<b>PARÁMETRO DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE NEMATODOS</b>	<b>Método:</b> Embudo de Baermann. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 48 horas a temperatura ambiente. <b>Unidad:</b> Presencia de huevos y larvas de nematodos fitopatógenos por gramo de peso seco.			

<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Presencia de huevos o larvas viables en 10 gps	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl	ahlvl
<b>ahlvl:</b> Ausencia de huevos o larvas de vida libre					
<b>PARAMETRO DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE BACTERIAS FITOPATÓGENAS</b>	<b>Método:</b> Siembra en superficie. <b>Protocolo utilizado:</b> Elorrieta et al, 2003, siembra en superficie. Survival of phytopathogenic bacteria during waste composting. <b>Tiempo de incubación de la muestra:</b> 3 días a temperatura ambiente. <b>Unidad:</b> Número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramos de peso seco.				
<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Determinación de bacterias fitopatógenas (UFC/gps)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< **LD:** Menor al límite detectable.

<b>PARAMETRO DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE <i>Salmonella spp</i></b>	<p><b>Método:</b> Presencia / ausencia. Protocolo NTC 5167. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Editada 2004.</p> <p>Etapas básicas de los métodos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pre-enriquecimiento a <math>36 \pm 2^{\circ}\text{C}</math> por 16 horas <math>\pm</math> 2 horas.</li> <li>2. Enriquecimiento selectivo a <math>42^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math> por 16 horas <math>\pm</math> 2 horas</li> <li>3. Cultivo agares selectivos y diferenciales, incubados a <math>36 \pm 2^{\circ}\text{C}</math> por 16 horas <math>\pm</math> 2 horas.</li> <li>4. Identificación bioquímica en agares Xilosa, Lisina, Desoxicolato (XLD), Hektoen, Salmonella – Shiguella (SS), Bismuto Sulfito (BSA).</li> <li>5. Identificación serológica con antisueros polivalentes “O”</li> </ol>
--	---

<b>Tiempo almacenamiento</b>	<b>1 día</b>	<b>7 meses</b>	<b>150 días</b>	<b>154 días</b>	<b>30 días</b>
Identificación de <i>Salmonella spp.</i> , en 25 gramos de peso seco	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

**Fuente:** Autor

El recuento microbiológico de hongos fitopatógenos utilizando la metodología Colombiana NTC 5167 de 2004 indica que el abono PALM-MIXTEX está libre de hongos pertenecientes a los géneros *Fusarium spp.*, *Botrytis spp.*, *Rhizoctonia spp.*, y *Phytophthora spp.* ya que en los cuatro muestreos los resultados estuvieron por debajo del límite de detección.

Con respecto a la determinación cuantitativa de enterobacterias, no se detectaron coliformes totales y fecales en las cuatro muestras analizadas. Los resultados siempre fueron contundentes en cada uno de los tiempos de almacenaje del producto. Estos resultados estuvieron por debajo al límite detectable, menos de 1000 UFC/g de producto terminado (Ver tabla 15).

La determinación de huevos de Helminetos por el método de flotación realizado para la norma Colombiana NTC 5167 de 2004 muestra la ausencia de huevos y larvas Rabditiformes y Filariformes en las cuatro muestras de abono procesado en diferentes tiempos de almacenamiento.

El recuento de nemátodos realizado teniendo en cuenta la normatividad Colombiana NTC 5167 de 2004, la cual, utiliza el mismo método internacional, Embudo de Baermann, reporta la ausencia de huevos o larvas de vida libre en las cuatro muestras analizadas del abono PALM-MIXTEX.

El recuento de las bacterias fitopatógenas presentes en el abono PALM-MIXTEX en las cuatro muestras con diferentes tiempos de almacenaje, mostró valores menores al límite de detección, usando el método siembra en superficie. Esto coincide con lo exigido en la norma Colombiana NTC 5167 de 2004, en la cual, se debe reportar la ausencia de estos microorganismos en 25 gramos de abono. El Protocolo utilizado de siembra por superficie (ELORRIETA, M.A., *et al.*, 2003) busca la presencia de microorganismos tales como: *Agrobacterium spp.*, *Corynebacterium spp.*, *Erwinia spp.*, *Pseudomonas spp.*, y *Xanthomonas spp.* Estos microorganismos son los causantes de la mayoría de daños a las plantas.

Los resultados encontrados para el género *Salmonella spp.*, utilizando el método presencia/ausencia, con previo pre enriquecimiento en caldo lactosado y posterior enriquecimiento con caldo tetracionato reportaron la ausencia del microorganismo en 25 gramos en cada una de las muestras procesadas con diferentes tiempos de almacenaje. Nuevamente, se observa la ausencia de este microorganismos en las muestras analizadas (Ver tabla 15)

El recuento de mesófilos facultativos utilizando el protocolo nacional NTC 5167 de 2004, mostró diferentes valores en cada tiempo de almacenamiento del producto en las muestras. En la muestra uno, el valor de mesófilos facultativos con un día de almacenamiento del abono fue de  $4 \times 10^6$  UFC/gps y a los siete meses el valor registrado fue  $5 \times 10^7$  UFC/gps. Las muestras dos (150 días de almacenamiento) y tres (154 días de almacenamiento) registran valores de  $5 \times 10^6$  UFC/gps y  $5,2 \times 10^6$  UFC/gps, respectivamente. Finalmente, la muestra cuatro (30 días de almacenamiento) con un valor de  $4,2 \times 10^5$  UFC/gps. Estos microorganismos presentan registros diferentes debido a los cambios de temperatura, pH y humedad que ocurren en el abono durante el tiempo de compostaje.

### 7.1.3 Cuantificación de microorganismos benéficos

Tabla 16. Determinación cuantitativa de *Rhizobium spp.*, *Azotobacter spp.*, y *Azospirillum spp.*

PARÁMETRO	ABONO PALM-MIXTEX	CALDO CULTIVO MICROBIANO	
		Cuantitativo	Cualitativo
	MÉTODO 1	MÉTODO 2	MÉTODO 3
	Siembra en superficie Tiempo de incubación 3 - 5 días a 28 <sup>0</sup> C Unidad: UFC/gps	Siembra en superficie Tiempo de incubación 3 - 5 días a 28 <sup>0</sup> C Unidad: UFC/mL de muestra	Presencia / Ausencia Tiempo de incubación 5 ± 2 días a 28 ± 2 <sup>0</sup> C Unidad: UFC/mL de muestra
<i>Rhizobium sp</i>	< LD en UFC/g peso seco	< LD en UFC/mL de muestra	Ausente
<i>Azotobacter sp</i>	< LD en UFC/g peso seco	< LD en UFC/mL de muestra	Presente
<i>Azospirillum sp</i>	< LD en UFC/g peso seco	< LD en UFC/mL de muestra	Ausente

El análisis realizado al abono PALM-MIXTEX y al caldo de cultivo microbiano en planta de producción para determinar los microorganismos benéficos por tres métodos diferentes arrojó los siguientes resultados: El género *Rhizobium spp.*, y el género *Azospirillum spp.*, por el método de siembra en superficie obtuvo valores menores al límite detectable (Ver tabla 16).

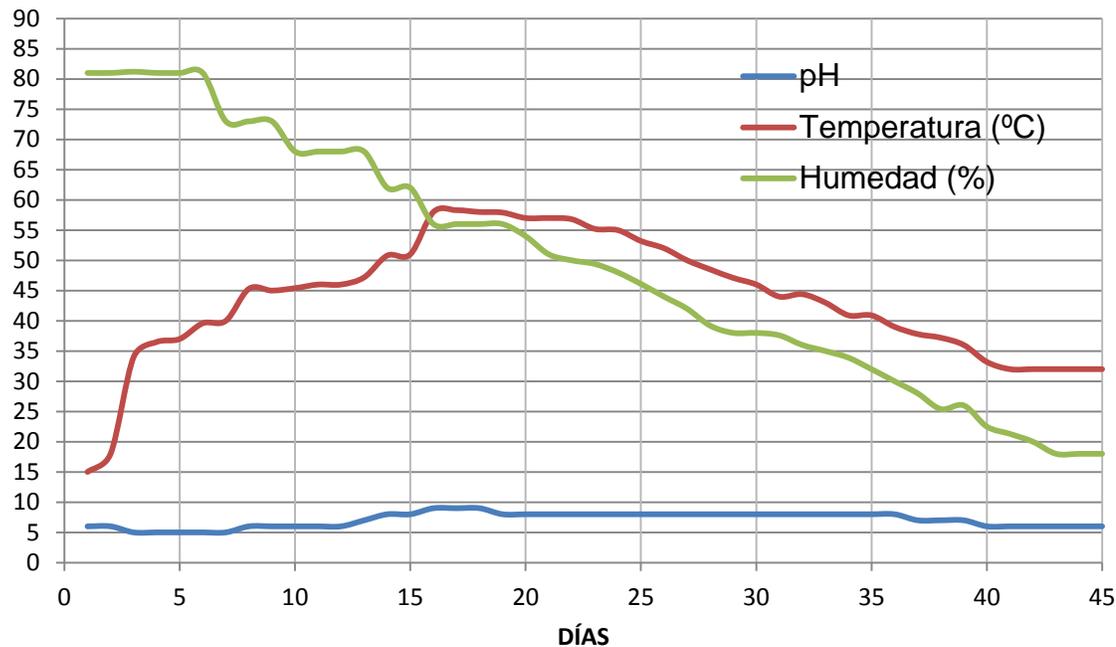
El género *Azotobacter spp.*, presentó valores menores al límite detectable cuando se realizó el análisis por el método cuantitativo. Sin embargo, fue detectado por el método tres (presencia / ausencia) en la muestra que se tomó del caldo de cultivo microbiano elaborado en la planta de producción (Ver tabla 16).

## 7.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

### 7.2.1 Determinación de los tiempos de muestreo del abono PALM-MIXTEX

Con los registros de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH y humedad (%) en los lotes de 2000 sacos se determinó el tiempo de almacenaje del abono PALM-MIXTEX. Este tiempo de almacenaje coincide con el proceso de compostaje el cual, demoró 45 días para cumplir con las etapas latencia, mesofílica, termofílica y de maduración, propias de un proceso de compostaje (Ver gráfica 1).

**Gráfica 1. Curva de temperatura, pH y humedad del abono PALM-MIXTEX**



En la gráfica 1 se aprecian las diferentes etapas de cambio de temperatura, pH y humedad que sufre el abono PALM-MIXTEX hasta alcanzar su maduración a los 45 días. Cada una de las líneas en la gráfica, coinciden con las etapas del compostaje, las cuales, ocurren al abono estibado en lotes de 2000 sacos. En los dos primeros días la temperatura alcanza un valor de  $18^{\circ}\text{C}$ , pH 6 y la humedad se ubica en el 85%, lo cual, corresponde a la etapa de latencia del proceso de

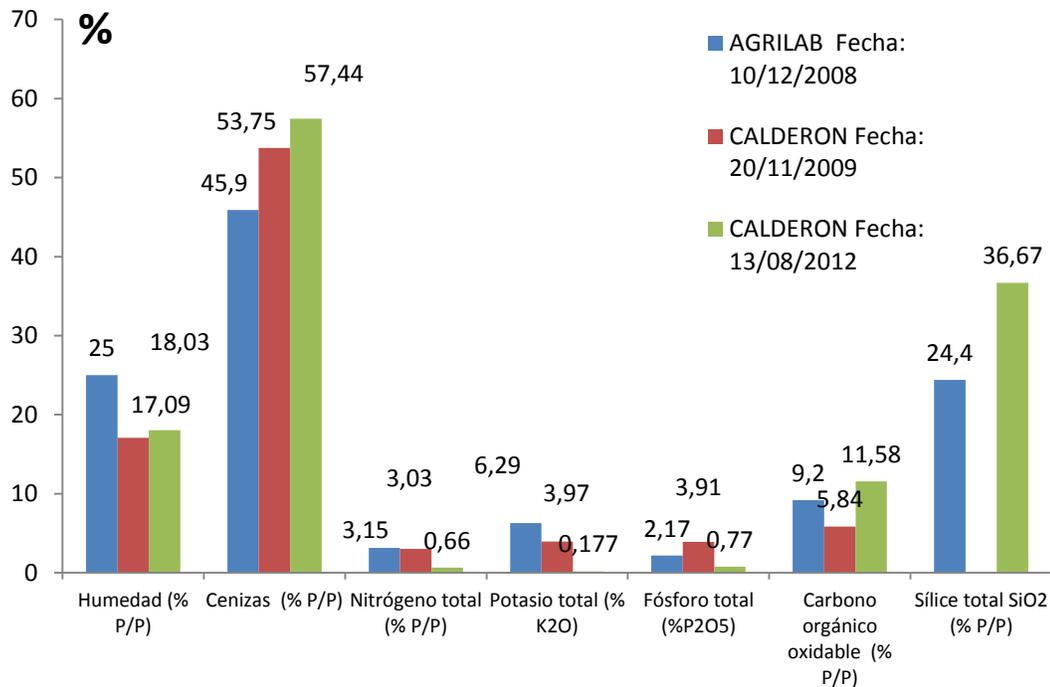
compostaje. A partir del tercer día hasta el séptimo día, la temperatura subió a 40°C con pH 5 y la humedad alcanza el 73%. En estos cinco días descritos se alcanzó la etapa mesofílica. Luego, del día ocho al diecisiete la temperatura sube de 40°C a 58,3°C, siendo éste el máximo valor de temperatura registrado. A su vez, el pH se mueve de 5 a 7 y la humedad desciende del 73% al 56%, considerándose estos eventos la etapa termofílica. Del día dieciocho hasta el día treinta y cuatro la temperatura baja gradualmente y alcanza los 41°C entrando el proceso de compostaje a la segunda fase mesofílica con pH 8 y la humedad con un valor del 35%. Finalmente, a partir del día treinta y cinco se inicia la etapa de maduración del abono PALM-MIXTEX. Del día treinta y cinco hasta el día cuarenta la temperatura sigue descendiendo y registra un valor de 33°C a pH 6 y una humedad del 22,5%. Del día cuarenta y uno al día cuarenta y cinco, el proceso maduración sigue su rumbo y la temperatura se vuelve constante registrando valores de 32°C, el pH y humedad se estabilizan en 6 y 18% respectivamente.

### **7.2.2 Protocolo toma de muestra**

**7.2.3 Búsqueda de registros y caracterizaciones físico-químicas** Los resultados físico-químicos realizados en los años 2008 y 2009, previos a la ejecución del proyecto evidencian las diferencias que existen en parámetros como pH, humedad, cenizas, potasio, fósforo, relación carbono – nitrógeno y el carbono orgánico oxidable (Ver tabla 17).

Tres años después, con la ejecución del presente proyecto se realizó un análisis físico-químico preliminar en el año 2012 y se observó que el producto nuevamente difirió en su composición con respecto a los valores físico-químicos encontrados en los registros de los años 2008 y 2009 como lo muestra la gráfica 2.

**Gráfica 2. Comparación de los análisis físico-químicos realizados en los años 2008, 2009 y 2012 al abono PALM-MIXTEX**



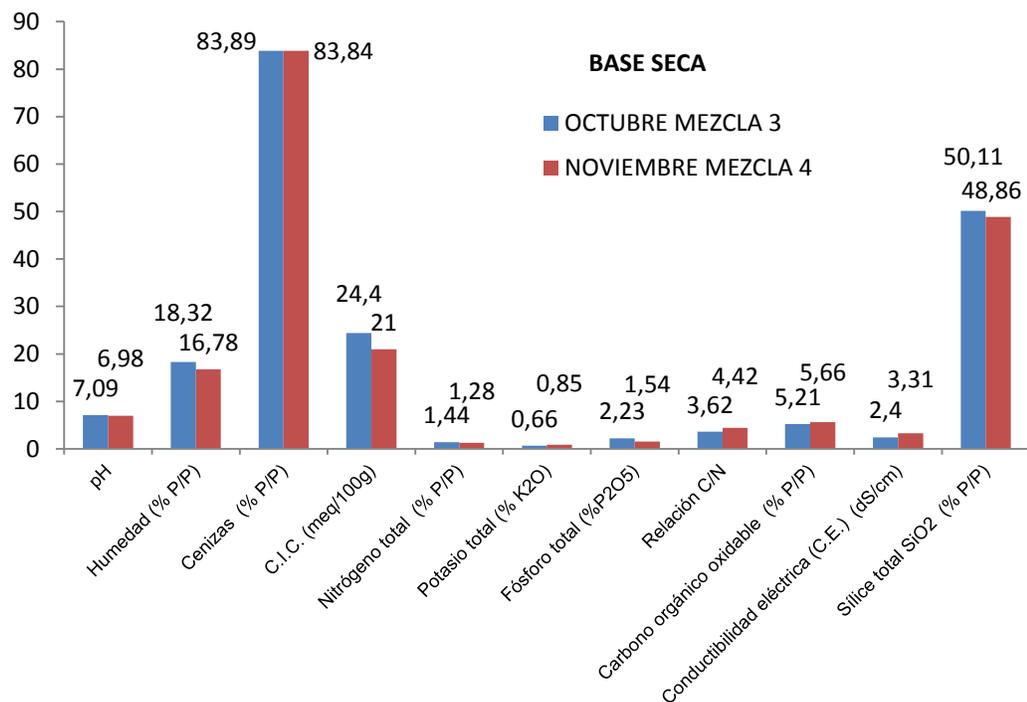
En la gráfica 2 se observa las diferencias que existen en los análisis físico-químicos realizados en los años 2008, 2009 y 2012 al abono PALM-MIXTEX. Los parámetros capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y nitrógeno total ( $N_T$ ) en los años 2008 y 2009 fueron muy cercanos, pero, difieren con respecto a los parámetros obtenidos en el año 2012 en 13 meq/100g y 2,43 %, respectivamente. Otros parámetros como potasio, fósforo, relación carbono-nitrógeno, carbono orgánico oxidable y el contenido de silicio variaron significativamente en todos los análisis realizados en los años mencionados.

## 7.2.4 Pruebas de homogenización

**7.2.4.1 Preparación de mezclas en base húmeda y base seca** Los resultados físico-químicos obtenidos en las mezclas de la tabla 17 reportados en base

húmeda y base seca, muestran valores bajos de nitrógeno, fósforo y potasio si los comparamos con los valores obtenidos en años anteriores 2008 y 2009. Sin embargo, los resultados en las mezclas 1 y 2 correspondientes a los lotes de octubre y noviembre del 2012 en base húmeda al igual que las mezclas 3 y 4 correspondientes a los lotes de octubre y noviembre del 2012 en base seca presentan valores muy cercanos entre sí, es decir, tienen un comportamiento más homogéneo en su composición físico-química de un lote al siguiente. En los resultados obtenidos podemos observar claramente que todas las mezclas analizadas presentaron diferencias mínimas tanto en base húmeda como en base seca en lo que refiere a su composición físico-química (Ver gráficas 3 y 4)

**Gráfica 3. Comparación de los resultados físico-químicos en base húmeda del abono PALM-MIXTEX**

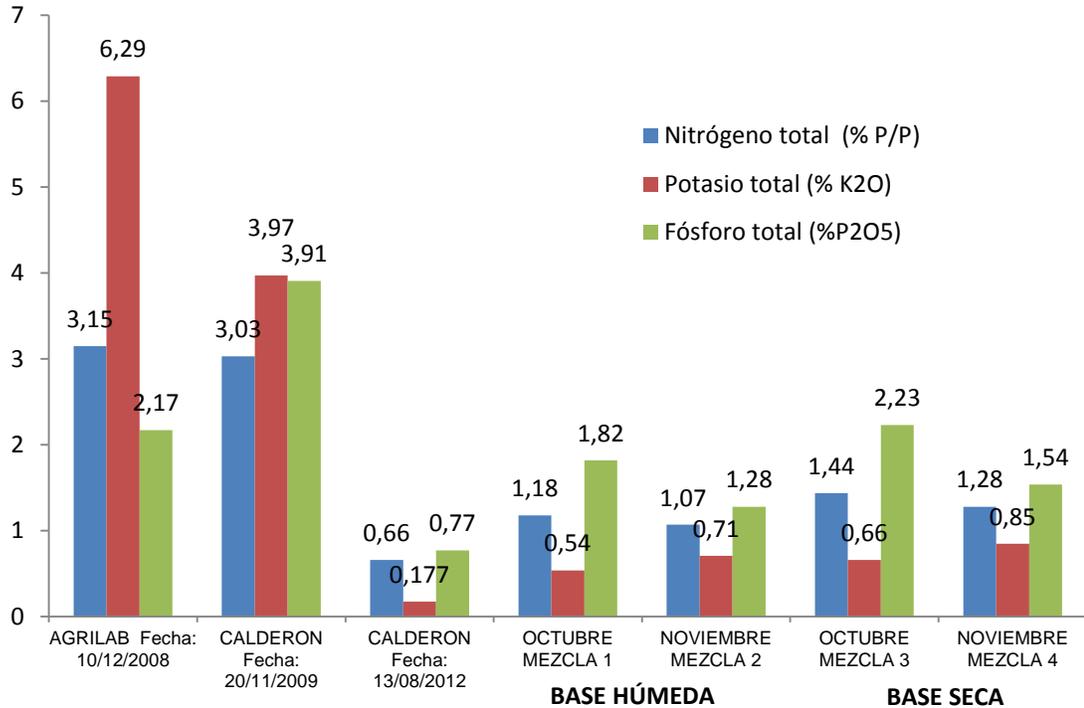


#### **Gráfica 4. Comparación de los resultados físico-químicos en base seca del abono PALM-MIXTEX**

En los resultados que se muestran en las gráficas 3 y 4 se observa la homogeneidad que existe entre los parámetros físico-químicos analizados en dos lotes de producción, uno preparado en octubre del 2012 y otro en noviembre del mismo año. Las mezclas 1 y 2 en base húmeda en estos dos lotes muestran valores muy cercanos de pH, silicio, carbono orgánico oxidable, capacidad de intercambio catiónico y cenizas. Otros parámetros como conductibilidad eléctrica, fósforo como  $P_2O_5$ , la relación carbono – nitrógeno C/N, potasio como  $K_2O$ , nitrógeno total y la humedad muestra diferencias mínimas en los resultados. Las mezclas 3 y 4 en base seca en los dos lotes muestran valores muy cercanos de pH, cenizas, nitrógeno total, potasio, fósforo y carbono orgánico oxidable. Además, presenta pequeñas diferencias en parámetros como capacidad de intercambio catiónico, relación carbono-nitrógeno, conductibilidad eléctrica y silicio.

Cuando se produce el abono PALM-MIXTEX de forma controlada, pesando exactamente los componentes de la mezcla y evitando las pérdidas en el proceso, se obtiene un producto fisicoquímicamente homogéneo. Lo anteriormente dicho se evidencia cuando se comparan los resultados físico-químicos obtenidos en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas. Nótese estas diferencias en las gráficas 5 a la 8.

**Gráfica 5. Comparación de los valores obtenidos de NPK obtenidos en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas**



En la gráfica 5 son evidentes las diferencias marcadas de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) en los análisis físico-químicos realizados en el año 2008, 2009 y 2012. Para el caso del nitrógeno en el año 2008 se reportó un valor de 3,15%, en el 2009 el valor registrado fue de 3,03% los cuales son valores muy cercanos, pero tres años después, el año 2012 el valor registrado de nitrógeno fue de 0,66% lo que deja ver una diferencia abismal en este macronutriente. El análisis del fósforo muestra resultados aún más distantes que los del nitrógeno, en todos los años se presentan diferencias significativas. Para el año 2008 el valor encontrado fue de 2,17% de  $P_2O_5$ , en 2009 se reportó un valor de 3,91% de  $P_2O_5$  y en el 2012 el valor encontrado fue de 0,77% de  $P_2O_5$ . Finalmente, el potasio presenta un comportamiento muy parecido al del fósforo, pero con diferencias aún más marcadas. En la gráfica 5 también se evidencian diferencias entre los macronutrientes NPK de la mezclas 1 y 2, y los valores encontrados de

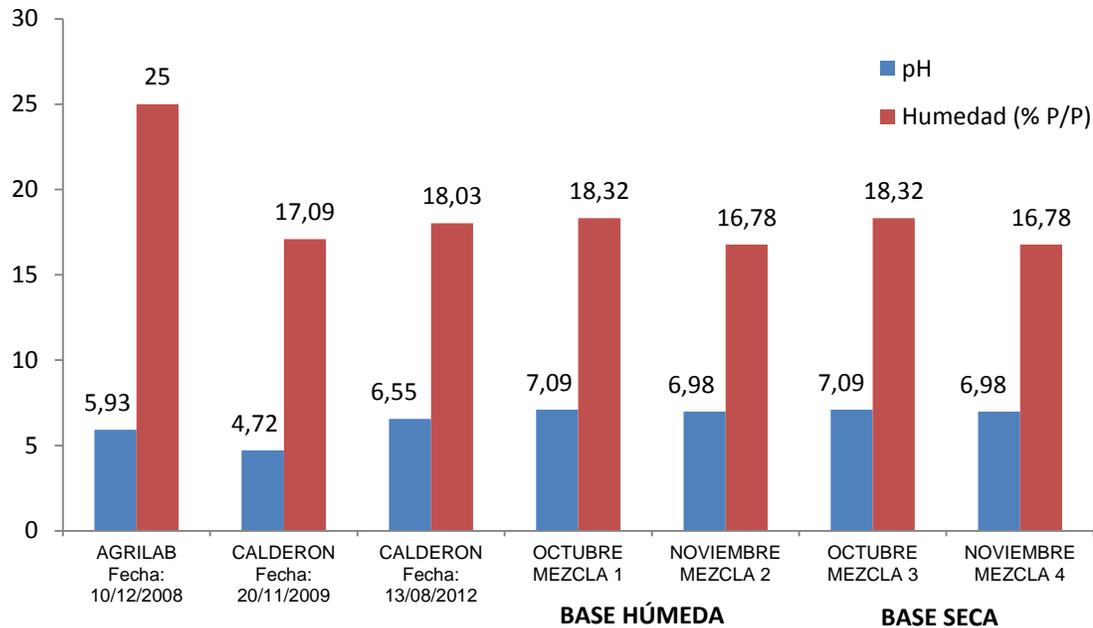
macronutrientes son muy cercanos. Para el caso del nitrógeno en las mezclas 1 y 2 el valor reportado fue de 1,18% y 1,07% en base húmeda. El fósforo reportado fue de 1,82%  $P_2O_5$  y 1,28%  $P_2O_5$  en base húmeda. Por su parte, el potasio registro valores de 0,54%  $K_2O$  y 0,71%  $K_2O$  en base húmeda. Las mezclas 3 y 4 analizadas en base seca presentan el mismo comportamiento.

**Tabla 17. Análisis físico-químicos del abono PALM – MIXTEX en diferentes lotes de producción.**

ANÁLISIS PRELIMINARES / PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	BASE HUMEDA			ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS LOTES PRODUCCIÓN FECHA 18/01/2013 / PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	BASE HUMEDA		BASE SECA	
	AGRILAB Fecha: 10/12/2008	CALDERON Fecha: 20/11/2009	CALDERON Fecha: 13/08/2012		CALDERON MEZCLA 1 LOTE OCTUBRE	CALDERON MEZCLA 2 LOTE NOVIEMBRE	CALDERON MEZCLA 3 LOTE OCTUBRE	CALDERON MEZCLA 4 LOTE NOVIEMBRE
pH	5,93	4,72	6,55	pH	7,09	6,98	7,09	6,98
Humedad (% P/P)	25	17,09	18,03	Humedad (% P/P)	18,32	16,78	18,32	16,78
Cenizas (% P/P)	45,9	53,75	57,44	Cenizas (% P/P)	68,52	69,77	83,89	83,84
C.I.C. (meq/100g)	26,3	28,85	14,59	C.I.C. (meq/100g)	16,66	17,48	24,4	21
Nitrógeno total (% P/P)	3,15	3,03	0,66	Nitrógeno total (% P/P)	1,18	1,07	1,44	1,28
Potasio total (% K <sub>2</sub> O)	6,29	3,97	0,177	Potasio total (% K <sub>2</sub> O)	0,54	0,71	0,66	0,85
Fósforo total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2,17	3,91	0,77	Fósforo total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,82	1,28	2,23	1,54
Relación C/N	3	1,92	17,66	Relación C/N	3,62	4,42	3,62	4,42
Carbono orgánico oxidable (% P/P)	9,2	5,84	11,58	Carbono orgánico oxidable (% P/P)	4,26	4,71	5,21	5,66
Conductibilidad eléctrica (C.E.) (dS/cm)	3,26	3,56	3,19	Conductibilidad eléctrica (C.E.) (dS/cm)	2,4	3,31	2,4	3,31
Sílice total SiO <sub>2</sub> (% P/P)	24,4		36,67	Sílice total SiO <sub>2</sub> (% P/P)	40,93	40	50,11	48,86
Contenido de materia orgánica				Contenido de materia orgánica				

En la tabla 17 se muestra diferentes análisis físico-químicos realizados al abono PALM-MIXTEX. En la izquierda aparecen los resultados correspondientes a los años 2008 y 2009 encontrados en la búsqueda de información previa a la ejecución de este proyecto. Además, un análisis en el año 2012 realizado después de 45 días de almacenamiento. En la derecha se muestra un análisis comparado entre dos mezclas en base húmeda y seca, las cuales corresponden a dos lotes de producción diferentes.

**Gráfica 6. Comparación de los valores obtenidos de pH y humedad en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas**

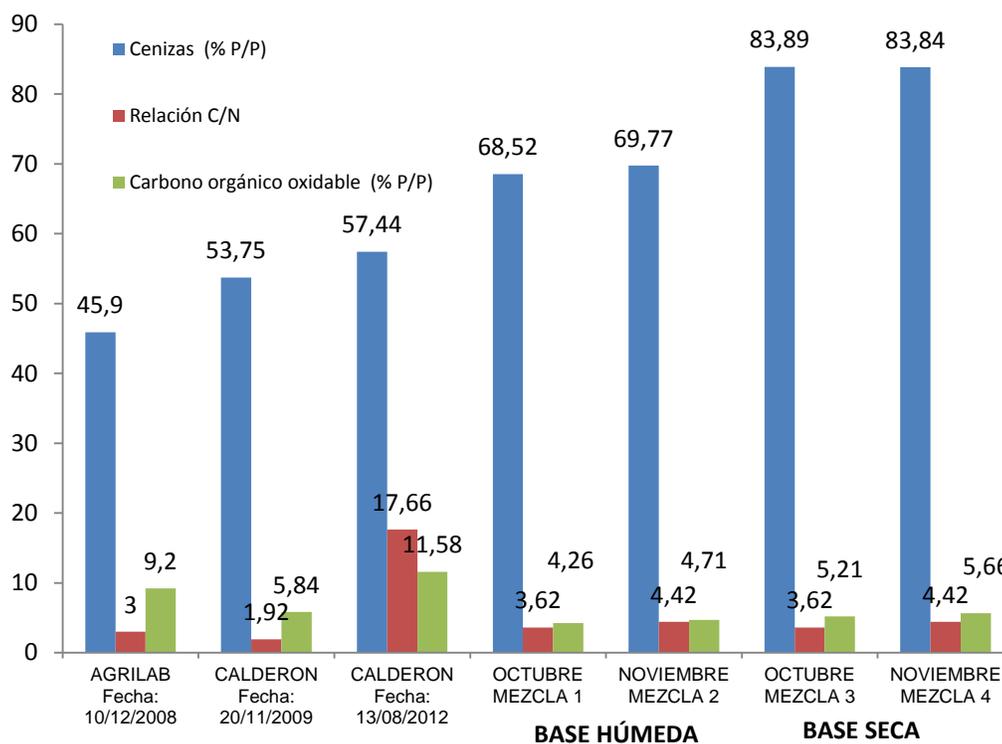


Los resultados presentados en la gráfica 6 muestran las diferencias de pH y humedad en los análisis físico-químicos correspondientes a los años 2008, 2009 y 2012. El pH para estos años presentó un rango de 4,72 a 6,55 lo que representa una diferencia de 1,83 “puntos” de pH. Por el lado de las mezclas, la mezcla 1 (pH 7,09) y la mezcla 2 (pH 6,98) analizadas en base húmeda presentaron diferencias mínimas de pH (0,11 “puntos”). En las mezclas 3 y 4 analizadas en base seca se obtuvieron los mismos valores de las muestras 1 y 2.

Los resultados de humedad de los años 2009 y 2012 que se muestran en la gráfica 6 presentaron diferencias mínimas en los valores reportados, estos corresponden a 17,09 y 18,03 respectivamente. Sin embargo, en el año 2008 el valor obtenido fue de 25 lo cual, difiere considerablemente de los años 2009 y 2012. Para el caso de las mezclas 1 y 2 los valores registrados de pH en base húmeda son 18,32 y 16,78 respectivamente. Los resultados de la mezcla 3 y 4

analizados en base seca son exactamente iguales a los de las mezclas 1 y 2. La diferencia en los valores de humedad entre los lotes de octubre y noviembre radica en las horas de exposición de los lodos al sol para realizar el secado. Seguramente, los lodos que integraron la mezcla del lote correspondiente al mes de noviembre fueron expuestos al secado solarizado más tiempo que los lodos del lote de octubre.

**Gráfica 7. Comparación de los valores obtenidos de cenizas, relación carbono – nitrógeno y carbono orgánico oxidable en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas**



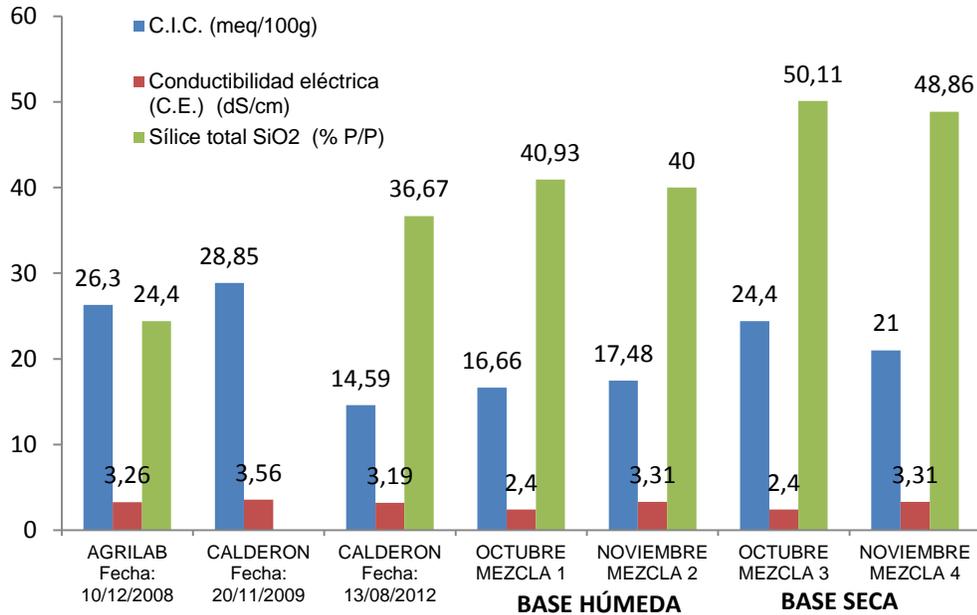
En la gráfica 7 se observa la diferencia que existe en los análisis de cenizas, relación carbono nitrógeno (C/N) y carbono orgánico oxidable para los años 2008, 2009 y 2012. En el caso de las cenizas, las diferencias están en la cantidad de cascarilla pirolisada y cenizas provenientes de la planta extractora de aceite de palma que se aportan en la formulación del abono PALM-MIXTEX. El carbono

orgánico oxidable presenta diferencias marcadas, el valor para el año 2008 fue de 9,2%; en el año 2009 de 5,84% y en el año 2012 el valor encontrado fue de 11,58%. Estas diferencias radican en la cantidad de raquis aportado durante la formulación del abono, debido a que esta materia prima es la que presenta la mayor cantidad de carbono orgánico oxidable superando ampliamente las demás materias primas que ingresan en la formulación. En este caso, el abono analizado en el año 2012 contiene en su formulación mayor contenido de raquis que los abonos formulados en los años 2008 y 2009. Las diferencias que se presentan en la relación carbono-nitrógeno se debe a la cantidad de lodos y raquis aportados a la mezcla durante la formulación del abono, estas dos materias primas son las que aportan mayor contenido de carbono y nitrógeno (Ver tabla 22).

Los resultados de cenizas, relación carbono-nitrógeno y carbono orgánico oxidable en las mezclas 1, 2, 3 y 4 muestran una homogeneidad marcada en la formulación.

En este caso el aporte de las materias primas, principalmente raquis y lodos fue aproximadamente el mismo en los lotes de octubre y noviembre.

**Gráfica 8. Comparación de los valores obtenidos de capacidad de intercambio catiónico, conductibilidad eléctrica y sílice en el abono PALM-MIXTEX en los años 2008, 2009 y 2012 versus las mezclas**



En la gráfica 8 se observa la diferencia que existe en los análisis correspondientes a la capacidad de intercambio catiónico, conductibilidad eléctrica y contenido de sílice para los años 2008, 2009 y 2012. La capacidad de intercambio catiónico y la conductibilidad eléctrica están relacionadas con la salinidad del producto, y las diferencias encontradas en estos años que no son muy amplias en el 2008 y 2009, pero si en el año 2012, se deben a las cantidades de elementos como calcio, magnesio, potasio y sodio aportados en las materias primas, exceptuando la roca fosfórica y la cal magnesiana. Para el caso de las mezclas en base húmeda y seca, los valores de conductibilidad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico estuvieron muy cercanos en los lotes de producción de octubre y noviembre.

Con relación al contenido de sílice como SiO<sub>2</sub>, se puede observar en la gráfica 7 diferencias marcadas en la formulación del abono de los años 2008 (24,4% de SiO<sub>2</sub>), para el año 2009 no se registró y en el año 2012 (36,67% de SiO<sub>2</sub>) se

presentó el mayor valor. En las mezclas de los lotes de octubre y noviembre en base húmeda y seca respectivamente, los valores de sílice como porcentaje de SiO<sub>2</sub> son muy cercanos. La diferencia en los valores registrados de sílice obedece a la cantidad de lodos aportada en la formulación del abono PALM –MIXTEX en los diferentes años de producción.

**7.2.4.2 Cuantificación de pérdidas durante el proceso** Después de pesar con exactitud 300 kilogramos de lodos; 100 kilogramos de raquis; 45 kilogramos de cascarilla; 25 kilogramos de cenizas provenientes de las calderas de la planta de extracción de aceite de palma; 15 kilogramos de roca fosfórica y 15 kilogramos de cal magnesiana, se calcularon las pérdidas como se muestra en la figura 15 y la tabla 18. De los 100 kilogramos de raquis que ingresaron a la primera fase del proceso, la molienda (equipos del 1 al 4 en la figura 15), se obtuvieron 95,35 kilogramos al final de la misma. La pérdida calculada fue de 4,65 kilogramos de raquis, que ahora se encuentra molido. (ver tabla 18)

La segunda fase del proceso (equipos 5 y 6 en figura 15), contempla la mezcla y molienda de 22,5 kilogramos de cascarilla y 21,5 kilogramos de cascarilla tostada más el raquis que fue previamente molido (95,35 kg) para un total de 139,35 kilogramos de mezcla. Para tostar la cascarilla se pasaron 22,5 kilogramos de cascarilla “cruda” por el pirotubo (fase 4, equipo 11 en la figura 15) y se perdió 1 kilogramo, para un total de 21,5 kilogramos de cascarilla tostada, que es la que ingresó a la segunda fase. Al final de la segunda fase se recuperaron 78,23 kilogramos de raquis, 18,46 kilogramos de cascarilla y 17,64 kilogramos de cascarilla tostada para un peso total de 114,35 kilogramos. Es decir, que en la segunda fase se perdieron 25 kilogramos (139,35 ingresan – 114,35 salen). De los 25 kilogramos perdidos, proporcionalmente 17 Kilogramos son raquis; 4,5 kilogramos cascarilla y 3,5 kilogramos cascarilla tostada. (ver tabla 18)

En la tercera fase del proceso (equipos 7 y 8 en la figura 15), se mezclaron 25 kilogramos de cenizas, 15 kilogramos de roca fosfórica, 15 kilogramos de cal magnesiana más la mezcla obtenida en la segunda fase del proceso, es decir, 78,23 kilogramos de raquis, 18,46 kilogramos de cascarilla, 17,64 kilogramos de cascarilla tostada más 300 kilogramos de lodos para un total de mezcla de 469,33 kilogramos. Finalizada la tercera fase se recuperaron 285,2 kilogramos de lodos, 74,5 kilogramos de raquis, 17,6 kilogramos de cascarilla, 16,8 kilogramos de cascarilla tostada, 23,8 kilogramos de cenizas, 14,3 kilogramos de roca fosfórica y 14,3 kilogramos de cal magnesiana para un total de 447 kilogramos recuperados. En la tercera fase se perdieron 20 kilogramos distribuidos proporcionalmente así: 14,78 kilogramos son lodos; 3,3 kilogramos raquis; 0,79 kilogramos cascarilla; 0,75 kilogramos cascarilla tostada; 1,07 kilogramos cenizas; 0,64 kilogramos roca fosfórica y 0,64 kilogramos cal magnesiana. (ver tabla 18)

**Tabla 18. Fases de proceso en las que ocurren pérdidas de materias primas y producto PALM-MIXTEX**

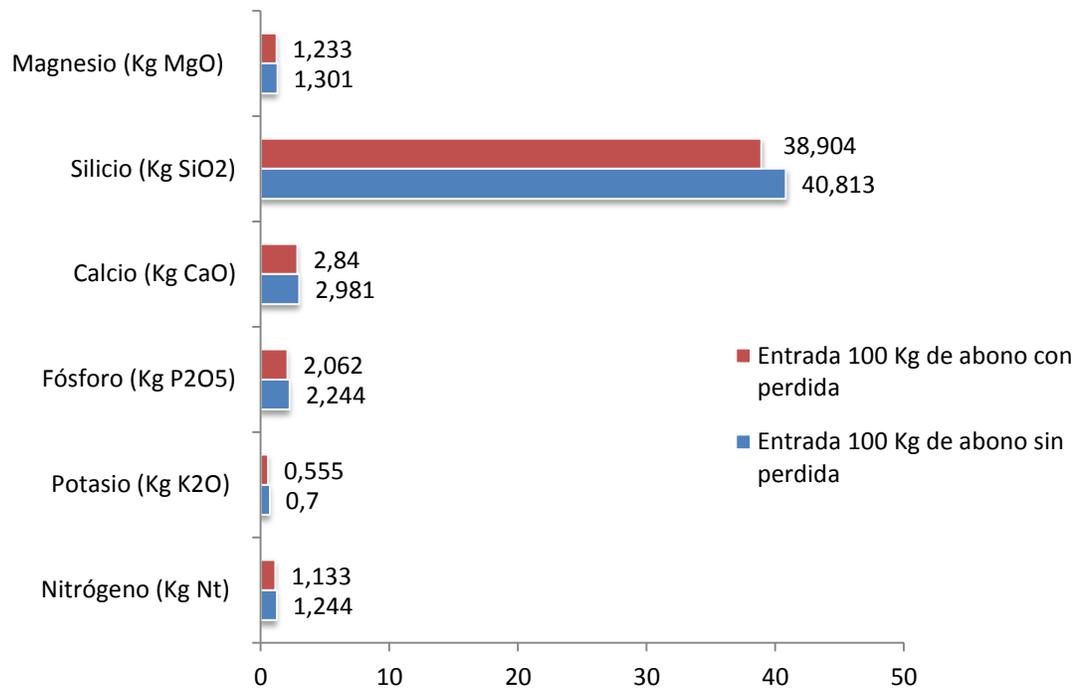
<b>FASES</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>PÉRDIDAS</b>	<b>EQUIPOS</b>	
<b>1</b>	<b>Molienda de 100 Kg de raquis</b>	<b>4,65 Kg raquis</b>	<b>1</b> Tolva para raquis	
			<b>2</b> Transportador de banda No. 1	
			<b>3</b> Molino No. 1	
			<b>4</b> Molino No. 2	
<b>2</b>	<b>Mezcla y molienda</b>	<b>25 Kg así</b>	<b>5</b> Transportador de tornillo No. 1	
			22,5 Kg cascarilla	<b>6</b> Molino No. 3
			21,5 Kg de cascarilla tostada	
			95,35 Kg de raquis	
	4,5 Kg cascarilla	3,5 Kg cascarilla tostada		
<b>3</b>	<b>Mezcla</b>	<b>20 Kg así</b>	25 Kg cenizas	
			15 Kg roca fosfórica	1,07 Kg cenizas
				0,64 Kg roca

FASES	ACTIVIDAD	PÉRDIDAS	EQUIPOS
		fosfórica	
	15 Kg cal magnesiana	0,64 Kg cal magnesiana	7 Transportador de tornillo No. 2
	78,23 Kg raquis	3,3 Kg raquis	8 Transportador de tornillo No. 3
	18,46 Kg cascarilla	0,79 Kg cascarilla	
	17,64 Kg cascarilla tostada	0,75 Kg cascarilla tostada	
	300 Kg de lodos	14,78 Kg de lodos	
4	<b>Pirolización 22,5 Kg cascarilla</b>	<b>1 Kg</b> cascarilla tostada	<b>11</b> Pirotubo
5	<b>Descarga de la mezcladora</b>	<b>22 Kg</b> producto	<b>9</b> Mezcladora
6	<b>Molienda final</b>	<b>6 Kg</b> producto	<b>15</b> Molino No. 4
<b>TOTAL 78,65 Kg</b>			

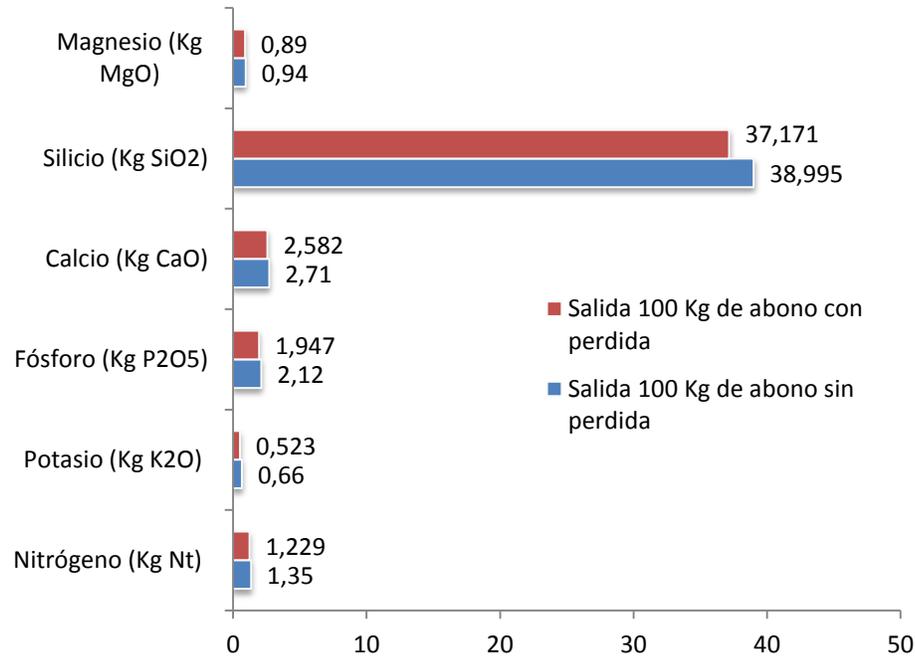
Después de la mezcladora, las pérdidas no afectan la formulación del abono PALM-MIXTEX, pero si influye directamente la producción mensual. Durante la descarga de la mezcladora (Equipo 9 en la figura 15) se pierden 22 kilogramos de abono y en el molino 4 (Equipo 15 en la figura 15) se pierden 6 kilogramos de abono. Al final de todo el proceso se pierden 78,5 kilogramos, lo que representa 2 sacos de abono de 40 kilogramos del abono PALM-MIXTEX.

Una vez calculadas las pérdidas en el proceso de fabricación del abono PALM-MIXTEX, se realizó la formulación del producto incluyendo las pérdidas y se comparó con la formulación sin incluir las pérdidas como se muestra en la tabla 19 y las gráficas 9 y 10.

**Gráfica 9. Elementos nutricionales de entrada en el abono PALM-MIXTEX con pérdidas y sin ellas**



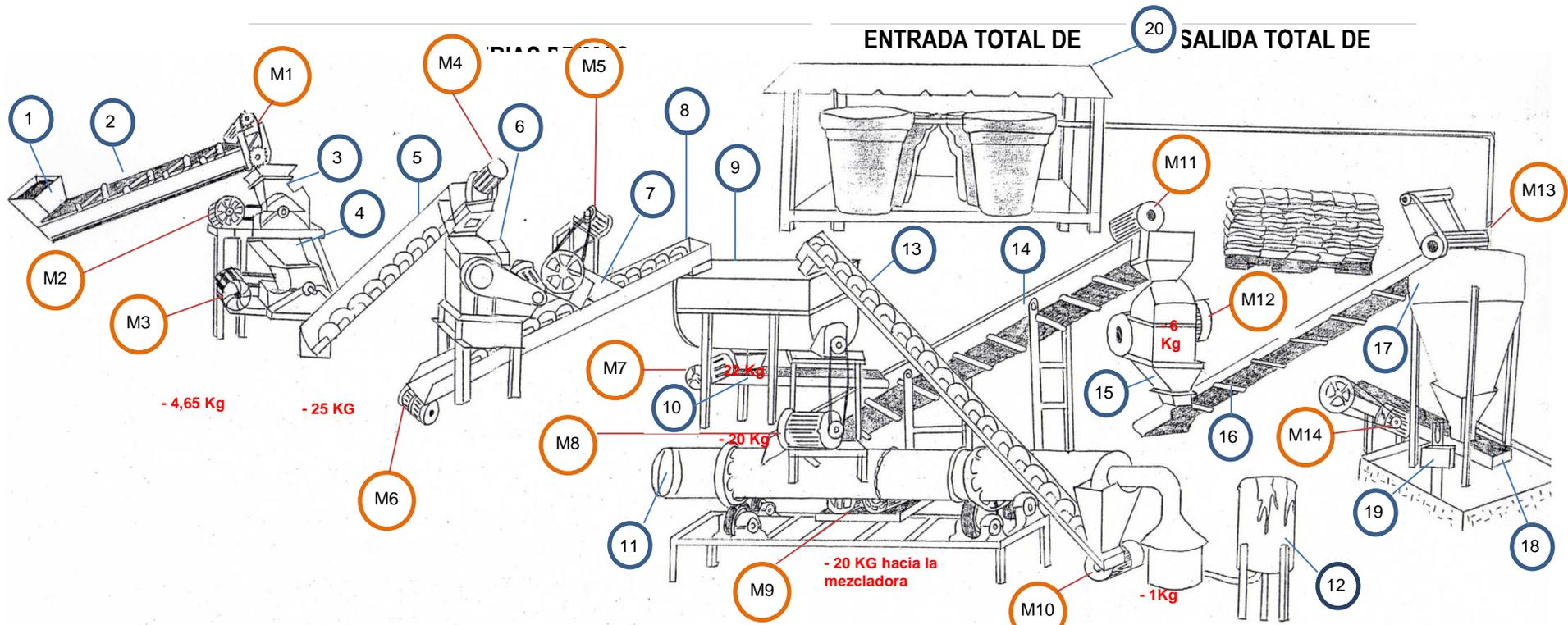
**Gráfica 10. Elementos nutricionales de salida esperados en el abono PALM-MIXTEX con pérdidas y sin ellas**



En la gráfica 9 se observa que las cantidades de raquis que se pierden (24,95 kg); los lodos (14,78 kg); la cascarilla (10,54 kg); las cenizas (1,07 kg); la roca fosfórica (0,64 kg) y la cal magnesiana (0,64 kg) hace que bajen los valores nutricionales de entrada en la formulación del abono PALM-MIXTEX en comparación con los valores de entrada de los elementos nutricionales en la formulación del abono PALM-MIXTEX sin pérdidas. Las diferencias en la cantidad de magnesio 0,068 kg; silicio 1,909 kg; calcio 0,141 kg; fósforo 0,182 kg; potasio 0,145 kg y nitrógeno 0,111 kg se reflejan en la composición físico-química del producto de un análisis físico-químico a otro.

En la gráfica 10 se evidencian las diferencias de elementos nutricionales esperadas del abono PALM-MIXTEX con pérdidas y sin ellas durante su formulación. Las cantidades de nutrientes bajan considerablemente cuando se presenta pérdidas de materias primas.

Tabla 19. Comparación físico-química del abono PALM-MIXTEX con pérdidas en el proceso y sin ellas



EQUIPO	#	MOTOR	HP	VOLTIOS	AMPERIOS	HERTZ
Tolva para raquis	1					
Transportador de banda No. 1	2	M1	4	220/440	142 / 71	60
Molino No. 1	3	M2	20	220 /440	52 / 26	60
Molino No. 2	4	M3	20	220/440	52 / 26	60
Transportador de tornillo No. 1	5	M4	4	220/440	8,58 / 429	60
Molino No. 3	6	M15	30	220/440	35,2	60
Transportador de tornillo No. 2	7	M5	4	220/440	8,58 / 429	60
Transportador de tornillo No. 3	8	M6	4	220/440	8,58 / 429	60
Mezcladora	9	M8	15	220/440	35,2	60
Transportador de banda No. 2	10	M7	0,5	220/440	8,58 / 429	60

EQUIPO	#	MOTOR	HP	VOLTIOS	AMPERIOS	HERTZ
Pirutubo	11	M9	3	220/440	8,58 / 429	60
Tanque de combustible	12					
Transportador de tornillo No. 4	13	M10	4	220/440	8,58 / 429	60
Transportador de banda No. 3	14	M11	2	220/440	8,58 / 429	60
Molino No. 4	15	M12	25	220/440	52 / 26	60
Transportador de banda No. 4	16	M13	2	220/440	8,58 / 429	60
Tolva de empaque	17					
Transportador de banda No. 5	18	M14	0,75	220/440	8,58 / 429	60
Balanza electrónica	19					
Planta microorganismos	20					

ELEMENTOS	Cascarilla	Raquis	Lodos	Cenizas de las calderas	Roca fosfórica	Cal agrícola	en 100 Kg	en 100 Kg	en 100 Kg	en 100 Kg
	tostada y molida	picado					de abono sin perdida	de abono con perdida	de abono sin perdida	de abono con perdida
Nitrógeno (%P/P Nt )	0,8	1,16	1,5	0,8	0	0	1244 g Nt	1133 g Nt	1350 g Nt	1229,5 g Nt
Potasio (% P/P K2O)	0,5	2,6	0,05	2,1	0	0	700 g K2O	555,7 g K2O	660 g K2O	523,9 g K2O
Fósforo (%P/P P2O5)	2,86	1,15	0,72	2,5	40	0	2244,4 g P2O5	2062,3 g P2O5	2120 g P2O5	1947,9 g P2O5
Calcio (%P/P CaO)	0,36	0,15	0,57	1,74	30	53	2981,4 g CaO	2840,6 g CaO	2710 g CaO	2582 g CaO
Silicio (%P/P SiO2)	10,56	0,67	60,2	51,3	20	14,8	40813,4 g SiO2	38904,5 g SiO2	38995 g SiO2	37171 g SiO2
Magnesio (%P/P MgO)	0,19	0,22	0,19	1,52	0	35	1301,1 g MgO	1233,2 g MgO	940 g MgO	890,9 g MgO
Porcentaje de materias primas	9%	20%	60%	5%	3%	3%				
Porcentaje de materias primas con perdidas	7,29%	15%	57,44%	4,79%	2,87%	2,87%				

En la tabla 19. En la fila de abajo y en color azul se muestran los porcentajes utilizados de materias primas para la formulación del abono según lo estipulado en la forma ICA 3-894. En las columnas azules están los resultados correspondientes a las entradas y salidas de los elementos nutricionales en 100 kilogramos de abono PALM-MIXTEX sin incluir las pérdidas. En la fila de abajo y en color naranja se muestran los porcentajes utilizados de materias primas con las pérdidas incluidas del proceso; y en las columnas del mismo color, los resultados correspondientes a los elementos nutricionales que entran y salen en 100 kilogramos.

**7.2.4.3 Pérdidas de materias primas con base a la cantidad en peso que puede contener una carretilla** Para producir 2000 sacos al mes, se utilizan 48 carretillas cargadas con cascarilla; 320 con raquis; 960 con lodos y 96 carretillas cargadas con cenizas. La roca fosfórica y la cal magnesiana no se dosifican con carretillas, puesto que vienen empacadas en sacos de 50 kilogramos. Por tal razón, no se presentan pérdidas durante el proceso.

Las diferencias de peso encontradas en cada uno de las materias primas que son transportadas en carretillas obedecen a dos causas principales: La primera, es humedad con las que ingresan las materias primas, por ejemplo, lodos se secan extendiéndolos en un patio de secado. La pérdida de humedad dependerá de varios factores como la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los lodos y la homogeneidad con la cual se extendieron los lodos.

La segunda causa, radica en la corpulencia de los obreros que transportan las carretillas, aquellos que son más corpulentos pueden transportar mayor cantidad de materias primas en la carretilla y los menos corpulentos transportarán menos.

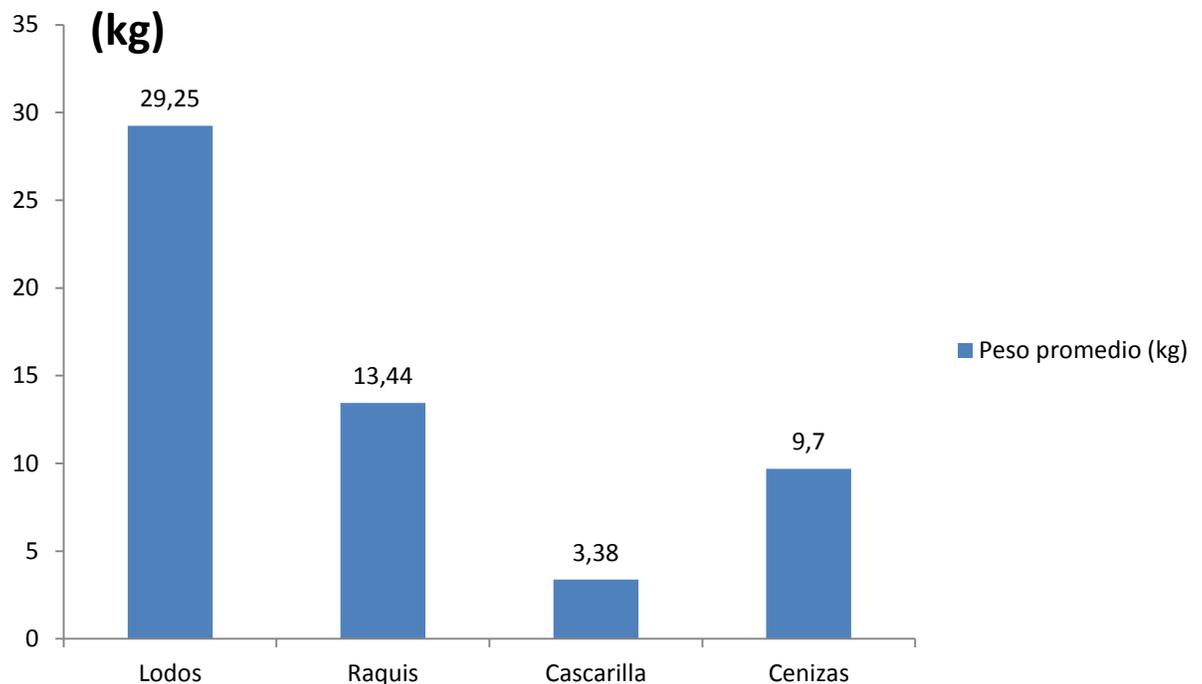
Siempre que existan pérdidas o diferencias de peso en las materias primas que se formulan en el producto, se espera que las características físico-químicas del

abono orgánico mineral PALM-MIXTEX, sufran cambios en su composición. En la tabla 20 se muestra la diferencia de peso encontradas durante el transporte de materias primas en carretillas. Todas las carretillas con materias primas pesadas presentaron diferencias en peso como se observa en la gráfica 11.

**Tabla 20. Diferencia de peso en las carretillas cargadas con materias primas utilizadas en la formulación del abono**

<b>PESOS</b>	<b>Lodos Kg</b>	<b>raquis picado Kg</b>	<b>cascarilla Kg</b>	<b>cenizas Kg</b>
carretilla uno	146,5	58,6	58,8	99,2
carretilla dos	112,7	43,5	55,2	99,2
carretilla tres	142,5	60,2	56,5	85,7
carretilla cuatro	139,2	42,8	57,9	98,4
carretilla cinco	102,9	57,4	59,1	106,8
carretilla seis	123,8	41,6	54,9	87,6
carretilla siete	146,8	50,6	60	100,4
carretilla ocho	101,8	45,4	52,3	98,8

**Gráfica 11. Diferencias promedios de peso de las carretillas con materia prima.**



En la gráfica 11 se observa la diferencia de peso que existe entre las carretillas cargadas con materias primas. En promedio, la diferencia de peso que existe es la siguiente: La principal diferencia de peso se presenta en los lodos con un valor de 29,6 kilogramos; luego, los raquis con 13,3 kilogramos; le sigue la cascarilla 3,9 kilogramos y las cenizas con un valor de 8,6 kilogramos.

En general, los lodos son el material de mayor peso, seguido por las cenizas, la cascarilla y el raquis picado. En esta prueba, para el caso de los lodos, que es el material que más pesa, la carretilla uno, tres, cuatro, y siete fueron transportadas por los dos obreros más corpulentos y las carretillas dos, cinco y ocho por los obreros menos corpulentos. Dicha fuerza se refleja en la cantidad de material que puede transportar en la carretilla y que afecta directamente la formulación del abono y las características físico-químicas del producto final.

**7.2.5 Formulación del abono PALM-MIXTEX** Las materias primas utilizadas para la formulación del abono PALM-MIXTEX, estas son: Cascarilla tostada y molida, raquis picados, lodos, cenizas de las calderas, roca fosfórica y cal magnesiana proporcionan los elementos nutricionales de entrada en la fase de mezcla de la siguiente manera: Los macronutrientes así: ingresan 1244 gramos de nitrógeno total, 2244,4 gramos de  $P_2O_5$  y 700 gramos de  $K_2O$  y en el producto final se obtienen 1350 gramos de nitrógeno total, 2120 gramos de  $P_2O_5$  y 600 gramos de  $K_2O$  respectivamente (Ver tabla 21 y figura 16).

Con respecto al fósforo aportado como  $P_2O_5$  y al potasio como  $K_2O$  vemos que hay una disminución en el producto final, pues los microorganismos consumen una parte de estos elementos para su metabolismo. En el caso de nitrógeno aparece más cantidad al final, esto se debe posiblemente, a la biomasa bacteriana aportada por los microorganismos que se inoculan cuando se está empacando el saco de abono en la tolva.

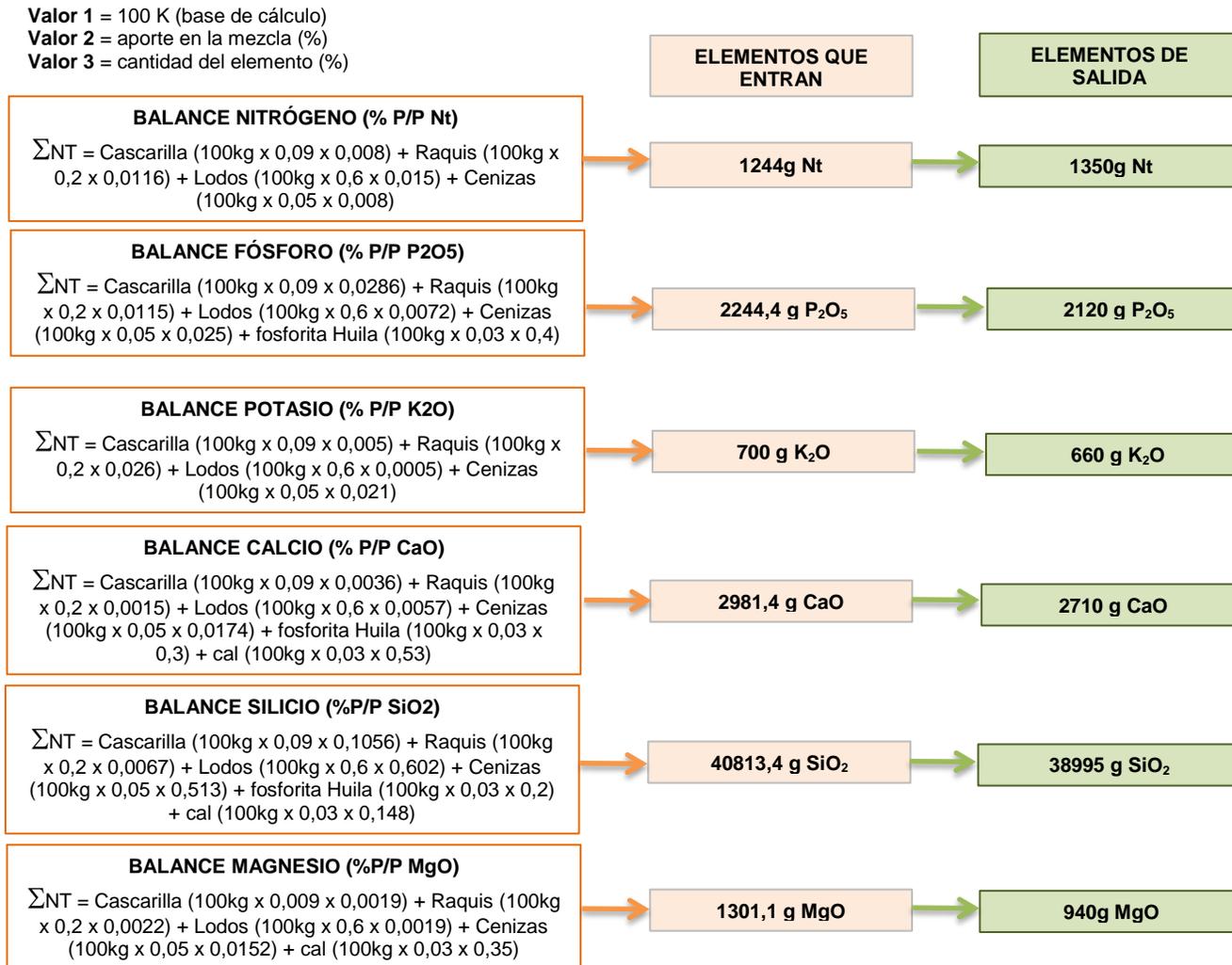
Los elementos secundarios aportados por las materias primas ingresan en las siguientes cantidades: 2981,4 gramos de calcio y 1301,1 gramos de magnesio. En el producto final se obtienen 2710 gramos de calcio como (CaO) y 940 gramos de magnesio como (MgO). Como se muestra en la figura 15, se consumen durante el proceso de maduración del producto 271,4 gramos de CaO y 361,1 gramos de MgO.

El micro elemento que reviste mayor importancia es el silicio, aportado por las materias primas como  $SiO_2$ . Ingresan 40813,4 gramos de  $SiO_2$  y se alcanza un valor de 38995 gramos de  $SiO_2$  en el producto final, para un consumo de 1818,4 gramos de este elemento.

**Tabla 21. Formulación de macronutrientes, silicio y elementos secundarios durante el proceso de producción del abono PALM-MIXTEX**

Fecha de caracterización 02/04/2013	ELEMENTOS QUE ENTRAN							Fecha de la mezcla 16/01/2013	Fecha de caracterización 29/05/2013	ELEMENTOS DE SALIDA
MATERIA PRIMA CARACTERIZACIÓN	Nitrógeno total (%P/P)	Potasio (% K <sub>2</sub> O P/P)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %P/P)	Calcio (CaO % P/P)	Silicio (SiO <sub>2</sub> %P/P)	Magnesio (MgO %P/P)	Porcentaje de materias primas	CARACTERIZACIÓN PRODUCTO TERMINADO	Valores	
Cascarilla tostada y molida	0,8	0,5	2,86	0,36	10,56	0,19	9%	Nitrógeno total (%P/P)	1,35	
Raquis picado	1,16	2,6	1,15	0,15	0,67	0,22	20%	Potasio (% K <sub>2</sub> O P/P)	0,66	
Lodos	1,5	0,05	0,72	0,57	60,2	0,19	60%	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %P/P)	2,12	
Cenizas de calderas	0,8	2,1	2,5	1,74	51,3	1,52	5%	Calcio (CaO % P/P)	2,71	
Roca fosfórica	0	0	40	30	20	0	3%	Silicio (SiO <sub>2</sub> %P/P)	40,21	
Cal agrícola	0	0	0	53	14,8	35	3%	Magnesio (MgO %P/P)	0,94	

**Figura 15. Representación del balance de macronutrientes, silicio y elementos secundarios durante el proceso de producción del abono PALM-MIXTEX**



**7.2.5.1 Caracterizaciones físico-químicas de las materias primas** En el año 2013, se realizaron caracterizaciones físico-químicas a las materias primas: Cascarilla tostada y molida, raquis picado, lodos y cenizas provenientes de las calderas de la planta extractora de palma de aceite. Todos estos análisis fueron realizados en un laboratorio de referencia. Además, se utilizó la información de las características físico-químicas del proyecto de etiquetado de la roca fosfórica en este caso, fosforita Huila y la cal magnesiana Río Claro. Los resultados de dichos análisis se encuentran registrados en la tabla 22.

**Tabla 22. Resultados de los análisis físico-químicos de las materias primas utilizadas en la formulación de abono PALM-MIXTEX**

<b>MATERIA PRIMA 02/04/2013</b>	Nitrógeno total (%P/P)	Potasio (% K <sub>2</sub> O P/P)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %P/P)	Carbono orgánico oxidable (%P/P)	C/N	pH	Conductibilidad eléctrica (dS/cm)	Húmeda (%P/P)	Cenizas (%P/P)	Capacidad de intercambio catiónico (meq /100 g)	Sílice SiO <sub>2</sub> % P/P	Calcio (CaO)	Magnesio (MgO)
Cascarilla													
tostada y molida	0,8	0,5	2,86	19,1	23,8	6,38	0,7	3,97	33,11	15,75	10,56	0,36	0,19
Raquis picado	1,16	2,6	1,15	40,5	34,9	6,58	5,48	8,93	6,23	10,93	0,67	0,15	0,22
Lodos	1,5	0,05	0,72	12,02	8,01	4,9	4,53	22,39	64,58	13,19	60,2	0,57	0,19
Cenizas de													
calderas	0,8	2,1	2,5	10,5	13,1	10,07	10,23	4,37	71,01	6,89	51,3	1,74	1,52
Fosforita Huila	0	0	40	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	20	40	0
Cal magnesiana	0	0	0	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	14,8	33	35

La tabla 22 muestra los resultados de los análisis realizados a las materias primas raquis picado y cascarilla tostada y molida en la planta de producción de la empresa PALM-MIXTEX, pero que provienen de la planta de extracción de aceite de palma al igual que los lodos y las cenizas de las calderas. Todos estos materiales fueron enviados un laboratorio de referencia durante la ejecución del presente proyecto y se constituyen la materia prima del abono, al igual que la fosforita Huila y la cal magnesiana, cuyos análisis fueron aportados por los respectivos distribuidores de dicho insumo agrícola.

### 7.2.5.2 Caracterización físico-química del producto abono PALM-MIXTEX

Después de realizar diferentes caracterizaciones físico-químicas, pesando con exactitud la cantidad de materias primas que ingresan al proceso de mezcla y evitando al máximo las pérdidas, podemos asegurar que el producto final, abono orgánico mineral sólido PALM-MIXTEX presenta los rangos físico-químicos que se muestra en la tabla 23. Estos valores serán en el futuro los que se deben cumplir en el proyecto de etiquetado exigido por el instituto Colombiano agropecuario (ICA) y la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004.

**Tabla 23. Parámetros físico-químicos definitivos del abono orgánico mineral sólido PALM-MIXTEX**

PARÁMETROS	RANGO	
	Valor mínimo	Valor máximo
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1	1,2
pH	6,98	7,09
Humedad (%)	14	15
Cenizas (%)	67	68
Pérdidas por volatilización (%)	16	17
Conductibilidad eléctrica (dS/m)	2,4	3,19
Nitrógeno total (%)	1,07	1,44
Potasio total (%K <sub>2</sub> O)	0,54	0,85
Fósforo total (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,28	2,23
Calcio total (% CaO)	2	3
Magnesio total (%MgO)	0,8	0,94
Silicio total (%SiO <sub>2</sub> )	40	45
Carbono orgánico oxidable total (%)	4,26	5,6
Residuo insoluble en ácido (%)	48,7	64,9

Los parámetros pH, nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, densidad aparente y conductividad eléctrica deben reportarse en la etiqueta del abono orgánico mineral sólido PALM-MIXTEX, sin importar el valor del parámetro.

Los micro elementos azufre, boro, cobre, manganeso, hierro, zinc, sodio y silicio deben reportarse siempre y cuando se supere el 2% en el análisis físico-químico del abono. En este caso el abono orgánico mineral sólido PALM-MIXTEX está obligado a reportar el silicio por su alto contenido en el producto (Ver tabla 23).

La humedad, cenizas y las pérdidas por volatilización son parámetros obligatorios que deben reportarse, y además, la suma de estos deberá ser del 100%. El carbono orgánico oxidable total que es de carácter obligatorio debe reportarse con un rango mínimo de 5% y máximo 15% según la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004. En el abono orgánico mineral sólido PALM-MIXTEX, el valor mínimo del rango que se obtuvo en una de las caracterizaciones físico-químicas fue de 4,26%, lo cual, hay que evitar en el futuro. Con respecto al residuo insoluble en ácido se debe reportar de forma obligatoria y debe ser máximo del 50%. En las caracterizaciones físico-químicas realizadas al abono PALM-MIXTEX se presentaron valores por encima de la norma en los lotes de octubre y noviembre analizados en base húmeda y base seca.

**7.2.5.3 Clasificación del abono PALM-MIXTEX de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004** La clasificación del abono PALM-MIXTEX, se realizó teniendo en cuenta seis análisis hechos al producto terminado, cada uno de ellos pertenecientes a diferentes lotes de producción. Los resultados de las caracterizaciones físico-químicas realizadas a diferentes muestras del abono PALM-MIXTEX ubican al producto con respecto a la norma técnica Colombiana NTC 5167 como un abono orgánico mineral sólido como se observa en la tabla 24 y las gráficas 17 a la 19. Esta clasificación está muy relacionada con la manera de producir el abono PALM-MIXTEX, que se obtiene de mezclar residuos vegetales con materiales minerales como la roca fosfórica y la cal magnesiana y finalmente la adición de lodos de tratamientos de aguas residuales de las piscinas de oxidación de la planta extractora de aceite de palma. Según la definición de la norma un abono orgánico mineral es: Producto sólido obtenido por mezcla o

combinación de abonos minerales y orgánicos de origen animal, vegetal, pedogenético (geológico) o provenientes de lodos de tratamientos de aguas residuales, que contienen porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y de los parámetros que se indican.

Los valores de los elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio); así como los elementos secundarios (calcio y magnesio) serán reportados en el producto PALM-MIXTEX, siempre y cuando dichos valores sean iguales o superiores al 2% como lo exige la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004.

Para el caso del abono PALM-MIXTEX, se reporta únicamente el fósforo (2,12%  $P_2O_5$ ) y el calcio (2,71% CaO). Para el caso de la densidad aparece un valor de cero para la NTC 5167 de 2004; sin embargo, la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004, no exige un valor establecido, simplemente el reporte de la densidad, que para el abono PALM-MIXTEX es 0,99 g/cm<sup>3</sup>.

La norma técnica Colombiana exige que el carbono orgánico oxidable total en los abonos orgánicos minerales sólidos este en un rango de 5 al 15% máximo. El abono PALM-MIXTEX, presentó un valor de 6,63%; es decir, cumple con la norma NTC 5167 de 2004. Con respecto a la humedad la norma técnica Colombiana exige máximo el 15% y el producto PALM-MIXTEX se excedió en 0,71%.

El elemento menor más abundante en el abono PALM-MIXTEX es el silicio (40,21%  $SiO_2$ ); motivo por el cual, debe ser reportado en la ficha técnica del producto. Los demás elementos menores están por debajo del 2%. La norma técnica Colombiana exige que aquellos elementos menores que sean iguales o superiores al 2% deban ser reportados en la ficha técnica del producto.

**Tabla 24. Clasificación del abono PALM-MIXTEX con respecto a la NTC 5167 de 2004**

REPORTE BASE HÚMEDA			CLASIFICACIÓN SEGÚN NTC 5167			
PARAMETROS	UNIDADES	ABONO PALM-MIXTEX	ABONO ORGÁNICO	ABONO ORGÁNICO MINERAL SÓLIDO	ENMIENDA HUMICA SÓLIDA	ENMIENDA ORGÁNICA NO HUMICA
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	0,99	Máx. 0,6	Reportar		pH no alcalino
pH		7,21	> 4 y < 9	Reportar		
C.E. □	dS/m	50,8		Reportar		Reportar
Húmeda*	% P/P	15,71	*	*		
Cenizas*	% P/P	55,43	* Máx. 60	*		
Residuo insoluble en ácido	% P/P	49,64		Máx. 50%		
C.I.C. □	meq/100gr	18,38	Min 30			Min 30
Nitrógeno total	% P/P	1,35	> 1	Reportar		
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	% P/P	0,66	> 1	Reportar		
Calcio total (CaO)	% P/P	2,71		Reportar		
Magnesio total (MgO)	% P/P	0,94		Reportar		
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% P/P	2,12	> 1	Reportar		
Azufre	% P/P	0,49				
Boro	% P/P	0,008		Reportar 2%		
Cobre	% P/P	0,0025		Reportar 2%		
Manganeso	% P/P	0,008		Reportar 2%		
Hierro	% P/P	0,24		Reportar 2%		
Zinc	% P/P	0,017		Reportar 2%		

**REPORTE BASE HÚMEDA**

**CLASIFICACIÓN SEGÚN NTC 5167**

PARAMETROS	UNIDADES	ABONO PALM- MIXTEX	ABONO ORGÁNICO	ABONO ORGÁNICO MINERAL SÓLIDO	ENMIENDA HUMICA SÓLIDA	ENMIENDA ORGÁNICA NO HUMICA
Sodio	% P/P	0,09		Reportar 2%		Reportar
Carbono org. oxidable total	% P/P	6,63	Min 15	> 5 y < 15		Min 15
Rel. C/N? □		4,92				
Retención de Húmeda	% P/P	49,99	Min su propio peso			
Perdidas por volatilización*	% P/P	28,68	*	*		
Silicio total (SiO <sub>2</sub> )	% P/P	40,21		Reportar 2%		

\* = La suma de estos parámetros debe ser 100

□ C.E. = Conductibilidad eléctrica; C.I.C. = Capacidad de intercambio catiónico; Rel. C/N = Relación carbono - nitrógeno

? = Rel. C/N, se obtiene de dividir el valor del carbono orgánico oxidable total entre el valor del nitrógeno total

Contenido de húmeda

Para materiales de origen animal, máximo 20%

Para materiales de origen vegetal, máximo 35%

Para mezclas, el contenido de húmeda estará dado por el origen del material predominante

<b>Abono orgánico:</b> Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican
<b>Abono orgánico mineral sólido:</b> Producto sólido obtenido por mezcla o combinación de abonos minerales y orgánicos de origen animal, vegetal, pedogenético (geológico) o provenientes de lodos de tratamientos de aguas residuales, que contienen porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y de los parámetros que se indican
<b>Enmienda húmica sólida:</b> Producto orgánico sólido de origen pedogenético o geológico con o sin tratamiento químico que aplicado al suelo aporta o genera humus mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y

■	que cumple las especificaciones que se indican
■	<b>Enmienda orgánica no húmica:</b> Producto orgánico sólido obtenido a partir de la deshidratación y estabilización de los residuos provenientes de las plantas industriales y de tratamiento de a) Aguas residuales industriales y urbanas b) residuos sólidos urbanos separados en la fuente
■	Reportar de acuerdo a parámetros exactos
■	Reportar simplemente

En la tabla 24 podemos observar que el abono PALM-MIXTEX queda clasificado como un abono orgánico mineral según la norma técnica Colombiana (NTC 5167 de 2004), teniendo en cuenta los reportes de valores paramétricos exactos o en un rango (Celdas con bordes verdes oscuros y sombreado verde claro) como son la humedad, cenizas y pérdidas por volatilización, que deben sumar el 100% y efectivamente, este es el valor del abono PALM-MIXTEX; residuo insoluble en ácido que debe ser máximo del 60% y el producto registra un valor de 49,64%; el carbono orgánico oxidable total que según la norma debe estar en el rango mayor de 5 y menor de 15, el producto tiene un valor de 6,63; silicio total como SiO<sub>2</sub> se debe reportar si su valor está por encima del 2%, y el abono registra un valor de 40,21%.

Otros valores paramétricos exactos que se deben reportar son los micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y sodio (Na); siempre y cuando las cantidades de estos micronutrientes estén por encima del 2%.

Por otra parte, la norma técnica NTC 5167 de 2004 para clasificar los abonos orgánico minerales, también tiene en cuenta los reportes de valores (Celdas con bordes naranja oscuro y sombra naranja claro) físicos como la densidad aparente, pH y conductibilidad eléctrica; además, registro de valores químicos entre los cuales se encuentran los macronutrientes (N, P, K) y los elementos secundarios

(Ca y Mg), todos estos sin tener en cuenta un valor o rango exacto, pero se deben reportar obligatoriamente en la ficha informativa del abono orgánico mineral.

Debe tenerse en cuenta que la norma técnica NTC 5167 de 2004 menciona claramente cómo se obtienen y cuáles son los componentes principales (Tabla 24 parte inferior) que se deben tener en cuenta para clasificar un abono sólido como orgánico, orgánico mineral, enmienda húmica y enmienda orgánica no húmica.

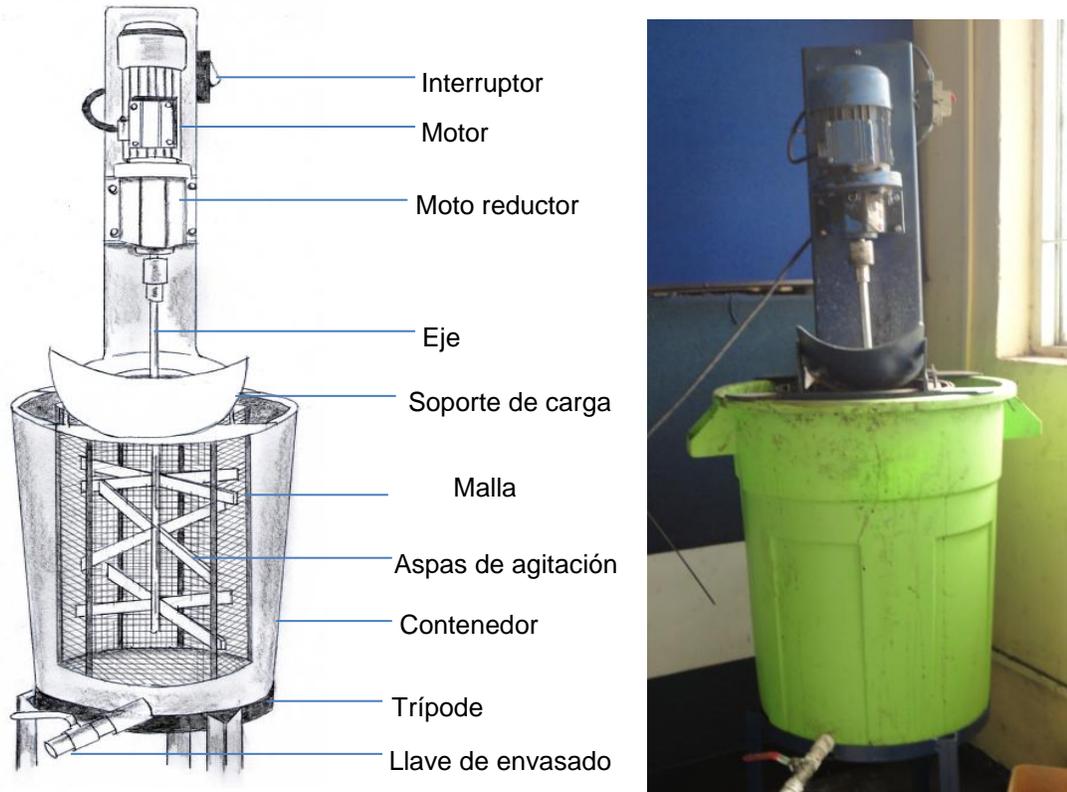
Los valores máximos de metales pesados permitidos por la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 que pueden estar presentes en los abonos orgánicos minerales. Los valores encontrados de metales pesados en el producto PALM-MIXTEX, estuvieron muy por debajo de los valores máximos exigidos por la norma.

### **7.3 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO**

**7.3.1 Diseño y pruebas de fraccionamiento del abono PALM-MIXTEX** GÓMEZ, J., 2000 sugiere darle valor agregado a los abonos, compost y lombricompost, mediante fraccionamiento o separación por medios físicos y químicos de los componentes de estos abonos para obtener nuevos productos: Los hidrosolubles, ácidos solubles y sustancias húmicas, que tienen funciones diferentes a los del producto de origen. El material utilizado para la extracción de estas sustancias es el abono PALM-MIXTEX generado en la planta de producción de Sabana de Torres, Santander.

Para realizar el proceso de fraccionamiento y extracción se diseñó por parte de la industria INAL LTDA un equipo de agitación constante a 100 rpm con capacidad de 60 litros y además, un sistema de filtración y evacuación del producto y los lodos que se forman al final del tanque como se muestra en la figura 17

**Figura 16. Equipo de fraccionamiento y filtración del abono líquido**



El abono sólido PALM-MIXTEX se diluyó en agua con una relación inicial 1:10 P/V respectivamente, como lo recomienda GÓMEZ, J., 2000 cuando se utilizan abonos orgánicos. Sin embargo, debido a la naturaleza orgánica mineral del abono PALM-MIXTEX, esta relación se modificó en repetidas ocasiones hasta obtener un hidrosoluble con un color oscuro, con el fin de extraer mayor cantidad de nutrientes en la solución.

**7.3.1.1 Hidrosoluble** La dilución final en agua del abono PALM-MIXTEX fue de 3:10 P/V respectivamente con un tiempo de agitación de 12 horas a 100 rpm. Con esta relación se obtiene un producto de color oscuro y se genera una cantidad de sólidos en suspensión fáciles de remover con el sistema de filtración del equipo de fraccionamiento diseñado por industrias INAL. Transcurridas las 12 horas, el pH de la solución es neutro y la temperatura de 15°C.

**7.3.1.2 Ácidos solubles** Par a la extracción de ácidos solubles se utilizó como extractante ácido fosfórico al 85% ( $H_3PO_4$ ) con una concentración en la solución de 0,1M. El tiempo de agitación fue de 12 horas a 100 rpm con pH 4 y una temperatura de extracción de 20°C.

**7.3.1.3 Ácidos húmicos** Existen varias alternativas para la extracción de los ácidos húmicos utilizando soluciones de hidróxido de sodio (NaOH); pirofosfato tetrasódico ( $Na_4P_2O_7$ ); hidróxido de amoníaco ( $NH_4OH$ ). Una de las principales dificultades que se presentan al abordar el fraccionamiento de sustancias húmicas se debe a las diferencias marcadas en las metodologías usadas para la extracción con extractantes diferentes. El inconveniente radica en que los compuestos húmicos pueden ser más o menos solubles, tener diferente grado de polimerización o estar ligados más o menos fuertemente al material mineral.

Para la extracción de ácidos húmicos se utilizó hidróxido de potasio (KOH) con una concentración en la solución de 0,5 M y un tiempo de agitación de 12 horas a 100 rpm con pH 9 y una temperatura de extracción de 18°C. Después de transcurridas las 12 horas de agitación se obtiene un producto viscoso de color oscuro como se muestra en la figura 18. Los rendimientos de extracción de estos compuestos se evaluaron como concentración de extractos húmicos totales, estos son: Ácidos húmicos con un rendimiento obtenido de 5,80 gramos por litro y ácidos fúlvicos con un valor de 17,60 gramos por litro; para un total de 23,40 gramos por litro de extractos húmicos totales que le dan al producto la categoría de orgánico. El método de laboratorio utilizado para la evaluación de la concentración de ácidos húmicos totales fue el exigido por la norma técnica Colombina NTC 5167 de 2004 Walkley Black realizado en el laboratorio de referencia.

**Figura 17. Solución de ácidos húmicos extraídos del abono PALM-MIXTEX**



**7.3.1.4 Filtración** El producto final se filtró a través de dos mecanismos; el primero, una malla No. 2 que se instaló en el equipo diseñado por industrias INAL LTDA y una segunda filtración a través de un cedazo. Lo ideal es utilizar un filtro de anillos de 50 micras por ser de fácil instalación y mantenimiento; además, de retirar casi al 100% los sólidos insolubles. De acuerdo a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 los abonos líquidos orgánico minerales como es el caso del producto obtenido del abono PALM-MIXTEX, los sólidos insolubles deben ser mínimo de 4 gramos por litro y el producto final después de la filtración presentó un valor de 7 gramos por litro.

**7.3.1.5 Repotenciación** Hemos llamado así a enriquecimiento del producto en cuanto a los parámetros químicos nitrógeno, fósforo y potasio. Como fuente de nitrógeno para aumentar la cantidad en el abono líquido se utilizaron 21,7 gramos de urea por litro de abono líquido para obtener un valor final de nitrógeno de 10 gramos por litro. Adicionalmente, a esta cantidad de nitrógeno aportada por la urea se suman 5,8 gramos de nitrógeno aportados por la aplicación del diamon fosfato (DAP) utilizado para mejorar los niveles de fósforo en el producto. Con esto se

obtiene un valor de 15 gramos por litro de nitrógeno en el producto final. Para mejorar los niveles de fósforo se aplicaron 32,6 gramos por litro para que el producto tenga una cantidad de fósforo como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 15 gramos por litro.

Con respecto al potasio, en la etapa de repotenciación no es necesario aplicar ningún producto extra, porque en la etapa de extracción de ácidos húmicos se aportó hidróxido de potasio en una cantidad de 280 gramos por litro y se obtuvo un valor de K<sub>2</sub>O de 21,40 gramos por litro

Con estas cantidades de elementos mayores aportadas al producto, se tiene más que un triple quince comercialmente hablando, y, el abono líquido (clasificado de acuerdo con la NTC 5167, 2004) se convierte en una alternativa de fertilización foliar que acompaña el abonamiento sólido del producto PALM-MIXTEX.

### 7.3.2 Caracterización físico-química, microbiológica y metales pesados del abono líquido

**Tabla 25. Análisis físico-químico del abono líquido PALM-MIXTEX**

PARAMETROS	VALOR	UNIDADES	PARAMETRO	VALOR	UNIDADES	MÉTODOS ANALÍTICOS
DENSIDAD	1,0498	g/mL				LBC 36 Gravimetría
pH	9,41					LBC 44 Potenciometría
C.E. en 1:200	0,67	dS/m				LBC 41 Potenciometría
N. TOTAL	14,5	g/L				Suma de nitrógenos
POTASIO	18,8	g/L	K <sub>2</sub> O	21,4	g/L	NTC 202 Emisión
CALCIO	0,7	g/L	CaO	1	g/L	NTC 1369 Absorción atómica
MAGNESIO	0,2	g/L	MgO	0,3	g/L	NTC 1369 Absorción atómica
FOSFÓRO	14,3	g/L	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14,7	g/L	NTC 234 Colorimetría
AZUFRE	0,7	g/L				NTC 1154 Turbimetría

PARAMETROS	VALOR	UNIDADES	PARAMETRO	VALOR	UNIDADES	MÉTODOS ANALÍTICOS
BORO	0,08	g/L				NTC 1860 Colorimetría
COBRE	0,005	g/L				NTC 1369 Absorción atómica
MANGANESO	0,02	g/L				NTC 1369 Absorción atómica
HIERRO	0,3	g/L				NTC 1369 Absorción atómica
ZINC	0,009	g/L				NTC 1369 Absorción atómica
SODIO	0,2	g/L				NTC 1369 Absorción atómica
C. ORGÁNICO OXIDABLE TOTAL	23,4	g/L				NTC 1146 Emisión
Relación (C/N) Sólidos insolubles en H <sub>2</sub> O	3,12	g/L				LBC 92 Gravimetría

**7.3.2.1 Caracterización físico-química** Los análisis físico-químicos reportados en la tabla 25 muestran valores interesantes como el carbono orgánico oxidable total 23,40 gramos por litro que le dan al producto el carácter de orgánico de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004; según esta, el valor mínimo debe ser de 20 gramos por litro para considerarlo de origen orgánico. Por su parte, los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio suman 50,6 gramos por litro, los cuales, son aportados de forma mineral. Esta es una de las razones, por la cual, el producto se considera orgánico mineral líquido.

**7.3.2.2 Análisis microbiológico** El abono líquido obtenido a partir del abono PALM-MIXTEX, está libre de microorganismos patógenos según los resultados realizados por el laboratorio de microbiología de la UIS. El producto está exento de hongos fitopatógenos como *Fusarium spp.*, *Botrytis spp.*, *Rhizoctonia spp.*, y

*Phytophthora spp.* No se evidencia la presencia del género *Salmonella spp* en 25 mL de producto y se presenta una pequeña cantidad de enterobacterias (< 10 UFC/mL). La cantidad de enterobacterias permitidas según la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 es de 1000 UFC/mL.

**7.3.2.3 Metales pesados** El abono líquido presenta valores de metales pesados permitidos por la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 como se muestra en la tabla 26. Estos valores son bastante bajos, por tal razón, no representa ningún peligro para las plantas, animales y personas que entran en contacto con el producto. Todos los metales pesados fueron analizados por el método de absorción atómica en el laboratorio de referencia.

**Tabla 26. Metales pesados encontrados en el abono líquido PALM-MIXTEX**

Metales Pesados	Abono líquido PALM-MIXTEX	NTC 5167
Arsénico (As) total	< 0,01	49
Cadmio (Cd) total	< 0,05	39
Cromo (Cr) total	< 0,1	1200
Mercurio (Hg) total	< 5	17
Níquel (Ni) total	< 1,7	420
Plomo (Pb) total	< 3,91	300

**7.3.3 Clasificación del abono líquido de acuerdo con la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004** En La tabla 27 observamos en la columna de parámetros dos colores: El que está en azul cumple con la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 y el que se muestra en color rojo no cumple. En las columnas valores para la clasificación según NTC 5167 de 2004 encontramos el valor de los parámetros para clasificar un abono líquido como orgánico mineral o como enmienda húmica. Además, se presentan dos colores verde claro, que

indica simplemente que se debe reportar el resultado en el análisis, sin ser obligatorio un valor determinado; y en color naranja aquellos valores que son obligatorios para clasificar el producto.

De acuerdo a los resultados físico-químicos y de metales pesados obtenidos, el abono líquido PALM-MIXTEX queda clasificado como un abono orgánico mineral líquido con respecto a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004. El nitrógeno, fósforo y potasio son parámetros obligatorios en el reporte y la suma de estos debe ser como mínimo de 40 gramos por litro para cumplir con la normatividad. El valor encontrado en el producto es de 50,6 gramos por litro; por lo tanto se cumple con la norma.

Otros parámetros de carácter obligatorio en un abono orgánico mineral líquido son el carbono orgánico oxidable total que debe ser mínimo 20 gramos por litro y los sólidos insolubles en agua con un valor máximo de 4 gramos por litro. El abono líquido PALM-MIXTEX cumple con el contenido de carbono orgánico oxidable total con un valor registrado de 23,4 gramos por litro; sin embargo, no se está cumpliendo con los sólidos insolubles en agua 7 gramos por litro, motivo por el cual, hay que mejorar el proceso de filtración cuando se está formulando el producto.

**7.3.4 Costos de producción del abono líquido PALM-MIXTEX** En la tabla 28 se presentan los costos del producto por litro que se obtienen de sumar los costos de aprovisionamiento más los costos de producción más los costos administrativos. Los costos del producto incluyen las materias primas para un litro de producto (3404 pesos) más el 0,01% del costo de los equipos (306 pesos) para un total de 3710 pesos. El costo de fabricación incluye la mano de obra directa que equivale al 2,5% del valor de un litro de producto (15000 pesos en el mercado) más el costo de la mano de obra indirecta representada en un supervisor que equivale al 3,4% del valor de un litro de producto. En total la mano de obra representa el 5,9% del

valor de un litro de producto, es decir, 885 pesos. Los costos administrativos incluyen prestaciones legales que equivalen al 23% del costo total de la mano de obra (204 pesos). Las prestaciones legales incluyen las cesantías artículo 249 del código sustantivo de trabajo, intereses de cesantías ley 52 de 1975, prima de servicios artículo 306 del código sustantivo de trabajo y la dotación ley 11 de 1984 artículo 7. Además, las prestaciones parafiscales que equivalen al 13% del valor total de la mano de obra (115 pesos). Las prestaciones parafiscales incluyen pensiones ley 797 del 2007 artículo 7, riesgos profesionales decreto 1772 de 1994 artículo 13, aporte al instituto Colombiano de bienestar familiar ICBF ley 89 de 1988, servicio nacional de aprendizaje SENA ley 21 de 1982 y las cajas de compensación familiar. Otra prestación parafiscal que se incluye es la salud equivalente al 15% del valor total de la mano de obra (133 pesos). La salud está estipulada en la ley 1122 del 2007 artículo 10.

Otros costos administrativos incluidos en el valor del litro del abono líquido PALM-MIXTEX son los gastos generales que por cada litro representan el 0,15%; es decir, 3034 pesos y los gastos administrativos que incluyen los honorarios de un profesional (5% del valor de un litro de producto), la comisión de venta por litro de producto que es el 10% y el valor del análisis de laboratorio del litro, con un costo de 75 pesos. La norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 obliga a dos análisis al año, cada uno con un costo de 900000 pesos.

El costo total de producir un litro de abono orgánico mineral líquido PALM-MIXTEX es de 10207 pesos. Una de las principales ventajas de este producto es que se pueden producir 2000 litros teniendo la capacidad instalada en planta en un lapso de tiempo de 7 días aproximadamente. En cambio, para la producción del abono sólido se requieren 45 días para producir una cantidad de 2000 sacos. Otra ventaja sustancial del abono líquido, es el área necesaria para construir la planta de producción, la cual, no supera los 400 m<sup>2</sup>.

Para calcular el valor de depreciación de los equipos que se incluirá a partir del segundo año de funcionamiento de la planta de producción del abono líquido se utilizó el método de línea recta (Donoso, R y Donoso, A. 2010) que consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo. Según el decreto 3019 de 1989, los bienes como las maquinarias y equipos tienen una vida útil de 10 años. Para nuestro caso el valor de depreciación es de 305500 pesos.

**Tabla 27. Clasificación del abono PALM-MIXTEX con respecto a la NTC 5167 de 2004**

PARAMETROS	UNIDADES	REPORTE	VALORES PARA LA	
		BASE HÚMEDA ABONO PALM-MIXTEX LÍQUIDO	CLASIFICACIÓN SEGÚN NTC 5167	ENMIENDA HÚMICA LÍQUIDA
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	1,0498	Reportar	
pH		9,41	Reportar	Min. 9
C.E. □	dS/m	0,67		
Nitrógeno total*	g/L	14,5	*	Reportar
Potasio total (K <sub>2</sub> O)*	g/L	21,4	*	Máx. 50
Calcio total (CaO)	g/L	1	Reportar	
Magnesio total (MgO)	g/L	0,3	Reportar	
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )*	g/L	0,7	*	Reportar
Azufre	g/L	0,7	Reportar	Reportar
Boro	g/L	0,08	Reportar	Reportar
Cobre	g/L	0,005	Reportar	Reportar
Manganeso	g/L	0,02	Reportar	Reportar
Hierro	g/L	0,3	Reportar	Reportar
Zinc	g/L	0,009	Reportar	Reportar
Sodio	g/L	0,2	Reportar	Reportar
Carbono orgánico oxidable total	g/L	23,4	Min. 20	40
Rel. C/N? □		3,12		
Sólidos insolubles	g/L	7	Máx. 4	Ausencia

PARAMETROS	UNIDADES	REPORTE	VALORES PARA LA	
		BASE HÚMEDA	CLASIFICACIÓN SEGÚN NTC 5167	
		ABONO PALM-MIXTEX LÍQUIDO	ABONO ORGÁNICO MINERAL LÍQUIDO	ENMIENDA HÚMICA LÍQUIDA
en H <sub>2</sub> O				
C.E.H.T.	g/L	23,4		40
Carbón ácidos húmicos	g/L	5,8		60
Carbón ácidos fúlvicos	g/L	17,6		
CAH / CEHT	g/L	24,7		> 60
METALES PESADOS			Reportar	
Arsénico (As)	mg/L	< 0,01	41	
(Cd)	mg/L	< 0,05	39	
(Cr)	mg/L	< 0,1	1200	
Mercurio (Hg)	mg/L	<5	17	
Níquel (Ni)	mg/L	1,7	420	
Plomo (Pb)	mg/L	3,91	300	

**Abono orgánico mineral líquido:** Producto líquido obtenido por la adición de agua a un abono orgánico, orgánico mineral sólido o mezcla de los anteriores, con posterior extracción al que puede o no, añadirse un fertilizante mineral y que cumple con los parámetros que se indican

**Enmienda húmica líquida:** Producto orgánico líquido obtenido mediante solubilización en medio alcalino o por oxidación química, de un material de origen pedogenético que aporta ácidos húmicos y fúlvicos destinado preferentemente a la fertirrigación y que cumple con las especificaciones que se indican.

\* N total + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O, mínimo 40 g/L

No cumple

-  Cumple
-  Obligatorio
-  Reportar

**Tabla 28. Costos de producción de 1 litro de abono líquido PALM-MIXTEX**

COSTO DEL PRODUCTO	COSTO DE APROVISIONAMIENTO	VALOR PESOS	COSTO DE FABRICACIÓN	VALOR PESOS	COSTO ADMINISTRATIVO	VALOR PESOS				
<b>SECCIONES PRINCIPALES</b>										
<b>SECCIÓN DE COMPRAS</b>	<b>Materia prima</b>		<b>SECCIÓN DE FABRICACIÓN</b>	<b>MANO DE OBRA</b>		<b>SECCION ADMINISTRATIVA</b>	<b>Prestaciones</b>			
				<b>Mano de obra directa</b> (2,5 % del valor de un litro)						
	Abono orgánico (1K)	320		Preparación y mezcla (Litro)	276		Legales 23%*	204		
	Ácido fosfórico (11,5g)	123		Envasado y etiquetado	45		Parafiscales 13%*	115		
	Hidróxido de potasio (28g)	200		Embalaje en cajas y estivaje	20		Seguro 15%*	133		
	Urea (35g/L)	220		Imprevistos (10%)	34					
	Sulfato de Zinc (1,2g)	6			375		<b>Gastos generales</b>			
	Sulfato de Magnesio (5g)	25		<b>Mano de obra indirecta</b>			Arriendo	400		
	DAP (33 g/L)	50		Supervisor (3,4%por Litro)	510		Energía	150		
	ORGAVIT (10%)	260			<b>885</b>		Agua	100		
Envase y tapa (litro)	1900			Vigilancia	30 000					
Etiquetas	300									

	<b>3404</b>
<b>Equipos</b>	
<hr/>	
Agitador mecánico	2500000
Cinta de pH MERCK	45000
Termocupla Brixco	230000
Filtro de anillo	280000

\* mano de obra 5,9% del valor del litro en el mercado 15 000

Producción: 2000 litros / mes

□ La norma técnica Colombiana NTC 5167 obliga a dos análisis al año (Unidad 900 000)

**306**

**Valor del litro** = □ Materia prima + 0,01% equipos + 5,9% mano de obra + prestaciones + 0,15% gastos generales + gastos administrativos = **10 207 pesos**

Teléfono	80 000
Fax	NA
Contable	230 000
Papelería	100 000
cafetería	NA
Publicidad	800 000
	1 890 000
	<b>2835</b>

**Gastos administrativos**

---

Honorarios profesionales 5% por litro	750
Comisión de ventas (10%)	1500
Análisis de laboratorio□	75
	<b>2325</b>

## 8. CONCLUSIONES

Los resultados microbiológicos realizados al abono orgánico mineral sólido PALMMIXTEX por el método nacional NTC 5167 de 2004 y las metodologías internacionales NOM-001-SEMARNAT y NOM-001-ECO de México y la propuesta por la organización mundial de la salud (OMS) indican que el producto PALMMIXTEX está libre de microorganismos patógenos y fitopatógenos. Por lo tanto, puede ser aplicado con seguridad en los cultivos, sin causar problemas a las personas y animales que entran en contacto con el producto.

Los análisis microbiológicos realizados al abono orgánico mineral PALM - MIXTEX y al caldo de cultivo para microorganismos en planta de producción reportan la presencia del género *Azotobacter spp* en el caldo de cultivo. *Rhizobium spp* y *Azospirillum spp* se encuentran por debajo del límite detectable en las dos muestras

Las diferencias en la composición físico – química que se presentan en los diferentes lotes de producción del abono orgánico mineral PALM – MIXTEX obedecen a las pérdidas generadas en la maquinaria durante el proceso de producción (15,73%) y a las diferencias en peso de materias primas ocurridas en las carretillas cuando se están dosificando las cantidades que deben ser mezcladas

Los resultados de la caracterización físico-química del abono PALM-MIXTEX, identifica al producto frente a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004 como un abono orgánico mineral. Por lo tanto, debe reportar de carácter obligatorio en sus análisis y ficha técnica los siguientes parámetros: Densidad aparente en g/cm<sup>3</sup>; pH; conductibilidad eléctrica como dS/cm; los macronutrientes

nitrógeno (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y potasio (K<sub>2</sub>O) en porcentaje; elementos secundarios calcio (CaO) y magnesio (MgO) en porcentaje; de los elementos menores, se reportará únicamente el silicio como % SiO<sub>2</sub> por superar el 2%. El carbono orgánico oxidable total en porcentaje; el residuo insoluble en ácido en porcentaje; cenizas, humedad y pérdidas por volatilización en porcentaje, para lo cual, deberán sumar el 100%

El abono líquido generado como alternativa de aprovechamiento está exento de hongos fitopatógenos como *Fusarium spp.*, *Botrytis spp.*, *Rhizoctonia spp.*, y *Phytophthora spp.* No se evidencia la presencia del género *Salmonella spp* en 25 mL de producto y se presenta una pequeña cantidad de Enterobacterias (< 10 UFC/mL). Además, queda clasificado como un abono orgánico mineral líquido con respecto a la norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2004

El costo total de producir un litro de abono orgánico mineral líquido PALM-MIXTEX es de 10207 pesos.

## BIBLIOGRAFIA

ANDREOLI, C. V., et al. Residuos sólidos y saneamiento: procesamiento y disposición final., Río de Janeiro, Brasil. 2001.

BASIRON, Y., y DARUS, A. La industria de la palma de aceite de contaminación a cero desechos. En: Revista palmas. Abril, 1997. Vol. 18, No. 1, p. 51-65.

CARDONA, J. Sustitución del carbón por cuesco de palma africana en Bucaramanga. [Presentación power point]. Bucaramanga, 2010. Veinticuatro diapositivas a color.

CARRILLO, M., GÓMEZ, J., y MIRANDA, J. Caracterización de los ácidos húmicos extraídos de cuatro lombricompuestos y su efecto sobre la germinación de semillas de maíz *Zea mays*, algodón *Gossypium hirsutum* y tomate *Lycopersicon esculentum*. En: Acta agronómica. Universidad Nacional de Colombia. Enero – diciembre, 1996. Vol. 46, No. 1-4, p. 30-36.

CEGARRA, R.J. Aislamiento y caracterización de sustancias húmicas y su efecto sobre el crecimiento vegetal. En: Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 1992.

CHIEN, S.H. Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. En: Informaciones agronómicas. 2003. No. 1, p. 35-38.

CHINCHILLA, C. y DURAN, N. Manejo de problemas fitosanitarios en palma aceitera: Una perspectiva agronómica. En: Revista palmas (Colombia). 1997. Vol. 19, No. especial, p. 242 – 256.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 1772. (5, agosto, 1994). Por el cual se reglamenta la afiliación y las cotizaciones al Sistema General de Riesgos Profesionales. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1994. No. 41477.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Decreto 3019. (26, diciembre, 1989). Por el cual se modifica el Decreto 1649 de 1976 y se reglamenta parcialmente el Estatuto Tributario de los Impuestos Administrados por la Dirección General de Impuestos Nacionales. Bogotá, D.C., 1989. No. 39118.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 11. (30, abril, 1984). Por la cual se reforman algunas normas de los Códigos Sustantivo y Procesal del Trabajo. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1984. No. 36517.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 21. (5, febrero, 1982). Por la cual se modifica el régimen del Subsidio Familiar y Se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1982. No. 35939.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 52. (18, diciembre, 1975). Por el cual se reconocen intereses anuales a las cesantías de los trabajadores particulares. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1975. No. 34475.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 89. (29, diciembre, 1988). Por la cual se asignan recursos al Instituto Colombiano de Bienestar Familiar y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1988. No. 38635.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 797. (29, enero, 2003). Por la cual se reforman algunas disposiciones del sistema general de pensiones previsto en la Ley 100 de 1993 y se adoptan disposiciones sobre los Regímenes Pensionales exceptuados y especiales. Diario oficial. Bogotá, D.C., 2003. No. 45079.

COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO – ICA. Resolución 150. (21, enero, 2003). Por el cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia. Forma ICA 3-984.

D' ANGELO, Y., GONZÁLEZ, M. I., y CHIROLES, S. Microorganismos presentes en el compost: Importancia de su control fitosanitario. En: Revista electrónica de la agencia de medio ambiente. 2004. No. 7, p. 1-9. ISSN 1683-8904

DEL HIERRO, E. Aprovechamiento de los sub-productos de palma de aceite. En: Revista palmas. Octubre, 1993. Vol. 14, No. especial, p. 149-153.

DEREMAN, M. Carbon pellets prepared from fibers of oil palm empty fruit bunches: 1.A quantitative X-ray diffraction analysis. En: PORIM Bull. Palm Oil Residual Institute. Malaysia, Marzo, 1993. p.64-65.

DÍAZ, Z., y COL, M. Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. [diapositivas]. Rosario, Argentina. 2009. Presentación del simposio de fertilidad 2009.

DONOSO, R., y DONOSO, A. Sistemas de costes e información económica. 2 ed. Alcalá.: Pirámide, 2010. p. 54-57. ISBN 978-84-368-2448-3.

ELORRIETA, M.A., *et al.* 2003. Persistencia de *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis* en raíces de tomate. Libro de resúmenes del XIII congreso de la SEF. Murcia, 18-22 septiembre 2006. p. 340.

EPA. Alternative technologies / uses for manure: office of wastewater management. 1999.

FEDEPALMA. La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo. Bogotá D.C. Diciembre, 2012.

FEDEPALMA. Guía ambiental para el subsector de la agroindustria de la palma de aceite. 2002.

GARCÉS, I. C., y SÁNCHEZ, M. Productos derivados de la industria de la palma de aceite: Usos. En: Revista palmas. Octubre, 1997. Vol. 18, No. 1, p. 33-48.

GARCIA, J., y URIBE, D. Manejo de efluentes de plantas extractoras: Diseño de lagunas de estabilización. En: Cenipalma: Santa Fe de Bogotá. 1997. Boletín técnico No. 11.

GÓMEZ, J. Abonos orgánicos: Compostaje, substrato, acolchado, humus líquido, enmienda, lombricompostaje. Impresora Feriva S.A. 2000. Cali, Colombia. 107 p.

GOVRIN, E. y LEVINE, A. The hypersensitive response facilitates plant infection by the necrotrophic next term pathogen *Botrytis cinerea*. En: Current Biology. 2000. vol. 10, No. 13, p. 751-757.

GRAHAM, P. H. Selective medium for grown of Rhizobium. En: Applied Microbiology. May, 1969. vol. 17, No. 5, p. 769–770.

GURMIT, S., MANOHARAN, S. y TOH, T.S. United Plantations' approach to palm oil mill by-product management and utilization. En: International palm oil development conference: Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. 1989. p. 225 – 234.

HAUG, R. T. Composting engineering: principles and practice. 2 ed. Michigan.: Science Publishers, 1980. p. 87-133.

ICONTEC. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. NTC 5167. 2004.

ICONTEC. Fertilizantes y acondicionadores de suelos: Etiquetado. NTC 40. 2003.

ICONTEC. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas. NTC 1927. 2001.

ICONTEC. Fertilizantes sólidos. Método de muestreo simple para lotes pequeños. NTC-ISO 8633. 1995.

ICONTEEC. Fertilizantes sólidos. Plan de muestreo para la evaluación de una entrega grande. NTC-ISO 8634. 1995.

JHORAR, B.S., PHOGAT, V., y MALIK, E. Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. En: Aridity Soil Restoration Rehabil. 1991. Vol. 5, p. 297-306.

KANMOZHI, K., y PANNEERSELVAM, A. Isolation, identification and molecular characterization of phosphate solubilizing Actinomycetes isolated from the coastal region of Manora, Thanjavur. En: Asian Journal of Pharmacy and Technology. 2010. p. 119-122.

KIEHL, F.J. Fertilizantes orgánicos. En: Abonos. Editorial agronómica Ceres Ltda. Sao Paulo. 1985.

LOONG, S.; MOHD, N. y LETCHUMANAN, A. Optimizing the use of EFB mulching on oil palm on two different soils. En: International palm oil conference agriculture: Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. 1998. p. 605-639.

LUNA, L. A. Producción, uso y manejo de bioestimulantes, abonos orgánicos, acondicionadores, y biofertilizantes a partir de fuentes no convencionales. CORPOICA. 2001. p. 27-28.

MOLINA, G., *et al.* Selección de hongos antagonistas para el control biológico de *Botrytis cinerea* en viveros forestales en Chile. En: Revista Bosques. 2006. vol. 27, No. 2, p. 126-134.

NAKASAKI, K., NAG, K. y KARITA, S. Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste. En: Waste Management Residual. Agosto, 2005. Vol. 23, No. 1, p. 48-56.

OHNO, Tsutomu. Phosphorus and Potassium Availability in Wood Ash-Amended Soils: An Incubation Study. En: Maine Agricultural and Forest Experiment Station. University of Maine. January, 1994. Technical bolletin 154.

OVIASOGIE, P.O. y AISUENI, N.O. Oil palm composted biomass: a review of the preparation, utilization, handling and storage. En: African Journal of Agricultural Research. July, 2010. Vol. 5, No. 13, p. 1553-1557.

PRIETO, F, *et al.* Correlación de potencial zeta y parámetros físico-químicos en extractos de saturación de suelos. En: Tropical and Subtropical Agrosystems. Mayo – agosto, 2009. vol. 10, No. 2, p. 161-164.

PROVENZANO, M., *et al.* Assessment of maturity degree of composts from domestic solid wastes by fluorescence and Fourier transform infrared spectroscopies. En: Journal Agriculture Food Chemical. Octubre, 2001. Vol. 49, p. 5874–5879.

RENATO, V., y UNION, F. Cenizas de calderas dendroenergéticas: II Residuo industrial utilizable como mejorador de la fertilidad de suelos. En: Revista bosques. 1992. vol. 13, No. 2, p. 39-44.

RIDVAN, K. Nitrogen fixation capacity of Azotobacter spp. strains isolated from soils in different ecosystems and relationship between them and the microbiological properties of soils. En: Journal Environmental Biology. January, 2009. vol. 30, No. 1, p. 73-83.

ROE, N.E. Municipal waste compost production and utilization for horticultural crops: Introduction to the colloquium. En: Horticultural Science. Mayo, 1998. Vol. 33, No. 6, p. 931-934.

SÁNCHEZ, M.A., et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. En: Biores. Technol. 2001. Vol. 78, No. 3, p. 301-308.

SMITH, D. y HUGHES, J. A simple test to determine cellulolytic activity as indicator of compost maturity. En: Common Soil Science Plan. 2001. vol. 32, p. 1735–1749.

SOMESHWAR, A.V. Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. En: Journal Environmental Quality. Marzo, 1996. Vol. 25, p. 962-972.

SULER, D. y FINSTEIN, S. Effect of temperature, aeration, and moisture on CO<sub>2</sub> formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. En: Applied Environmental Microbiology. 1977. Vol. 33, No. 2, p. 345-350.

SUNDBERG, C., SMARS, S., y JONSSON, H. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. En: Bioresidual Technology. 2004. Vol. 95, No. 2, p. 145-150.

SZTERN, D. y PRAVIA, M. Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos. En: Organización panamericana de la salud. Montevideo. 1996. p. 18-20.

TORRES, R., ACOSTA, A., y CHINCHILLA, C. Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. En: Revista palmas. Noviembre, 2004. Vol. 25, No. especial, tomo II, p. 377-387.

ULACIO, D., *et al.* Materia orgánica y microorganismos antagonistas como estrategia de manejo de *Sclerotium cepivorum Berk* y su impacto en el progreso de la pudrición blanca en Ajo. En: Revista Mexicana de fitopatología. Diciembre, 2003. vol. 21, No. 3, p. 346-353.

VARGAS, C. *et al.* Diseño montaje y puesta en marcha del mecanismo de desarrollo limpio “plan de compostaje industrial para el manejo de residuos sólidos y líquidos de Oro Rojo Ltda. Unidad de operación industrial de proyectos de gestión integral de procesos. 2009. p. 8-10.

VISVESVARAYA, H.C. Recycling of agricultural wastes with special emphasis on Rice Husk Ash: Use of vegetable plants and their fibers as building materials. En: Journal of agriculture. 1986. vol. 23, No. 4, p. 78-83.

WHITMORE, T.N. y ROBERTSON, L. J. The effect of sewage sludge treatment process on oocyst of *Cryptosporidium parvum*. En: Journal Applied Bacteriology. 1995. Vol. 78, p. 34-38.

ZUBILAGA, M. y LAVADO, R. Stability indexes of sewage sludge compost obtained with different proportions of a bulking agent. En: Common Soil Science Plan. 2003. Vol. 34, p. 581–591.